Sicherheitsbericht

Ersatz Kernkraftwerk Beznau



Rahmenbewilligungsgesuch Ersatz Kernkraftwerk Beznau

Gesuchstellerin:	Ersatz Kernkraftwerk Beznau AG
Erstellt durch:	**Resun AG**, eine gemeinsame Planungsgesellschaft der Axpo-Konzerngesellschaften Nordostschweizerische Kraftwerke AG und Centralschweizerische Kraftwerke AG sowie der BKW FMB Energie AG

Alle Karten reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BM082270)

Zusammenfassung

Einleitung

Für den Bau bzw. den Betrieb einer Kernanlage ist gemäss Art. 12 des Kernenergiegesetzes (KEG; SR 732.1) [1] eine Rahmenbewilligung des Bundesrates erforderlich. Zur Einleitung des Bewilligungsverfahrens ist gemäss Art. 42 KEG ein Gesuch mit den notwendigen Unterlagen einzureichen. Gemäss Art. 23 der Kernenergieverordnung (KEV; SR 732.11) [2] handelt es sich dabei ausser dem Sicherheitsbericht um den Sicherungsbericht, den Umweltverträglichkeitsbericht, den Bericht über die Abstimmung mit der Raumplanung, das Konzept für die Stilllegung sowie um den Nachweis für die Entsorgung der anfallenden radioaktiven Abfälle.

Der Aufbau des Sicherheitsberichtes folgt im Wesentlichen den Anforderungen von Art. 23 KEV. Ein wichtiges Ziel des Sicherheitsberichts ist die Bewertung des Standortes bezüglich seiner Eignung für den Bau und Betrieb eines Kernkraftwerks.

Die Partner der Gesuchstellerin haben eine langjährige Erfahrung mit der Projektierung, dem Bau und dem Betrieb von Kernanlagen. Die bestehenden Kernkraftwerke KKB 1 und 2 bzw. KKM haben seit den 1970er Jahren ein sehr gutes Sicherheits- und Betriebsverhalten gezeigt. Sie wurden kontinuierlich nachgerüstet, um mit der Entwicklung des Standes von Wissenschaft und Technik Schritt zu halten.

Die für das Rahmenbewilligungsgesuch vorbereiteten Unterlagen wurden entsprechend eines Qualitätssicherungsprogramms erstellt, geprüft und zur Einreichung freigegeben. Eine externe Prüfung (Audit) diente der Sicherstellung, dass die Qualitätsprozesse tatsächlich den festgelegten Anforderungen entsprechen.

Zweck und Grundzüge der Kernanlage

Der Zweck der Anlage ist die Nutzung der Kernenergie zur Stromproduktion unter Einschluss des Umganges mit nuklearen Gütern sowie der Konditionierung und Zwischenlagerung von radioaktiven Abfällen aus der eigenen Anlage oder aus anderen schweizerischen Kernanlagen. Optionaler Zweck ist die Bereitstellung von Prozess- oder Fernwärme.

Art, Grösse und ungefähre Anordnung der generischen Anlage einschliesslich der wichtigsten Bauwerke sind den Detailkarten zu entnehmen. Wie die Kernanlage aussehen könnte, wird mit Hilfe einer Fotomontage gezeigt. Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente sowie Gebäude für die Konditionierung und Zwischenlagerung schwach- und mittelaktiver Abfälle werden auch vorgesehen.

Als Ersatz-Kernkraftwerk vorgesehen ist ein Leichtwasserreaktor mit einer netto elektrischen Leistung von 1450 MWe mit einer Toleranz von rund plus/minus 20%. Das Netz ist leistungsfähig genug, um die vorgesehene Leistung aufzunehmen. Als Hauptkühlsystem dient ein geschlossener Kühlkreislauf mit einem Hybridkühlturm, welcher mit forcierter Nass-Trockenkühlung arbeitet. Auf diese Weise lässt sich sichtbarer Dampf weitgehend vermeiden und die Bauhöhe des Kühlturmes entscheidend verringern.

Standorteigenschaften

Geografie und Bevölkerungsverteilung

Die geografischen Verhältnisse, die Bevölkerungsverteilung und die Bodennutzung zeigen keine für Kernkraftwerksstandorte ungünstige Besonderheiten. Die Vorbereitung und Umsetzung von Notfallschutzmassnahmen entsprechend den gültigen Verordnungen (Notfallschutzverordnung [65] und Verordnung über die Einsatzorganisation bei erhöhter Radioaktivität (VEOR) [64]) sind machbar.

Es gibt keine Industrieanlagen in der Nähe des Standortes welche eine Gefährdung für das Kernkraftwerk darstellen. Das gleiche gilt für die Benutzung der Strassen bzw. Bahnlinien.

Der Standort ist für die Bau- und Betriebsphasen gut erschlossen. Aufgrund der verschiedenen, redundanten und räumlich getrennten Zugangsmöglichkeiten könnte der Zugang zum Standort weder durch industrielle noch durch unfallbedingte Gefährdungen vollständig unterbrochen werden. Die Standorteignung ist deshalb sowohl bei Normalbetrieb als auch im Notfall gegeben.

Der Standort liegt in ausreichender Entfernung von Flughäfen. Die rechnerisch ermittelte Häufigkeit eines Flugzeug- oder Helikopterabsturzes ist tief und stellt die Standorteignung heute und in Zukunft nicht in Frage. Die Anforderungen an die Auslegung der Kernanlage werden den Aufprall und die Folgen eines Flugzeugabsturzes wie Treibstoffbrand und Trümmereinwirkung beinhalten.

Meteorologie und Klima

Die meteorologischen Bedingungen am Standort sind gut dokumentiert und bewertet. Das Klima entspricht den typischen mitteleuropäischen Verhältnissen für eine niedrige Höhenlage und ist grundsätzlich geeignet für den Bau und Betrieb eines Kernkraftwerks. Die Extremwerte der Lufttemperaturen und Feuchtigkeit am Standort beinhalten keine für die Auslegung ungewöhnlichen Randbedingungen.

Auch die standortspezifischen Parameter in Bezug auf Lasten infolge Wind, Niederschlag, Schnee und Temperatur liegen innerhalb der üblichen für die Auslegung von Bauten und Strukturen festgelegten Grenzwerte. Gleiches gilt für die Häufung bzw. Intensität von klima-induzierten Ereignissen wie Blitzschlag, Sturmböen und Tornados.

Bedingt durch die Tallage im Mittelland besteht ein gewisses Risiko für Vereisung von Komponenten, welche durch Aussenluft gekühlt werden müssen. Dieses Risiko sowie Einflüsse von Klimaveränderungen werden bei der Auslegung berücksichtigt. Sie stellen die Eignung des Standortes nicht in Frage.

Hydrologie

Die Schwankungsbreiten der Flusswassertemperaturen und -pegel liegen im üblichen Rahmen für mitteleuropäische Bedingungen. Im Winter und im Sommer kann Niedrigwasser auftreten. Diese Tatsache wurde bei der Auswahl des Hauptkühlwassersystems berücksichtigt und wird später bei der Auslegung der Anlage betrachtet. Die Bedingungen stellen die Eignung des Standorts nicht in Frage.

Eine mögliche Überflutung als Folge von Dammbrüchen sowie als Folge eines 10'000 jährigen Hochwassers wurde analysiert. Beim letzteren wird die Insel überflutet. Bei der Anlagenauslegung werden Hochwasserschutzmassnahmen, Massnahmen zur Erhöhung des Terrains und zum Schutz der Bauten und Einrichtungen betrachtet. Die potentielle Überflutung bei Hochwasser stellt die Standorteignung nicht in Frage.

Geologie und Seismologie

Geologie, Baugrund und seismische Gefährdung können dank einer über Jahrzehnte aufgebauten, gut fundierten Datenbasis sowie der PEGASOS-Studie zuverlässig beurteilt werden. Günstige Baugrundeigenschaften und -tragfähigkeit belegen die Eignung des Standorts. Aufgrund der vorliegenden seismischen Gefährdungsresultate werden keine Schwierigkeiten bei der Beherrschung erdbeben-induzierter Störfälle resp. bei der Einhaltung der entsprechenden Sicherheitskriterien erwartet. Die Standorteignung ist gegeben.

Alle sicherheitsrelevanten Bauten und Einrichtungen werden für das Ereignis eines Sicherheitserdbebens sowie für mögliche Auswirkungen bzw. Folgeereignisse ausgelegt.

Netzanbindung

Der Standort liegt zentral im Schweizerischen Hochspannungsnetz. Aufgrund der Netztopologie ist eine redundante Abführung einer zusätzlichen Leistung von 1450 MWe mit einer Toleranz von rund plus / minus 20% möglich. Die Anschlusskapazitäten und Zuverlässigkeit des vorhandenen Netzes und die dazugehörigen Schaltanlagen mit den getrennten Einspeiseebenen 380 kV und 220 kV ermöglichen einen störungsfreien Betrieb der Kernanlagen.

Gesamtbeurteilung Standorteignung

Die Standorteignung wird durch folgende günstigen Standorteigenschaften begründet:

- stabile meteorologische Verhältnisse
- ausreichende Wasserführung für Kühlungszwecke
- ergiebige Grundwasservorkommen
- gute Erschliessung durch Starkstromnetz, Strasse und Bahn
- stabile geologische Formationen und guter Baugrund
- für schweizerische Verhältnisse seismisch ruhige Zone
- nähere Umgebung relativ dünn besiedelt und meist bewaldet oder landwirtschaftlich genutzt
- keine industriellen Anlagen in der Umgebung, welche eine Gefährdung darstellen
- gute Objektsicherungseigenschaften

Die aufgrund der erforderlichen Untersuchungen identifizierten Ereignisse stellen die Standorteignung nicht in Frage. Sie lassen sich nach heutigem Stand der Wissenschaft und Technik durch bauliche, auslegungstechnische, organisatorische oder andere Massnahmen beherrschen. Die Massnahmen werden im Rahmen des Baubewilligungsverfahrens genau festgelegt.

Strahlenschutz

Der Sicherheitsbericht behandelt ausschliesslich die Belastung durch ionisierende Strahlung.

Angaben zur voraussichtlichen Strahlenexposition in der Umgebung der Anlage bei Normalbetrieb und bei Betriebsstörungen wurden gemäss Art. 23 KEV dargelegt. Alle Grenzwerte, Limiten und Richtwerte werden eingehalten. Es ist zu erwarten, dass die Strahlenexposition in der Umgebung der Anlage vergleichbar mit den modernen, bestehenden Anlagen in der Schweiz sein wird.

Da das Ersatzkernkraftwerk in unmittelbarer Nähe der bestehenden Kernanlage errichtet wird, können aus radiologischer Sicht beiden Anlagen zusammen als eine Strahlenquelle an einem Standort mit einem einzigen quellenbezogenen Dosisrichtwert betrachtet werden. Im Falle unterschiedlicher Betreiberorganisationen am Standort werden diese hierfür eine vertragliche Regelung treffen. Die von der Aufsichtsbehörde festgelegten Grenzwerte werden eingehalten.

Im Rahmen des Gesuchs zur Baubewilligung werden radiologische Störfallanalysen gemäss Art. 8 KEV und Art. 94 der Strahlenschutzverordnung (StSV; SR 814.501) [4] durchgeführt, um die Einhaltung aller relevanten radiologischen Störfallgrenzwerte nachzuweisen.

Personelle und organisatorische Angaben

Die wichtigen personellen und organisatorischen Grundsätze bzw. geplante Massnahmen für die verschiedenen Projektphasen werden dargestellt. Dies schliesst auch die Beurteilung der Machbarkeit von Notfallschutzmassnahmen ein. Die eigentlichen Programme zu deren Umsetzung werden im Rahmen des Gesuchs zur Baubewilligung beschrieben. So wird ein Qualitätsmanagementprogramm für die Projektierungs- und Bauphasen vorbereitet, eingereicht und umgesetzt (Art. 24 Abs. 2 lit. d KEV).

Menschliche und organisatorische Faktoren, sprich Human Factors Engineering (HFE) und Organisational Factors Engineering (OFE), werden von Anfang an ganzheitlich betrachtet. Für die Bau- und Betriebsbewilligungen einer Kernanlage wird ausser dem technischen System an sich auch das soziotechnische System als Ganzes bewertet.

Das Zusammenwirken von Mensch, Technik und Organisation wird so aufeinander abgestimmt, dass die Projekt- und Betriebsabläufe reibungslos und zeitgerecht ablaufen sowie die gesetzlichen Anforderungen an die nukleare Sicherheit erfüllt sind. Personalbestand, -ausbildung und -einsatz werden in einer Art und Weise organisiert, dass das Projekt mit fachlicher und methodischer Kompetenz abgewickelt werden kann.

Inhalt

1	Einleitung	1
1.1	Gegenstand des Berichts	1
1.2	Rahmenbewilligung	1
1.3	Aufbau des Sicherheitsberichts	1
1.4	Erfahrung der Gesuchstellerin	2
1.5	Qualitätsmanagement	3
2	Beschreibung des Projektes	5
2.1	Zweck des Projektes	5
2.2	Übersicht des Standorts	5
2.2.1	Allgemeine Beschreibung	5
2.2.2	Bestehende Anlagen	7
2.2.3	Vorgesehene Projekte	11
2.2.4	Erschliessung der Insel	13
2.3	Grundzüge des Projektes	13
2.3.1	Einleitung	13
2.3.2	Reaktorsystem und Leistungsklasse	14
2.3.3	Hauptkühlsystem	14
2.3.4	Grösse und Lage der wichtigsten Bauten	15
2.3.5	Lagerung bestrahlter Brennelemente und anderer hochaktiver Abfälle	23
2.3.6	Konditionierung und Lagerung mittel- und schwachaktiver Abfälle	25
2.3.7	Kühlwassersysteme und Wärmesenke	26
2.4	Rechtliche Anforderungen an die Sicherheit	28
2.4.1	Grundsätze und Schutzmassnahmen	28
2.4.2	Auslegung	29
2.4.3	Schutz gegen Störfälle	30
2.4.4	Störfallanalysen	31
2.4.5	Auslegungsüberschreitende Störfälle	39

2.5	Klassierung von Systemen, Strukturen und Komponenten	40
3	**Standorteigenschaften und Eignung**	**41**
3.1	Einleitung	41
3.2	Geografie und Bevölkerungsverteilung	43
3.2.1	Einleitung	43
3.2.2	Lage des Standorts	43
3.2.3	Nutzung der Insel	47
3.2.4	Bevölkerungsverteilung und Entwicklung	47
3.2.5	Bodennutzung in der Region	67
3.2.6	Externe Ereignisse	71
3.2.7	Beurteilung der Standorteignung im Hinblick auf Geografie und Bevölkerungsverteilung	71
3.2.8	Anwendung bei den Notfallschutzmassnahmen	72
3.2.9	Anhang 1: Aktuelle Bevölkerungszahlen der Gemeinden im Umkreis von 20 km	73
3.2.10	Anhang 2: Bevölkerungsentwicklung der Gemeinden im Umkreis von 20 km	80
3.2.11	Anhang 3: Arbeitsstätten und Beschäftigte innerhalb von 20 km	87
3.2.12	Anhang 4: Bodennutzung im Umkreis von 10 km (ha)	93
3.2.13	Anhang 5: Bodennutzung im Umkreis von 20 km (ha)	96
3.3	Industrieanlagen und Verkehrswege	105
3.3.1	Einleitung	105
3.3.2	Industrieanlagen	105
3.3.3	Militärische Anlagen	112
3.3.4	Auswirkungen von Störfällen an Erdgashochdruckanlagen	113
3.3.5	Verkehrs- und Transportwege am Boden	118
3.3.6	Weitere Ereignisse	124
3.3.7	Luftverkehr	125
3.3.8	Externe Ereignisse	128
3.3.9	Beurteilung des Standorts im Hinblick auf Gefahren von Industrieanlagen und Verkehrswegen	128

3.3.10	Umsetzung bei der Auslegung	129
3.3.11	Anhang 6: Berechnungsmethodik der Flugzeugabsturzhäufigkeit für zivile Flugzeuge, Militärflugzeuge und Helikopter	130
3.4	Meteorologie und Klima	139
3.4.1	Erfassung der meteorologischen Daten	139
3.4.2	Methoden	142
3.4.3	Zeitreihen	142
3.4.4	Vergleich der verschiedenen Standorte	143
3.4.5	Klimatologische Datenanalyse	146
3.4.6	Externe Ereignisse	216
3.4.7	Bewertung der Standorteignung im Hinblick auf das Klima	217
3.4.8	Umsetzung bei der Auslegung	217
3.4.9	Anhang 7: Ausgewertete sicherheitsrelevante Parameter	221
3.4.10	Anhang 8: Methoden	224
3.4.11	Anhang 9: Statistik zu Temperaturen	229
3.4.12	Anhang 10: Statistik zu Windgeschwindigkeit	236
3.4.13	Anhang 11: Windrosen pro Monat der Standorte Basel, Buchs, Beznau und PSI	239
3.4.14	Anhang 12: Korrelation Windverteilung, Ausbreitungskategorien und Niederschlagsintensität / Ausbreitungsklassen nach Dokument KTA 1508	244
3.4.15	Anhang 13: Starke Tornadoereignisse in der Schweiz	257
3.5	Oberflächenwasser	259
3.5.1	Einleitung	259
3.5.2	Einzugsgebiets-Charakteristika	260
3.5.3	Pegelmessungen und historische Hochwasser	265
3.5.4	Herleitung Hochwasser bestimmter Jährlichkeit	268
3.5.5	Abflussmengen und Niedrigwasser	274
3.5.6	Stauhaltung	279
3.5.7	Überflutung	280
3.5.8	Beschaffenheit des Aarewassers	293

3.5.9	Vereisung	295
3.5.10	Externe Ereignisse	297
3.5.11	Beurteilung des Standortes im Hinblick auf Oberflächenwasser	298
3.5.12	Umsetzung bei der Auslegung	299
3.5.13	Anhang 14: Grosse historische Hochwasser am Rhein und der Aare bei Untersiggenthal (1200-1900)	300
3.5.14	Anhang 15: Häufigkeit von Eisbildung und Eistrieb	303
3.5.15	Anhang 16: Entstehungsbedingungen für das Gefrieren der Aare	305
3.6	Grundwasser	311
3.6.1	Übersicht	311
3.6.2	Untergrundverhältnisse in der Umgebung des Standorts	312
3.6.3	Grundwasserverhältnisse in der Umgebung des Standortes	315
3.6.4	Grundwassernutzung im Unteren Aaretal	320
3.6.5	Beschaffenheit des Fluss- und Grundwassers im Unteren Aaretal	324
3.6.6	Mögliche Auswirkungen eines EKKB auf das Grundwasser	340
3.6.7	Ergiebigkeit des Grundwassers für die Notstandskühlung	348
3.6.8	Externe Ereignisse	376
3.6.9	Beurteilung der Standorteignung	376
3.6.10	Umsetzung bei der Auslegung	377
3.6.11	Anhang 17: Chemische Beschaffenheit des Grundwassers	379
3.6.12	Anhang 18: Temperatur des Grundwassers und der Aare	385
3.7	Geologie, Baugrundeigenschaften und Erdbebengefährdung	391
3.7.1	Geologie	391
3.7.2	Baugrundeigenschaften	421
3.7.3	Seismologie und standortspezifische Erdbebengefährdung	430
3.7.4	Seismologische Daten am Standort	467
3.7.5	Externe Ereignisse	468
3.7.6	Bewertung der Standorteignung	468
3.7.7	Umsetzung bei der Auslegung	470

3.8	Netzeigenschaften	475
3.8.1	Netzknoten Beznau	475
3.8.2	Netzverfügbarkeit	477
3.8.3	Externe Ereignisse	479
3.8.4	Beurteilung des Standorts im Hinblick auf Netzanbindung	480
3.8.5	Umsetzung bei der Auslegung	480
3.9	Unbefugte Einwirkungen (UEW)	483
3.10	Übrige Ereignisse	485
3.11	Zusammenfassung	487
4	**Strahlenschutz und Strahlenexposition**	**489**
4.1	Einleitung	489
4.2	Gesetzliche Anforderungen	489
4.2.1	Allgemeine Grundsätze	489
4.2.2	Gesetzliche Anforderungen für das Rahmenbewilligungsgesuch	490
4.2.3	Auslegungsgrundsätze für die Anlage hinsichtlich Strahlenschutz	491
4.3	Rechtfertigung und Optimierung der Strahlenexposition	492
4.4	Schutz von Personen innerhalb der Anlage	493
4.5	Strahlenexposition in der Umgebung der Anlage	494
4.5.1	Quellenbezogener Dosisrichtwert (QBDR)	494
4.5.2	Einhaltung der zulässigen Strahlenexposition	495
5	**Personelle und organisatorische Angaben**	**499**
5.1	Einleitung	499
5.2	Grundsätze für die Organisation und die Entwicklung des Personalbestandes	500
5.3	Organisation und Entwicklung des Personalbestandes	501
5.3.1	Bedeutung des Bewilligungsmanagements	502
5.3.2	Projektphasen	504
5.4	Notfallschutzmassnahmen	510
Referenzen		**511**

Abbildungsverzeichnis 517

Tabellenverzeichnis 527

Abkürzungsverzeichnis 537

Glossar 541

1 Einleitung

1.1 Gegenstand des Berichts

Der vorliegende Bericht ist der Sicherheitsbericht nach Artikel 23 lit. a der Kernenergieverordnung (KEV) (SR 732.11) [2] für das Rahmenbewilligungsgesuch für eine Kernanlage am Standort Beznau (nachfolgend mit EKKB bezeichnet). Diese Kernanlage schliesst das Ersatz Kernkraftwerk Beznau, zusammen mit Anlagen für die Lagerung bestrahlter Brennelemente und für die Lagerung von radioaktiven Abfällen, ein. Die Gesuchstellerin ist die Ersatz Kernkraftwerk Beznau AG mit Sitz in Döttingen, Kanton Aargau.

1.2 Rahmenbewilligung

Nach Art. 12 des Kernenergiegesetzes (KEG; SR 732.1) [1] braucht es für den Bau und Betrieb einer Kernanlage eine Rahmenbewilligung des Bundesrates. Nach Art. 42 des KEG ist ein entsprechendes Rahmenbewilligungsgesuch (RBG) mit den erforderlichen Unterlagen einzureichen.

Die Gesuchstellerin für eine Rahmenbewilligung hat gemäss Art. 23 der Kernenergieverordnung folgende Gesuchsunterlagen einzureichen:

- Sicherheitsbericht (vorliegender Bericht)
- Sicherungsbericht
- Umweltverträglichkeitsbericht
- Bericht über die Abstimmung mit der Raumplanung
- Konzept für die Stilllegung
- Nachweis für die Entsorgung der anfallenden radioaktiven Abfälle.

1.3 Aufbau des Sicherheitsberichts

Der Aufbau dieses Sicherheitsberichts folgt im Wesentlichen den Anforderungen der KEV Artikel 23.

Der Sicherheitsbericht befasst sich prinzipiell mit dem neu zu erstellenden Kernkraftwerk (EKKB) und seinem Standort. Die Kernanlagen KKB 1 und 2 bzw. das Zwischenlager Beznau (ZWIBEZ) werden berücksichtigt, wo die Gesamtanlage als Ganzes betrachtet wird. Die zwei Blöcke KKB 1 und 2 verfügen über je eine unbefristete Betriebsbewilligung und es ist vorgesehen, KKB 1 und 2 bis und mit deren jeweiligen Stilllegung gemeinsam mit EKKB zu betreiben[1]. Organisatorische Aspekte dazu werden in **Kapitel 5** beschrieben.

Das **Kapitel 2** beschreibt den Zweck und die Grundzüge des Projektes und gibt einen Überblick des Standortes. Die zu erfüllenden Gesetze und Regelwerke werden zusammengefasst mit

[1] Die NOK ist bestrebt, das bestehende KKB nach Inbetriebnahme des EKKB so rasch wie möglich ausser Betrieb zu nehmen. Ein paralleler Leistungsbetrieb der beiden Anlage ist aus heutiger Sicht möglicherweise erforderlich, um die Versorgungssicherheit für NOK und die am EKKB beteiligten Partner in der ersten Phase nach Inbetriebnahme des EKKB weiterhin gewährleisten zu können.

Angaben zur Klassierung von Systemen, Strukturen und Komponenten. Die externen Ereignisse und die Anforderungen an den Schutz gegen Störfälle werden zusammengefasst.

Im **Kapitel 3** werden die Standorteigenschaften beschrieben und die Standorteignung beurteilt. Die Möglichkeit und Auswirkung der externen Ereignisse werden dargelegt zusammen mit der Einhaltung der Schutzziele. Das Vorgehen zur Umsetzung der Standorteigenschaften bei der Auslegung der Anlage wird beschrieben.

Im **Kapitel 4** werden die grundsätzlichen Anforderungen an den Strahlenschutz und die voraussichtliche Strahlenexposition in der Umgebung der Anlage behandelt.

Im **Kapitel 5** werden die wichtigen personellen und organisatorischen Angaben dargestellt. Dies schliesst auch die Angaben zur Notfallorganisation ein.

1.4 Erfahrung der Gesuchstellerin

Um ihre Verantwortung für die Energieversorgung der Schweiz und für den Klimaschutz auch in Zukunft wahrnehmen zu können, sind die Nordostschweizerische Kraftwerke AG (NOK) und die Centralschweizerische Kraftwerke AG (CKW) zusammen mit der BKW FMB Energie AG (BKW) eine Partnerschaft eingegangen, welche die rechtzeitige Planung und Realisierung der Ersatz Kernkraftwerke Beznau (EKKB) und Mühleberg (EKKM) zum Ziel hat.

Gesuchstellerin ist die Ersatz Kernkraftwerk Beznau AG mit Sitz in Döttingen, Kanton Aargau, eine gemeinsame Tochtergesellschaft der NOK, BKW sowie der CKW.

Die Partner haben langjährige Erfahrung mit der Projektierung, dem Bau und dem Betrieb von Kernanlagen.

NOK ist alleinige Besitzerin und Betreiberin des Kernkraftwerks Beznau mit zwei Druckwasserreaktoren, BKW ist alleinige Besitzerin und Betreiberin des Kernkraftwerks Mühleberg mit einem Siedewasserreaktor. Das Kernkraftwerk Beznau ist seit 1969, das Kernkraftwerk Mühleberg seit 1972 in Betrieb, beide haben seither ein sehr gutes Sicherheits- und Betriebsverhalten gezeigt. Die Kernanlagen wurden kontinuierlich nachgerüstet, um mit der Entwicklung des Standes von Wissenschaft und Technik Schritt zu halten.

Die NOK mit ihren Schwestergesellschaften der Axpo Holding AG ist Mehrheitsaktionärin, die BKW mit 9.5% Beteiligung Minderheitsaktionärin der Kernkraftwerk Leibstadt AG, der Betreiberin des Kernkraftwerks Leibstadt. Die NOK ist seit 1999 im Auftrag des Verwaltungsrats für die Geschäftsleitung dieses Kraftwerks verantwortlich.

Weiters sind die NOK und die CKW auch am Kernkraftwerk Gösgen beteiligt.

Die Axpo-Gesellschaften als auch die BKW besitzen zudem Bezugsrechte für Energielieferungen aus Kernkraftwerken in Frankreich.

1.5 Qualitätsmanagement

Die für das Rahmenbewilligungsgesuch vorbereiteten Unterlagen (vgl. Kap. 1.2) wurden entsprechend des NOK und Resun-Qualitätsmanagementprogramms und gemäss projektspezifischen Weisungen erstellt, geprüft und zur Anwendung freigegeben. Die entsprechenden Prozesse sind im Folgenden zusammengefasst:

Die Aufgaben, die Verantwortlichkeiten und der Zeitplan für die RBG-Unterlagen sind in einer projektspezifischen Weisung (Project Master Plan) definiert. Im Dokument "Qualitätsplan" (Quality-Plan) werden die übergreifenden Anforderungen an die RBG-Unterlagen und die spezifischen Anforderungen an die einzelnen RBG-Berichte festgelegt. Der Qualitätsplan der NOK war bis zum 30.09.2008 gültig. Danach wurde er durch den Qualitätsplan der Resun AG ersetzt. Die Resun AG ist eine Firma in Besitz von NOK, BKW und CKW und ist ab 01.10.2008 für die Erstellung der Gesuchsunterlagen für das RBG zuständig.

Der Qualitätsplan definiert die Prüfungs-, Review- und Genehmigungsprozesse (Approval) der Unterlagen. Unter "Prüfung" sind einzelne Fachprüfungen durch Spezialisten gemeint. Als letzter Schritt wurden Reviews durchgeführt, bei welchem das gesamte Dokument parallel durch eine Gruppe von Spezialisten geprüft wurde. Die Ergebnisse wurden in Tabellen dokumentiert und einzeln durch den Autoren / Reviewer bearbeitet bis ein Konsens gefunden wurde. Bei diesen Prüfungen und Reviews wurden neben den Resun Mitarbeitern erfahrene Mitarbeiter der Kernkraftwerke und externe Experten eingesetzt. Die Mitarbeiter der Kernkraftwerke bzw. Mutterhäuser haben schwerpunktmässig in den Bereichen Strahlenschutz, Abfallentsorgung, Personal und Organisation, Netzeigenschaften, Geologie / Seismik, Hydrologie, Sicherung und Störfallvorsorge am Projekt mit gewirkt. Externe Experten mit langjähriger Erfahrung in der Projektierung und im Betrieb von Kernanlagen wurden bei der allgemeinen Prüfung der kerntechnischen Gesuchsunterlagen eingesetzt.

Der Reviewprozess wurde einer externen Beurteilung unterzogen, um zu gewährleisten, dass dieser aus Sicht der Qualitätssicherung angemessen ist und gemäss den bestehenden Vorgaben durchgeführt wird. Die Beurteilung des Reviewprozesses wurde von einem erfahrenen Auditor gemacht und die Ergebnisse dokumentiert.

Im Rahmen der Vorbereitung des Gesuchs zur Baubewilligung wird ein Qualitätsmanagementprogramm für die Projektierungs- und Bauphasen vorbereitet, eingereicht und umgesetzt (Art. 24 Abs. 2 lit. d KEV). Die Aspekte des Qualitätsmanagements werden auch in Kapitel 5 beschrieben.

Bei der Beschreibung und Analyse der Standorteigenschaften wurden Personen und Organisationen mit entsprechenden Kenntnissen und Erfahrung beauftragt. Dies gilt insbesondere für die Bearbeitung der Themen Geologie / Seismik / Baugrund, Hydrologie, Grundwasser, Meteorologie / Klima, Industrie, Geographie und Bevölkerung. Experten der NOK waren in den Bereichen Hydrologie und Netzeigenschaften massgebend beteiligt. In den Bereichen "Strahlenschutz" bzw. "Personal und Organisation" wurden Mitarbeiter der Kernkraftwerke Beznau und Leibstadt mit Erfahrung im operationellen Strahlenschutz, Berechnung und Beurteilung radioaktiver Abgaben bzw. in den sicherheitsrelevanten Aspekten der Organisation und Dokumentation der Auslegungsbasis eingesetzt.

Die dabei erstellten technischen Grundlagendokumente werden fachgerecht aufbereitet, damit sie als Basis für die zukünftigen Projektierungsschritte verwendet werden können (u.a. die Erstellung des Berichts zur Übereinstimmung des Projektes mit der Rahmenbewilligung gemäss Art. 24 Abs. 2 lit. g KEV).

Die Begleitung des Rahmenbewilligungsgesuchs und die Vorbereitung des Baubewilligungsgesuchs werden im Resun Qualitätsmanagement-Programm integriert. Dabei werden die rechtlichen Vorgaben (KEV Art. 25) und relevanten Grundlagen (z.B. ISO-Standards, IAEO GS-R-3 und zugehörige, relevante Safety Guides, insbesondere GS-G-3.1 und GS-G-3.5) berücksichtigt.

2 Beschreibung des Projektes

2.1 Zweck des Projektes

Der Zweck der Anlage ist die Nutzung der Kernenergie zur Stromproduktion unter Einschluss des Umgangs mit nuklearen Gütern sowie der Konditionierung und der Zwischenlagerung von radioaktiven Abfällen aus der eigenen Anlage oder aus anderen schweizerischen Kernanlagen. Optionaler Zweck ist die Bereitstellung von Prozess- oder Fernwärme.

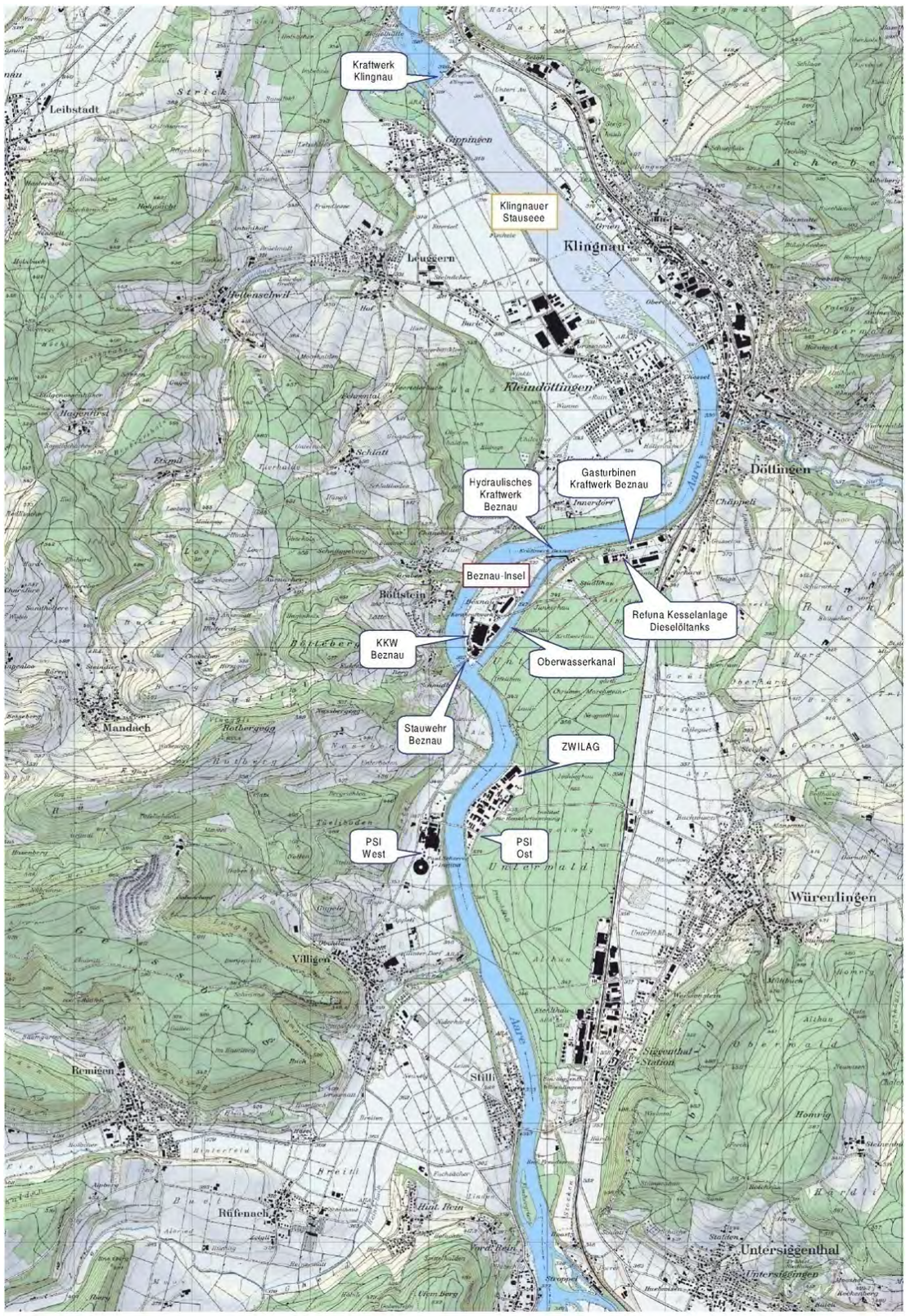
2.2 Übersicht des Standorts

2.2.1 Allgemeine Beschreibung

Das bestehende Kernkraftwerk Beznau, mit den zwei Kernanlagen KKB 1 und 2 und dem ZWIBEZ, liegt im unteren Aaretal auf der Insel Beznau. Der Standort gehört zur Gemeinde Döttingen und grenzt im Westen an die Gemeinde Böttstein (Abbildung 2.2-1). Beide Gemeinden gehören zum Bezirk Zurzach im Kanton Aargau. Es ist vorgesehen, die Anlage EKKB auf der Insel nord-nord-östlich der bestehenden Kernanlagen zu errichten.

Die ca. 1'100 m lange und 300 m breite Insel liegt zwischen 326 m und 327 m ü.M. Sie wird westlich durch den natürlichen Aarelauf und östlich durch den künstlichen Oberwasserkanal begrenzt. Die Insel ist Eigentum der NOK. Teilbereiche der Insel sind zurzeit öffentlich zugänglich.

Abbildung 2.2-1: Lage und Erschliessung des Standortes



Der Standort zeichnet sich durch folgende Eigenschaften aus:

- ausreichende Wasserführung für Kühlungszwecke
- ergiebige Grundwasservorkommen
- stabile geologische Formationen und guter Baugrund
- für schweizerische Verhältnisse seismisch ruhige Zone
- gute Erschliessung durch Starkstromnetz, Strasse und Bahn
- gute Randbedingungen für die Sicherung der Anlage, da eingeschränkter Zugang.

Die für die neue Anlage im betriebsbereiten Zustand vorgesehene Landfläche liegt innerhalb der Industriezone der Gemeinde Döttingen. Die Übereinstimmung des Projektes mit der Raumplanung wird in einem separaten Bericht dargelegt.

Weitere Informationen zum Standort und den Standort-Eigenschaften sind in Kapitel 3 aufgeführt.

2.2.2 Bestehende Anlagen

Die Gesamtanlage des Kernkraftwerks Beznau umfasst zurzeit die zwei Kernanlagen KKB 1 und 2 und ein Zwischenlager für radioaktive Abfälle (ZWIBEZ), deren Lagen auf dem Standortgelände aus Abbildung 2.2-2, Abbildung 2.2-3 und Abbildung 2.2-4 ersichtlich sind. Es ist geplant, das EKKB zusammen mit den Lagergebäuden für radioaktive Abfälle und abgebrannte Brennelemente nördlich des Blocks 2 zu bauen wie in Abbildung 2.3-1 dargestellt. Die ungefähre Lage, Grösse und Anordnung aller Bauwerke sind in Kapitel 2.3.4 beschrieben.

Abbildung 2.2-2: Bestehende Anlagen auf der Insel Beznau (Ansicht aus Süden)



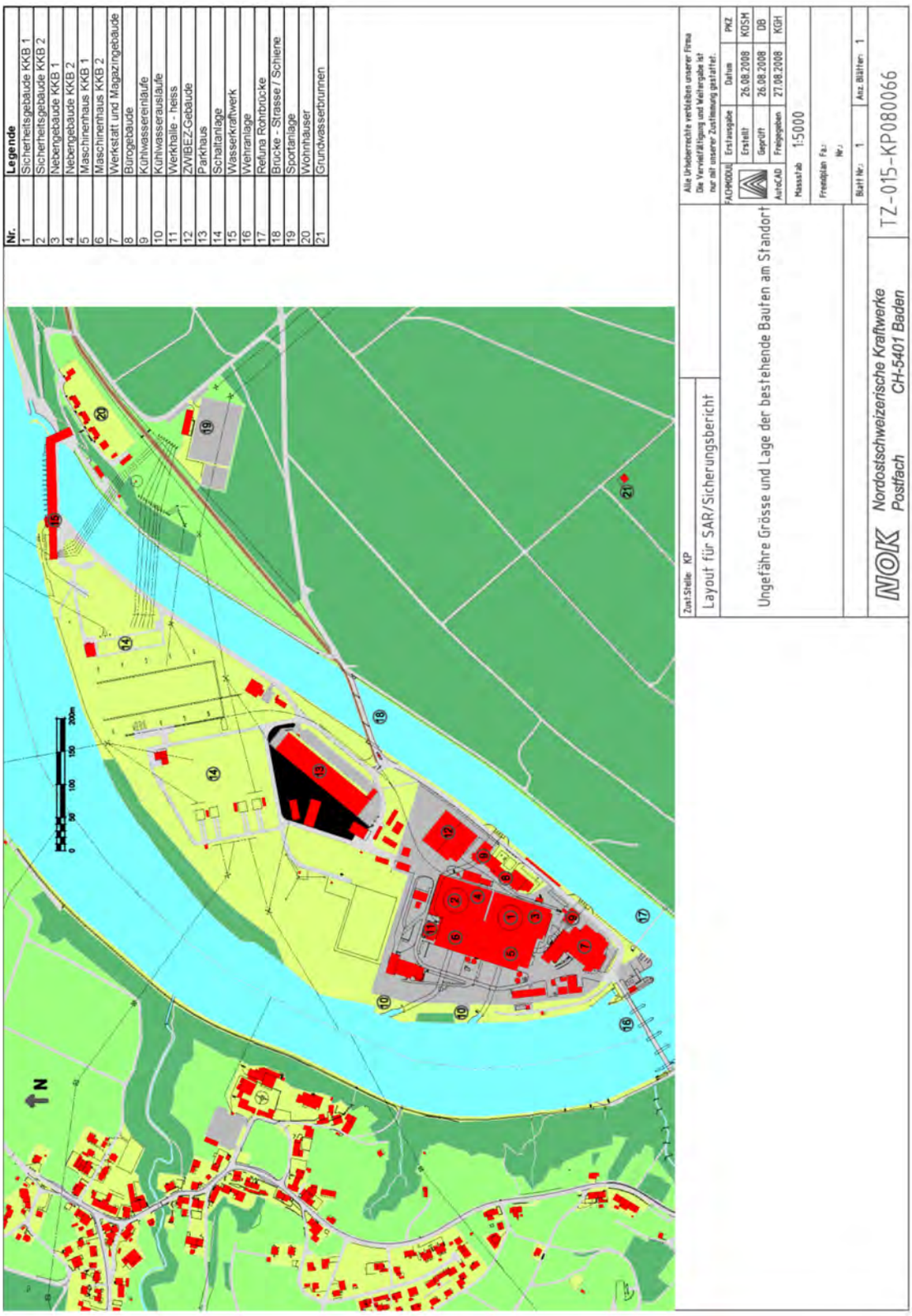
Im Vordergrund das Stauwehr Beznau und rechts die REFUNA-Rohrbrücke. Im Hintergrund das hydraulische Kraftwerk am Ende des Oberwasserkanals. Das Kernkraftwerk KKB 1 und 2 steht im Mittelgrund. ZWIBEZ mit seiner grünen Fassade liegt etwas südlich der Strassenbrücke.

Abbildung 2.2-3: Bestehende Anlagen auf der Insel Beznau (Ansicht aus Norden)



Im Vordergrund das hydraulische Kraftwerk Beznau. Im Mittelgrund die Schaltanlage des Überlandnetzes und das Gebäude der ehemaligen Regionalen Netzleitstelle. Die Schaltanlage wird nach Stüdlihau verlegt (die grüne Fläche südlich der Wohnhäuser – Bild Mitte links).

Abbildung 2.2-4: Anordnung der bestehenden Anlagen auf der Insel Beznau



Auf der Insel befinden sich zurzeit folgende anderen Bauten im Besitz der NOK:

- das hydraulische Kraftwerk Beznau am nördlichen Ende der Insel
- das Stauwehr Beznau mit Dotieranlage und Kraftwerk am südlichen Ende der Insel
- die Schaltanlagen (380 kV und 220 kV) des Überlandnetzes (Unterwerk)
- das Gebäude der ehemaligen Regionalen Netzleitstelle (RNS)
- das Parkhaus für das Personal der KKB.

Weiter stehen die Wetterstation des MeteoSchweiz und eine Schaltanlage der AEW AG (AEW) auf der Insel.

Die bestehenden Kernanlagen KKB 1 und 2 mit dem ZWIBEZ sind nicht Gegenstand des Rahmenbewilligungsgesuchs. Es bestehen aber Zusammenhänge zwischen diesen Kernanlagen und dem EKKB, wie z.B. bei der Festlegung des quellenbezogenen Dosisrichtwerts (vgl. Kapitel 4), beim Sicherungskonzept (vgl. Sicherungsbericht) und bei der Organisation (vgl. Kapitel 5).

2.2.3 Vorgesehene Projekte

Vor dem Baubeginn des EKKB werden auf der Insel und in ihrer Umgebung voraussichtlich mehrere Projekte abgewickelt. Zunächst wird das bestehende Kernkraftwerk KKB 1 und 2 mit einer zusätzlichen Notstromversorgung nachgerüstet (Projekt AUTANOVE). Damit wird das Kernkraftwerk nicht mehr vom hydraulischen Kraftwerk Beznau mit Notstrom versorgt. Unabhängig von dieser Modernisierung wird das Unterwerk des Überlandnetzes ins Stüdlihau verlegt (Projekt "Stüdlihau") da grosse Teile der Schaltanlage einer Erneuerung bedürfen und dadurch auch Platz für die Anlagen des EKKB geschaffen wird. Das Gebiet Stüdlihau befindet sich auf der Ostseite des Oberwasserkanals, südlich des hydraulischen Kraftwerks (Abbildung 2.2-4).

Durch den Sachplan Übertragungsleitung (SÜL)-Check wird geprüft, ob die durch dir Verlegung des Unterwerks begründeten Veränderungen am Leitungsnetz dem SÜL-Verfahren unterstehen.

Der SÜL ist das übergeordnete Planung- und Koordinationsinstrument des Bundes für den Aus- und Neubau der Hochspannungsleitungen der allgemeinen Stromversorgung (Spannungsebenen 220kV und 380kV) und der Leitungen der Bahnstromversorgung (132-kV).

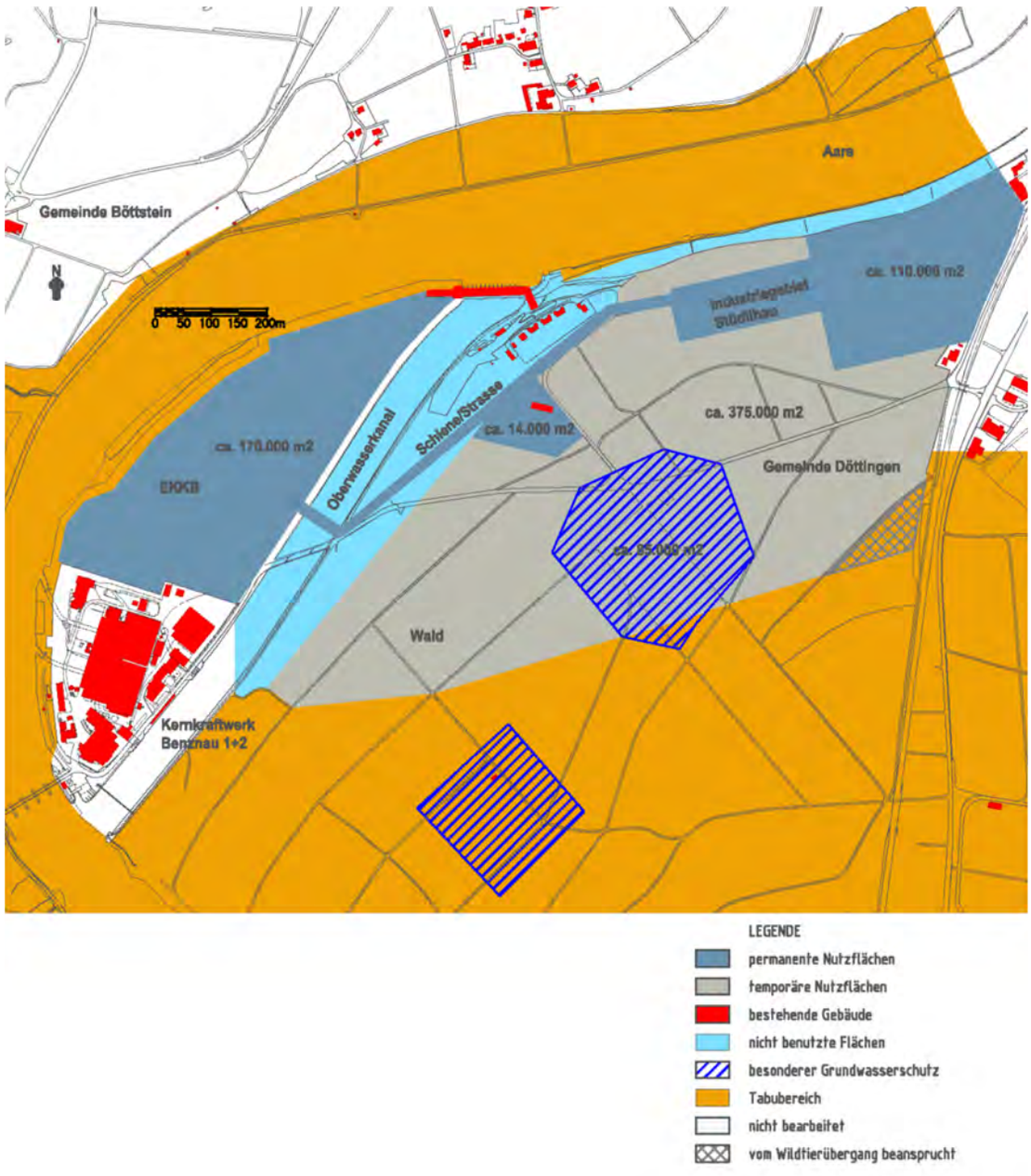
Der Umbau des Unterwerks Beznau untersteht nicht der Baubewilligung nach KEG, sondern wird nach einem Plangenehmigungsverfahren gemäss Eidg. Starkstrominspektorat (ESTI) abgewickelt.

Die Verlegung der Schaltanlage wird so abgewickelt, dass keine sicherheitsrelevanten Nachteile für den Betrieb des bestehenden Kernkraftwerks entstehen. Bei der Auslegung der Schaltanlage wird für den zukünftigen Betrieb des EKKB die geeignete Einbindung in das Starkstromnetz berücksichtigt. Die redundante externe Stromversorgung und ein stabiler Netzbetrieb sind dabei wichtige, sicherheitsrelevante Anforderungen. Die Netzeigenschaften am Standort werden im Kapitel 3.8 beschrieben.

Bei der Modernisierung des hydraulischen Kraftwerks können Veränderungen in den lokalen hydrologischen Bedingungen entstehen (z.B. Staukote). Falls dies so ist, müssen die Konsequenzen für die für das EKKB durchgeführten hydrologischen Analysen beurteilt und falls notwendig die Analysen angepasst werden (vgl. dazu Kapitel 3.5.6).

Vor Beginn des Baus des EKKB werden auch temporäre Bauflächen für Lagerplätze, Werkstätten, Parkplätze und andere für den Bau des EKKB notwendigen Infrastrukturen vorbereitet. Diese Bauflächen werden sich mehrheitlich auf der Ostseite des Oberwasserkanals, im Industriebereich und im Unterwald südlich der Zugangsstrasse aus Richtung Döttingen befinden (vgl. Abbildung 2.2-5).

Abbildung 2.2-5: Layout mit Bauflächen



2.2.4 Erschliessung der Insel

Die Insel Beznau ist einerseits über die Gleisanlage nach Döttingen für den Bahntransport erschlossen, andererseits führen eine Kantonsstrasse aus Richtung Döttingen und eine Erschliessungsstrasse aus Richtung Böttstein über das Stauwehr Beznau auf die Insel. Die Erschliessung über Strasse und Gleisanlage aus Richtung Döttingen ist für den Transport von Schwerkomponenten ausgelegt. Am Südende der Insel verläuft die REFUNA-Rohrbrücke von der Insel bis ans östliche Ufer.

Es ist vorgesehen, für den Bau des EKKB eine weitere Brücke für Schwertransporte sowie den Baustellenverkehr zu errichten. Die bestehende Schienenführung aus Richtung Döttingen soll als Strasse aufgewertet werden (Doppelnutzung Schiene und Strasse), damit sowohl Schwertransporte als auch Bahntransporte über diesen Anschluss bewältigt werden können.

Die Transportrouten für Grosskomponenten wurden im Hinblick auf Gewichts- und Dimensionsgrenzen beurteilt. Es wird voraussichtlich notwendig, bestimmte grössere Komponenten, wie Reaktordruckbehälter oder Dampferzeuger, vor Ort zusammenzustellen. Entsprechende Erfahrungen beim Bau der bestehenden Kernkraftwerke in der Schweiz liegen vor und werden berücksichtigt. Die Machbarkeit ist grundsätzlich gegeben. Die Einzelheiten dazu und allfällige Modifikationen der Zugangsstrassen werden im Rahmen des Gesuchs zur Baubewilligung festgelegt.

2.3 Grundzüge des Projektes

2.3.1 Einleitung

Als Grundzüge des Projektes (Art. 14 Abs. 2 KEG) gelten die ungefähre Grösse und Lage der wichtigsten Bauten sowie insbesondere:

a bei Kernreaktoren: das Reaktorsystem, die Leistungsklasse und das Hauptkühlsystem;

b bei Lagern für Kernmaterialien oder radioaktive Abfälle: die Kategorien des Lagergutes und die maximale Lagerkapazität. Mit maximaler Lagerkapazität sind das Höchstvolumen oder die Höchstanzahl der Gebinde gemeint.

Anlagen zur Lagerung von Kernmaterialien oder zur Entsorgung von radioaktiven Abfällen sind Kernanlagen gemäss Kernenergiegesetz Artikel 2 und brauchen somit eine Rahmenbewilligung. Das vorliegende Rahmenbewilligungsgesuch schliesst alle solchen Anlagen, welche in Zusammenhang mit EKKB stehen, mit ein.

Voraussichtlich werden die Anlagen zur Konditionierung und Lagerung von radioaktiven Abfällen nach der Stilllegung der zur Stromproduktion dienenden Anlageteile als eigenständige Kernanlagen (Zwischenlager) weiter betrieben werden. Dies bedingt eine Etappierung der Stilllegung des EKKB, die im Konzept für die Stilllegung beschrieben wird. Diese optionale Vorgehensweise mit Weiterbetrieb der Zwischenlager ist Bestandteil des Rahmenbewilligungsgesuchs.

Die Anlagen zur Konditionierung und Lagerung von radioaktiven Abfällen können auch für die Zwischenlagerung von Stilllegungsabfällen benutzt werden, welche bei der Stilllegung von anderen schweizerischen Kernanlagen entstehen.

2.3.2 Reaktorsystem und Leistungsklasse

Das Reaktorsystem wird durch eine Kühlung und Moderierung mit Leichtwasser charakterisiert ("Leichtwasserreaktor").

Die Leistungsklasse ist durch die zu erwartende, produzierte elektrische Leistung charakterisiert. Dies ist die an das Netz abgegebene Leistung (Nettoleistung) unter den normierten externen Umgebungsbedingungen (ISO Bedingungen für Lufttemperatur: 15 °C, 1'013 mbar, 60% Luftfeuchtigkeit; Flusswassertemperatur 12 °C).

Die elektrische Leistung wird 1'450 MWe mit einer Toleranz von rund plus / minus 20% betragen.

Der Reaktortyp für das EKKB wurde noch nicht bestimmt. Für gewisse Beurteilungen der Standorteigenschaften bzw. die Festlegung der Grundzüge des Projektes wurden Angaben von spezifischen Reaktortypen angewendet. Diese erwähnten oder beschriebenen Reaktortypen stellen eine beispielhafte Auswahl dar, die den heutigen Stand der Technik möglicher Kernreaktoren und den dazugehörigen Anlagen darstellen soll. Auf der Grundlage dieser Angaben soll im Rahmenbewilligungsgesuch der Nachweis der gesetzlichen Anforderungen der Anlagensicherheit und -sicherung (im Sicherungsbericht EKKB) geführt werden.

Die Auswahl stellt jedoch keinen Vorentscheid zum gewählten Reaktortyp oder zu einem bestimmten Anlagenlieferanten dar. Die Wahl des zu beschaffenden Reaktortyps sowie des Anlagenlieferanten erfolgen im Zuge der Vorbereitung des Gesuches um die Baubewilligung im Rahmen der geltenden gesetzlichen Anforderungen für die Beschaffung von Kernkraftwerken und den dazugehörigen Anlagen.

2.3.3 Hauptkühlsystem

Für das Hauptkühlsystem, welches Wasser zur Kühlung des Dampfturbinen-Kondensators bereitstellt, wird ein geschlossenes Kühlsystem mit einem Hybridkühlturm gewählt. Der ca. 60 m hohe Kühlturm arbeitet nach dem Prinzip der kombinierten Nass-Trockenkühlung mit einem mittels Ventilatoren erzwungenem Luftstrom. Dabei wird der feuchte Luftstrom aus dem Nassteil des Kühlturms mit einem zweiten Luftstrom aus dem Trockenteil des Kühlturms vermischt und über den Taupunkt aufgewärmt. Auf diese Weise wird sichtbarer Dampf weitgehend vermieden.

Mit diesem Hauptkühlsystem ist die Umgebungsluft die Hauptwärmesenke. Das bei der Kühlung des Kondensators aufgewärmte Wasser wird durch Verdunstung einer Wasserteilmenge im Kühlturm abgekühlt. Der Hauptteil des Wassers wird im Kühlturmbecken gesammelt und wieder dem Kondensator zugeführt. Die durch die Verdampfung verursachten Wasserverluste werden durch Zufuhr von Wasser aus der Aare kompensiert. Damit sich die im Kühlwasserkreislauf gelösten Stoffe nicht zu stark konzentrieren, wird eine kleine Teilmenge des Kreislaufwassers ständig abgeführt (abgeschlämmt) und durch zusätzliches Wasser aus der Aare nachgespiesen. Die resultierende Zusatzwassermenge ist somit die Summe der Wasserzufuhr zur Kompensation der Verdunstungsverluste und des Abschlämmwassers. Die Menge des Zusatzwassers beträgt ungefähr 2-3% des totalen Wasserdurchsatzes des Hauptkühlkreislaufes.

Ein Hybridkühlturm besteht aus einem Verdunstungsteil (Nassteil) und einem Trockenteil. Im unteren Nassteil wird das Warmwasser wie in einem Naturzug-Nasskühlturm versprüht und mittels grosser, am Umfang angeordneten Ventilatoren zwangsbelüftet. Dem so erhaltenen gesättigten Luftstrom wird im oberen Trockenteil ein zweiter Luftstrom zugemischt. Dieser Luftstrom wird

ebenfalls von Ventilatoren angesaugt und strömt über Wärmetauscher, die mit dem Warmwasser beaufschlagt werden. Durch die Mischung beider Luftströme wird die relative Feuchte so eingestellt, dass beim Austritt in die Umgebung die Bildung sichtbaren Dampfes – die den Betrieb eines klassischen Naturzug-Nasskühlturms charakterisiert – weitgehend verhindert wird.

Das Kreislaufwasser wird in einem unteren Becken aufgefangen und wieder dem Kondensator zugeführt. Aufgrund der Wetterbedingungen am Standort wird erwartet, dass die Abluft meistens unter der Feuchtigkeits-Sättigungsgrenze liegt, sodass die Menge sichtbaren Dampfes vernachlässigbar ist. Bei seltenen, extremen Wetterlagen (z.B. sehr kaltes und feuchtes Wetter) ist nicht auszuschliessen, dass Dampf erkennbar wird. Solche Wetterlagen sind jedoch am Standort nur wenig wahrscheinlich und gehen ausserdem meistens zusammen mit Nebelbildung, sodass der sichtbare Dampf effektiv unbemerkt bleiben wird.

Um die Verdunstungsverluste zu kompensieren wird dem Kühlturm aufbereitetes Aarewasser zugeführt. Es wird mehr Wasser zugeführt als verdunstet, damit wird die Wasserchemie im gewünschten Bereich gehalten. Die überflüssige Wassermenge wird vom Kühlturm abgeschlämmt und in die Aare zurückgeführt. Die Menge, welche zurückgeführt wird, ist abhängig von den Verdunstungsverlusten, welche wetter- und leistungsabhängig sind. Die Temperatur des zurückgeführten Wassers ist in erster Linie von der Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit abhängig und damit im Sommer am höchsten. Die zu erwartende Streuung dieser Werte ist eine Folge der unterschiedlichen Anlagekonzeptionen und Auslegungsparameter des Kühlturms sowie der saisonalen Unterschiede der Wetterbedingungen. Um die Temperatur des wieder eingeleiteten Kühlwassers unter 30° C zu halten, wird dem zurückgegebenen Wasser im Sommer eine zusätzliche Menge Aarewasser beigemischt. Je nach Anlagenauslegung kann dies durch Beimischung in den Nebenkühlwasserrücklauf erfolgen.

Das hier beschriebene Hauptkühlsystem ist kein Sicherheitssystem. Es gehört zur Kategorie unklassierte Ausrüstungen (Anhang 4, KEV).

2.3.4 Grösse und Lage der wichtigsten Bauten

Die ungefähre Lage, Grösse und Anordnung der wichtigsten Bauten des geplanten EKKB sind in Abbildung 2.3-1, Abbildung 2.3-2 und Abbildung 2.3-3 gezeigt. Diese generischen Darstellungen stellen den Rahmen der möglichen Anlagentypen, welche für dieses Projekt in Frage kommen, dar und entsprechen damit auch den in Kapitel 2.3 erwähnten Grundzügen des Projektes. Die Darstellung ist als Näherung zu betrachten und beinhaltet nur die wichtigsten Gebäudekategorien. Die Dimensionen der wichtigsten Bauten dieser generischen Anlage, wie in den oben erwähnten Abbildungen dargestellt, sind in Tabelle 2.3-1 angegeben. Die Gebäudenummern sind in Abbildung 2.3-1 angegeben.

Tabelle 2.3-1: Dimensionen der wichtigsten Bauten der generischen Anlage

Geb. Nr.	Beschreibung	Länge [m]	Breite [m]	Höhe [m]	Bemerkungen
110	Reaktorgebäude	56	56	58	
120	Reaktornebengebäude	100	100	30	
155	Abluftkamin			99	Durchmesser 6 m
160	Gebäude für die Konditionierung radioaktiver Abfälle	66	35	17	
165	Notstromdieselgebäude	25	21	13	Doppelt vorhanden
210	Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente	145	42	25	
215	Lager für schwach- und mittelaktive Abfälle	121	40	20	
310	Maschinenhaus	122	60	50	Treppenhäuser 54 m hoch
610	Kühlturm			55	Durchmesser 160 m
615	Hauptkühlwasserpumpenhaus	34	33	10	
640	Nebenkühlwasseranlagen	102	24	15	Doppelt vorhanden
420	Unterwerk / Schaltanlage	56	55	10	Nebengebäude 17 m, 22 m, 10 m

Im Folgenden werden die wichtigsten Bauten der generischen Anlage kurz beschrieben. Es ist zu beachten, dass die Bezeichnungen und der Zweck der Bauten für Leichtwasserreaktoren nicht standardisiert sind. Jeder Reaktorlieferant hat seine eigenen Bezeichnungen und die Funktionen der verschiedenen Gebäude bzw. die Systeme, die sich darin befinden, sind unterschiedlich. Deshalb kann die vorliegende generische Beschreibung nur eine Näherung sein und wird nicht vollständig mit der beim Gesuch zur Baubewilligung eingereichten Anlagenbeschreibung übereinstimmen.

Reaktorgebäude

Das Reaktorgebäude beinhaltet den Reaktordruckbehälter und Reaktorkühlkreislauf sowie die notwendigen Sicherheitssysteme. Im Reaktordruckbehälter befindet sich der Reaktorkern, in welchem durch Kernspaltung Wärme erzeugt wird. In einem DWR[2] beinhaltet das Reaktorgebäude zusätzlich Druckhalter, Hauptkühlmittelpumpen und auch mehrere Dampferzeuger, in welchen das aufgeheizte Kühlwasser im Primärkühlsystem das von aussen zugeleitete Wasser (Sekundärkühlsystem) zum Sieden bringt. Der entstehende Dampf wird in der Dampfturbine expandiert. In einem SWR[3] entsteht der Dampf im Primärkühlsystem und wird direkt an die Dampfturbine weitergeleitet. Die oben genannten Komponenten sind mit einer Sicherheitshülle (Containment) umschlossen. Im Reaktorgebäude befinden sich ausserdem weitere Einrichtungen für die Brennelementhandhabung und -lagerung.

Reaktornebengebäude

Die Reaktornebengebäude beinhalten unter anderem die Sicherheitssysteme sowie die sicherheitsrelevanten elektrischen Steuer- und Messeinrichtungen und die sicherheitsrelevanten Heizungs- Lüftungs- und Klimaanlagen. Aus Sicherheitsgründen sind diese Anlagen redundant und getrennt voneinander aufgebaut. Der Hauptkommandoraum befindet sich bei vielen Anlagentypen im Reaktornebengebäude.

Manche Reaktortypen haben ein Lager für Brennelemente im Reaktornebengebäude. Dieses beinhaltet das Lagerbecken für abgebrannte Brennelemente, den Bereich zum Beladen der Transportbehälter, Lagerbereiche für frische Brennelemente, die Verbindung zum Brennelement-Transportsystem sowie Verbindungen zu anderen Systemen und Einrichtungen des Kraftwerks.

Abluftkamin

Die aus dem Reaktorgebäude und anderen nuklearen Gebäuden zur Unterdruckhaltung abgesaugte Luft wird in der Abluftanlage gereinigt, bevor sie über den Abluftkamin an die Umgebung abgegeben wird. Zusätzlich werden die abgesaugten nicht kondensierbaren Gase aus dem Kondensatorluftraum durch den Abluftkamin an die Umwelt abgegeben. Dabei können je nach Reaktorsystem und Anlagenzustand bei der Kernspaltung anfallende Edelgase (im Wesentlichen Xenon, Krypton) an die Umwelt mitabgegeben werden, nachdem ihre Aktivität weitgehend abgeklungen ist (dies geschieht durch eine Verzögerungsstrecke aus Aktivkohle). Die Abluft am Kamin wird ständig überwacht, damit die zulässigen Grenzwerte jederzeit eingehalten werden.

[2] Druckwasserreaktor

[3] Siedewasserreaktor

Gebäude für die Konditionierung radioaktiver Abfälle

Das Gebäude für die Konditionierung radioaktiver Abfälle enthält Sammeltanks für Boden- und Apparateentwässerung, Schlammabscheider, Tanks für verbrauchtes Harz, für Reinigungsmittel und für Chemikalien, Konzentrat- und Probenentnahmetanks sowie die zugehörigen Pumpen und mobilen Systeme.

Radioaktive Betriebsabfälle entstehen beim Betrieb des Kernkraftwerks. Es sind feste und flüssige radioaktive Stoffe. Dabei handelt es sich insbesondere um Ionenaustauscherharze, Filter aus den Wasserkreisläufen und aus den Lüftungsanlagen, in denen radioaktives Material zurückgehalten wird sowie aus der Abwasserreinigung stammende Schlämme und Verdampferkonzentrate.

Weitere Betriebsabfälle entstehen bei Reparatur-, Instandhaltungs-, Nachrüstungs- und Inspektionsarbeiten. Dazu gehören kontaminierte Werkzeuge, kontaminierte Schutzausrüstungen sowie kontaminierte Teile oder Komponenten des Kraftwerks. Zu den Betriebsabfällen gehören auch ausgediente Komponenten aus dem Reaktordruckbehälter wie Steuerstäbe, Instrumentierungslanzen und Brennelementkästen (vgl. auch Kapitel 2.3.5).

Notstromdieselgebäude

Hier sind die Notstrom-Dieselaggregate untergebracht. Für den Fall eines Stromausfalles im Übertragungsnetz stellen die Dieselaggregate den zur Aufrechterhaltung der Sicherheitsfunktionen benötigten Strom bereit. In den sogenannten passiven Reaktortypen werden die Dieselgeneratoren erst nach Ablauf einer längeren Zeitperiode gebraucht, um stabile Zustände aufrecht zu erhalten.

Brennelemente-Zwischenlager

Im Zwischenlager werden abgebrannte Brennelemente, hochaktive Abfälle aus der Wiederaufarbeitung von Brennelementen und andere hochaktive Abfälle gelagert. Das Zwischenlager ist entweder ein Trockenlager, wie z.B. ZWILAG oder ZWIBEZ, oder ein Nasslager, wie z.B. das Nasslager im KKW Gösgen. Dieses Gebäude ist zusätzlich zum Brennelementlager, welches sich im Reaktornebengebäude befindet, zu errichten (vgl. auch Kapitel 2.3.5).

Lager für schwach- und mittelaktive Abfälle

Das Gebäude verfügt über ausreichend Kapazität für die Lagerung der während der gesamten Lebensdauer des Kraftwerks anfallenden konditionierten Abfälle, bis diese in ein anderes Zwischenlager oder ein geologisches Tiefenlager überführt werden können, siehe auch Kapitel 2.3.6.

Maschinenhaus

Das Maschinenhaus enthält als Hauptkomponente die Dampfturbine mit Generator, welche den im Reaktorsystem erzeugten Dampf in elektrischen Strom umwandelt. Ausserdem befinden sich das Frischdampfsystem, das Speisewassersystem, das Kondensatsystem, der Kondensator sowie andere Hilfs- und Nebensysteme im Maschinenhaus.

Kühlturm

Der Hybridkühlturm besteht aus einem Trocken- und Nassbereich. Im Nass- sowie im Trockenteil sind Ventilatoren angeordnet. Die Ventilatoren im Nassbereich sorgen für den kontinuierlichen Luftstrom durch den Kühlturm, wodurch sich eine geringere Bauhöhe erreichen lässt. Die Ventilatoren im Trockenbereich vermischen warme, trockene Luft mit feuchter, gesättigter Luft. Hierdurch kann vermieden werden, dass sich eine weithin sichtbare Dampffahne über dem Kühlturm bildet. Je nach Wetterlage können jedoch auch beim Hybridkühlturm zeitweise schwach sichtbare Dampfschwaden entstehen.

Die Höhe eines Hybridkühlturms ist geringer im Vergleich zu einem konventionellen Nasskühlturm (ca. 60 m Höhe verglichen mit z.B. einer Höhe von 144 m beim Kernkraftwerk Leibstadt (KKL)). Der Hybridkühlturm hat einen höheren Verbrauch an elektrischer Energie (Ventilatorenleistung), der den Wirkungsgrad der Gesamtanlage reduziert (vgl. auch Kapitel 2.3.3).

Hauptkühlwasserpumpenhaus

Im Hauptkühlwasserpumpenhaus befinden sich die Pumpen (inkl. Armaturen und Hilfssystemen), welche das Hauptkühlwasser vom Kühlturmbecken zum Kondensator befördert.

Nebenkühlwasseranlagen

Das nukleare Nebenkühlsystem wird für die Kühlung der Kraftwerkshilfssysteme und Kraftwerksnebensysteme benötigt, die zum nuklearen Bereich des Kraftwerks gehören. Zusätzlich kann das System sowohl als Wärmesenke für den Reaktor im abgeschaltetem Zustand (gegebenenfalls unter Störfallbedingungen) als auch zur Kühlung der Brennelementlagerbecken angewendet werden.

Das konventionelle Nebenkühlwassersystem kühlt die Kraftwerkshilfs- und Nebensysteme, die zum konventionellen Teil des Kraftwerks gehören.

In der generischen Beschreibung bzw. Darstellung werden beide Systeme als geschlossene Kreisläufe mit Kühlzellen abgebildet. Es ist auch möglich, diese Systeme als direkte Kühlsysteme, mit Kühlung durch Flusswasser, zu gestalten. Dies ist eher geeignet für das konventionelle Nebenkühlsystem, welches nicht gegen Auswirkungen von externen Ereignissen wie Erdbeben ausgelegt werden muss.

Unterwerk / Schaltanlage

Der Strom aus dem Generator wird in den voraussichtlich neben dem Maschinenhaus platzierten Blocktransformatoren auf Netzspannung gebracht. Die Verbindung des Kraftwerks zum Überlandnetz wird im Unterwerk erstellt. Hier wird auch der Kraftwerk-Blocktrenner untergebracht.

Allgemein

Es ist anzumerken, dass die generische Darstellung nur eine Näherung sein kann, weil die Anzahl, Anordnung, Grösse und Funktion der Bauten der verschiedenen Reaktortypen unterschiedlich sind. In Tabelle 2.3-1 sowie in Abbildung 2.3-1 und Abbildung 2.3-2 wurden die Dimensionen der einzelnen Bauten so gewählt, um die Grössen der Bauten einer Auswahl von möglichen Reaktortypen abzugrenzen. Die definitiven Dimensionen werden erst nach der Wahl des Reaktortyps und der Dimensionierung der Bauten für den Standort Beznau festgelegt werden. Deshalb sind zukünftig Abweichungen von den Angaben zu erwarten.

Mit dem endgültigen Projekt werden alle Bauten erstellt, welche für den Betrieb eines Kernkraftwerks erforderlich sind. Dies schliesst auch Anlagen und Bauten ausserhalb des Kraftwerksareals ein, wie z.B. Schaltanlagen, Anlagen zur Entnahme und Rückgabe von Fluss- und Grundwasser, Feuerlösch- und Brauchwasserreservoirs mit entsprechenden Verbindungssystemen, Meteomasten und Überwachungsanlagen, Zugangsstrassen und Bahnverbindungen. Diese Aufstellung ist nicht abschliessend. Das Rahmenbewilligungsgesuch schliesst hingegen alle für den Betrieb des Kernkraftwerks notwendigen Anlagen und Bauten ein.

Die genaue Anzahl, Art, Lage, Anordnung und Grösse der obenerwähnten Bauten, Anlagen und Systeme werden im Gesuch zur Baubewilligung festgelegt und detailliert beschrieben. Auch nach Erhalt der Bau- und Betriebsbewilligung und nach der Inbetriebsetzung der Anlage werden, gemäss den Erfahrungen beim Betrieb der bestehenden Kernkraftwerke, Nachrüstungen und Erweiterungen bestehender Gebäude oder die Errichtung neuer Gebäude notwendig.

Zu jeder Standardanlage gehören Räume und Einrichtungen für die Lagerung von frischen Brennelementen (Kernmaterialien). Es werden auch Bauten und Einrichtungen für die Handhabung, Konditionierung und Lagerung von bestrahlten Brennelementen und radioaktiven Abfällen miteingeschlossen. Die Lagerbecken für bestrahlte Brennelemente haben die Aufgabe, aus dem Reaktorkern entladene Brennelemente aufzunehmen und kritikalitätssicher bis zu deren Abtransport bzw. zu einem neuen Einsatz im Reaktor zwischenzulagern. Die Lagerbecken dienen auch als Pufferlager zur Zwischenlagerung neuer Brennelemente.

Die erwähnten Räume und Einrichtungen der Standardanlagen haben aber in der Regel limitierte Kapazitäten. Deshalb werden zusätzliche Lagergebäude und Einrichtungen vorgesehen, wie oben auch dargestellt. Diese Bauten sind weiter in Kapitel 2.3.5 und 2.3.6 beschrieben.

Abbildung 2.3-1: Anordnung der generischen Anlage am Standort Beznau

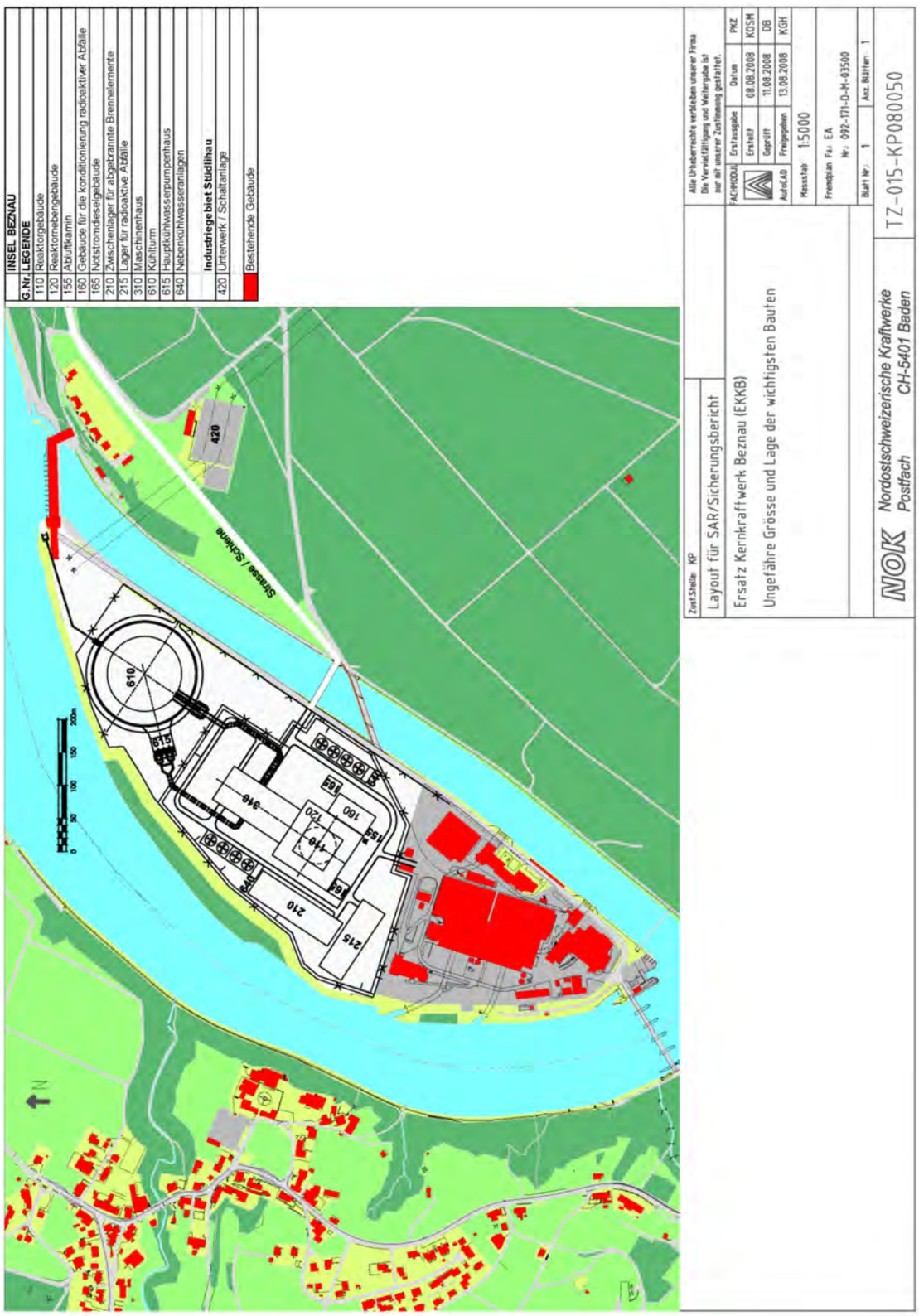
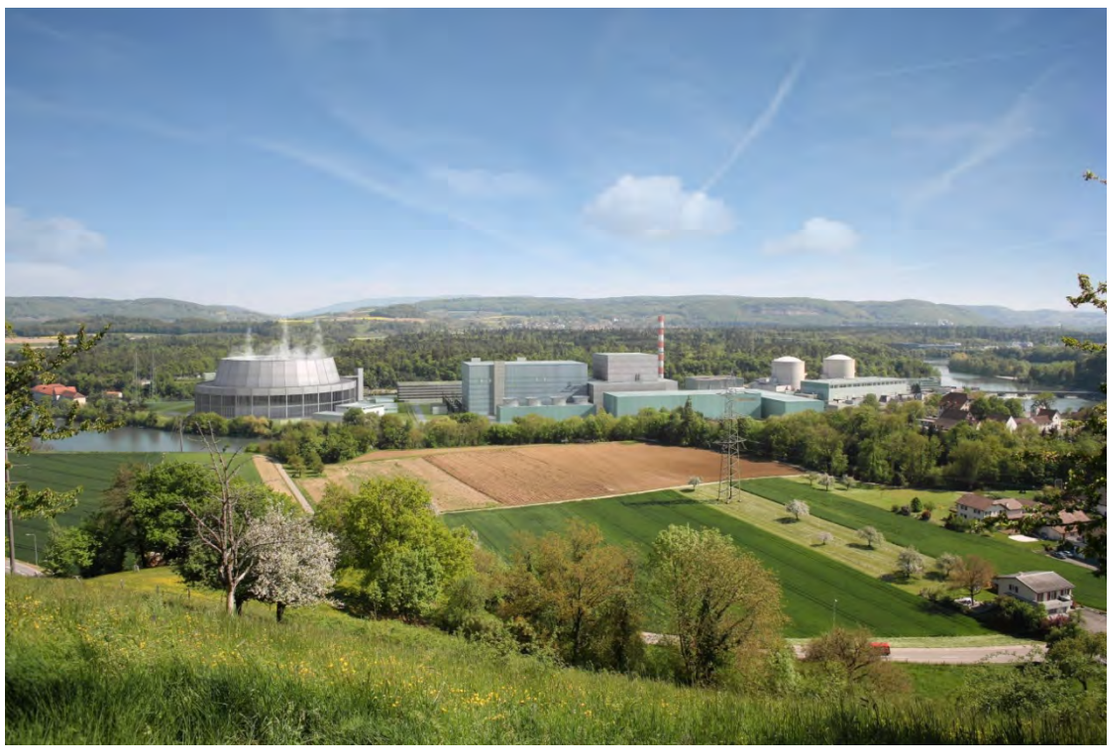


Abbildung 2.3-2: Visualisierung der Anlage EKKB auf der Insel Beznau (Ansicht aus dem Westen)



Links der Hybridkühlturm, in der Mitte das Maschinenhaus mit Nebenkühlwasserzellen im Vordergrund, rechts davon das Reaktor- und das Reaktornebengebäude (mit Abluftkamin) mit dem Brennelemente-Zwischenlager im Vordergrund, daneben das Lager für schwach- und mittelaktive Abfälle. Ganz rechts KKB 1 und 2.

Abbildung 2.3-3: Visualisierung der Anlage EKKB auf der Insel Beznau (Ansicht aus dem Norden)



Hybridkühlturm, links davon Nebenkühlwasserzellen. Hinten ZWIBEZ und KKB 1 und 2. Ganz links hinter den Wohnhäusern ist die neue Schaltanlage des Überlandnetzes im Stüdlihau sichtbar. Die entsprechenden Hochspannungsmasten sind vor dem Kühlturm und im Wald zu sehen.

2.3.5 Lagerung bestrahlter Brennelemente und anderer hochaktiver Abfälle

Bei der Errichtung von Standardanlagen wird in der Regel ein Lagerbecken mit der Kapazität für die Zwischenlagerung von bestrahlten Brennelementen aus mehreren Zyklen errichtet. Seine Kapazität beschränkt sich aber typischerweise auf 10-20 Brennstoffzyklen.

Es ist deshalb vorgesehen, für das EKKB ein zusätzliches Lagergebäude mit Einrichtungen zu erstellen. Das Gebäude wird voraussichtlich innerhalb des Areals, aber getrennt vom Kraftwerksblock, errichtet. Es wird eine Kapazität für die Lagerung aller bestrahlten Brennelemente, aller übrigen hochaktiven Abfälle, inkl. Abfälle aus der Wiederaufarbeitung bestrahlter Brennelemente, welche über die Gesamtlebensdauer der Anlage anfallen, haben. Die Lagerung von bestrahlten Brennelementen sowie den übrigen hochaktiven Abfällen aus anderen, schweizerischen Kernanlagen in diesem Lagergebäude ist grundsätzlich auch möglich.

Die Lagerkapazität der Zwischenlager wird so bemessen sein, dass die Zwischenlager am Standort (sowie die allenfalls in anderen Kernanlagen für Abfälle aus dem EKKB zur Verfügung stehenden Kapazitäten) in ihrer Gesamtheit die nicht direkt einem geologischen Tiefenlager zuführbaren, während des Betriebs und bei der Stilllegung des EKKB verursachten bestrahlten Brennelemente und anderen hochaktiven Abfälle aufnehmen können, einschliesslich allfällig anfallender Wiederaufarbeitungsabfälle sowie die während der letzten 10 Jahre im bestehenden KKB 1 und 2 anfallenden Brennelemente.

Der Ausbau der Lagerkapazität wird etappiert erfolgen, unter Berücksichtigung der Verfügbarkeit der geologischen Tiefenlager sowie allenfalls für hochaktive Abfälle aus dem EKKB vorgesehener Zwischenlagerkapazität in anderen Kernanlagen.

Im nicht a priori zu unterstellenden Fall, dass während Betrieb und Stilllegung des EKKB kein geologisches Tiefenlager zur Verfügung steht, wird maximal die Möglichkeit zu schaffen sein, sämtliche oben genannten Abfälle zwischenzulagern.

Die maximale Lagerkapazität für bestrahlte Brennelemente und andere hochaktive Abfälle aus dem EKKB ist wie folgt quantifiziert (die Volumen beziehen sich auf den Platzbedarf):

- 180 der heute üblichen Transport- und Lagerbehälter mit abgebrannten Brennelementen und hochaktiven Abfällen, davon ca. 10 mit Brennelementen aus KKB 1 und 2

oder alternativ:

- Ein Brennelementvolumen von 1'500 m^3 (einschliesslich des Volumens für Brennelemente aus dem KKB 1 und 2) und ggf. zusätzlich ein Volumen von 600 m^3 an verglasten Spaltproduktlösungen aus der Wiederaufbereitung von abgebrannten Brennelementen

und

- 1'000 m^3 alpha-toxische Abfälle.

Den Angaben zum Anfall an abgebrannten Brennelementen bzw. hochaktiven Abfällen liegen nicht nur Standardkernauslegungen mit konservativen tiefen Entladeabbränden zugrunde; dazu kommt auch, dass bei gewissen Reaktortypen wegen der Brennelementgeometrie die Volumenausnutzung der Transport- und Lagerbehälter geringer ist.

Diese Mengen wurden zum Zeitpunkt des Rahmenbewilligungsgesuchs ohne detailliertere Kenntnisse der Anlagenauslegung oder Leistung bestimmt (zurzeit sind nur die Grundzüge festgelegt). Deshalb sind sie nur als Richtgrössen zu betrachten.

Dieses Lagergebäude ist als Kernanlage gemäss KEG und KEV einzustufen und wird deshalb die darin enthaltenen Anforderungen erfüllen. Es gilt als wichtiges Gebäude und wurde deshalb in Abbildung 2.3-1, Abbildung 2.3-2 und Abbildung 2.3-3 berücksichtigt. Es ist aber zurzeit nicht möglich, die Dimensionen und Form des Lagergebäudes abschliessend zu bestimmen. Die Angaben gelten deshalb als Näherung. Ein Baugesuch für dieses Lagergebäude erfolgt voraussichtlich später als für das Kernkraftwerk, gegebenenfalls nach dessen Inbetriebsetzung.

2.3.6 Konditionierung und Lagerung mittel- und schwachaktiver Abfälle

Bei den Standardanlagen werden auch Bauten und Einrichtungen für die Handhabung, Konditionierung und Lagerung radioaktiver Abfälle miteingeschlossen. Diese Anlagenbereiche haben aber in der Regel limitierte Kapazitäten. Deshalb werden zusätzliche Bauten und Einrichtungen für das EKKB vorgesehen.

Es wird deshalb ein Gebäude zur Konditionierung und Lagerung radioaktiver Abfälle innerhalb des Areals, aber ausserhalb des Kraftwerksblocks errichtet. Die benötigten Konditionierungseinrichtungen sind Gegenstand dieses Rahmenbewilligungsgesuchs. Sie dienen der Vorbereitung der radioaktiven Abfälle für die Zwischenlagerung und damit auch für die geologische Tiefenlagerung. Insbesondere dienen sie der mechanischen Verkleinerung, der Dekontamination, der Verpressung, der Verbrennung, der Einbettung in Abfallmatrizen und der Verpackung der radioaktiven Abfälle[4].

Konditionierungsanlagen befinden sich am Kraftwerksstandort oder in besonderen Fällen auch in einer anderen Kernanlage, wobei letzterenfalls mit dem Eigentümer der Konditionierungsanlage vertraglich zu regeln ist, dass die an Bau und Betrieb einer solchen Einrichtung gestellten Anforderungen vollumfänglich erfüllt sind. Konditionierungsanlagen am Standort des EKKB werden in gleicher Art wie die übrigen Anlagen des EKKB und zusammen mit diesen ausgelegt, errichtet und betrieben.

Die Lagerkapazität des Zwischenlagers wird so bemessen sein, dass jederzeit die Zwischenlager am Standort (sowie die allenfalls in anderen Kernanlagen für Abfälle aus dem EKKB zur Verfügung stehenden Kapazitäten) in ihrer Gesamtheit die nicht direkt einem geologischen Tiefenlager oder einem anderen Zwischenlager zuführbaren, während des Betriebs und bei der Stilllegung vom EKKB verursachten mittel- und schwachaktiven Abfälle aufnehmen können.

Die maximale Lagerkapazität für schwach- und mittelaktive Abfälle ist damit für das EKKB wie folgt quantifiziert:

- 20'000 m^3, wovon ca. 70% Stilllegungsabfälle. Dieses Volumen bezieht sich auf das archimedische Abfallvolumen, welches als wichtige Eigenschaft der konditionierten Abfälle einen mit anderen Kernanlagen vergleichbaren Parameter für den Anfall radioaktiven Abfalls darstellt.

Diese Mengen wurden ohne detailliertere Kenntnisse der Anlageauslegung oder Leistung bestimmt (zurzeit sind nur die Grundzüge festgelegt). Deshalb sind sie nur als Richtgrössen zu betrachten.

Dieses Lagergebäude ist auch als Kernanlage gemäss Kernenergiegesetz und Kernenergieverordnung einzustufen und wird deshalb die darin enthaltenen Anforderungen erfüllen. Es gilt als wichtiges Gebäude und wurde deshalb in der Abbildung 2.3-1 und Abbildung 2.3-2 berücksichtigt. Es ist aber zurzeit schwierig, die Dimensionen und Form des Lagergebäudes zu bestimmen. Die Angaben gelten deshalb als Näherung. Ein Baugesuch für dieses Lagergebäude erfolgt voraussichtlich später als für das Kernkraftwerk, gegebenenfalls nach dessen Inbetriebsetzung.

[4] vgl. Art. 3 Bst. g KEG

Der Ausbau der Lagerkapazität wird etappiert erfolgen, unter Berücksichtigung der Verfügbarkeit der geologischen Tiefenlager sowie allenfalls für radioaktive Abfälle aus dem EKKB vorgesehener Zwischenlagerkapazität in anderen Kernanlagen. Im nicht a priori zu unterstellenden Fall, dass während Betrieb und Stilllegung des EKKB kein geologisches Tiefenlager zur Verfügung steht, wird maximal die Möglichkeit zu schaffen sein, sämtliche oben genannten Abfälle zwischenzulagern.

Falls zum Zeitpunkt der Stilllegung der Bedarf bestehen sollte, einen Teil dieser Einrichtungen über die Stilllegung des Kraftwerks hinaus zu betreiben, werden diese Anlageteile so nachgerüstet, dass sie als eigene Kernanlage weiter betrieben werden können. Eine solche Nachrüstung betrifft insbesondere die zur Gewährleistung der Sicherheit und der Sicherung notwendigen Systeme.

Stilllegungsabfälle werden – sofern nicht direkt einem geologischen Tiefenlager zugeführt - entweder am Kraftwerksstandort oder in einer anderen Kernanlage zwischengelagert werden. Das gegebenenfalls am Kraftwerksstandort erforderliche Zwischenlager würde entsprechend den rechtlichen Anforderungen (Art 12 Abs. 2 KEV) ausreichend Kapazität für die Lagerung aller nicht direkt einem geologischen Tiefenlager zuzuführenden, beim Rückbau des EKKB anfallenden Stilllegungsabfälle aufweisen. Das Zwischenlagergebäude, das allenfalls am Kraftwerksstandort zu errichten wäre, ist im 2D-Layout nicht ersichtlich, da manche EKKB-Gebäude zuvor rückgebaut werden müssten.

2.3.7 Kühlwassersysteme und Wärmesenke

In Kapitel 2.3.3 wurde das Hauptkühlsystem beschrieben. Dies ist, gemäss Art. 14 Abs. 2 lit. a KEG, einer der Grundzüge des Projekts, welche in der Rahmenbewilligung festgelegt und deshalb im Rahmenbewilligungsgesuch beschrieben werden. Das Hauptkühlsystem kühlt den Kondensator der Dampfturbine.

Ein Kernkraftwerk braucht dazu zusätzliche Kühlsysteme, welche nicht unter die Grundzüge des Projektes fallen und deshalb nicht im Rahmenbewilligungsgesuch detailliert beschrieben werden. Umfang und Ausführung dieser Systeme sind vom Reaktortyp abhängig. Sie werden hier generisch beschrieben und dienen als Basis für die Beurteilung des Standortes im Hinblick auf die Verfügbarkeit von Kühlwasser und von Wärmesenken. Das Kühlwasser transportiert die Wärme aus der Anlage und gibt sie an eine Wärmesenke ab. Als Wärmesenke kann ein Oberflächengewässer oder die Atmosphäre (mittels Kühlturm oder Kühlzellen) in Frage kommen. Hier werden die Kühlsysteme beschrieben, welche die Wärme direkt an die Wärmesenke abgeben. Allfällige geschlossene Systeme (Zwischenkühlkreisläufe), welche die Wärme von den gekühlten Anlagenkomponenten an den Kühlwassersystemen abgeben, werden nicht betrachtet.

Die Anlage braucht solche Kühlsysteme für den Normalbetrieb (inklusive Betriebsstörungen) und auch für die Beherrschung von Störfällen. Grundsätzlich stehen für beide Kategorien geschlossene Kühlkreisläufe, mit Kühlzellen und Wärmeabgabe an die Umgebungsluft, und direkte Kühlkreisläufe mit Wärmeabgabe an Oberflächengewässer zur Verfügung. Eine weitere Variante ist die Anwendung von Grundwasser in einem direkten Kühlkreislauf mit Abgabe an ein Oberflächengewässer. Eine Rückgabe ins Grundwasser ist nicht möglich.

Auch die geschlossenen Kühlkreisläufe mit Kühlzellen brauchen eine Wasserzufuhr zur Nachspeisung von Verdampfungsverlusten und Gewährleistung einer akzeptablen Wasserchemie.

Diese kann Oberflächengewässer oder Grundwasserquellen entnommen werden. Für sicherheitsrelevante Systeme zur Beherrschung von Störfällen hat die Entnahme aus dem Grundwasser einige Vorteile. Grundwasserquellen können vor Beschädigung durch externe Ereignisse (z.B. Flugzeugabsturz, unbefugte Einwirkung (UEW)) einfacher geschützt werden. Auch ein Verlust durch die Auswirkungen von Erdbeben ist je nach Standortbedingungen eher bei Oberflächengewässern vorhanden (Verlust der Stauhaltung).

Die benötigte Menge von externem Kühlwasser ist von der Auslegung der Anlage und den zu beherrschenden Störfällen abhängig. Bei der Beurteilung von Standorteigenschaften wurde von einer Flusswassermenge von 5'000 kg/s ausgegangen. Dies wäre bei der Direktkühlung der nicht sicherheitsrelevanten Komponenten im Normalbetrieb inklusive Ab- und Anfahren der Anlage der Fall. Für die Nachspeisung von geschlossenen Kreisläufen (sicherheits- bzw. nicht sicherheitsrelevant) wäre mit ca. 50 kg/s zu rechnen. Für die Direktkühlung mittels Grundwasser (z.B. für einen Notstand als Folge UEW) wurde von einer Menge von 300 kg/s ausgegangen. Diese Werte sind nicht definitiv und dienen zur Beurteilung der Machbarkeit der Kühlung, abhängig von den Standorteigenschaften. Die Beurteilungen sind in Kapitel 3.5.11 für Oberflächengewässer und in Kapitel 3.6.9 (Grundwasser) zu finden.

Die Standorte der sicherheitsrelevanten Kühlwasserfassungen und allfällige Notstandsbrunnen sind von der Anlagenauslegung abhängig und können erst bei der Einreichung des Baubewilligungsgesuchs festgelegt werden.

Aus Gründen des UEW-Schutzes werden Notstandsbrunnen oft unter entsprechend geschützten Bauten platziert. Der Standort ist auch von den lokalen Grundwasserverhältnissen abhängig.

Bei der Standortwahl für die Kühlwassereinlaufbauwerke (Flusswasser) werden die relevanten Trennungsanforderungen und die lokalen Flussufer- und Flussbettkonfigurationen berücksichtigt.

2.4 Rechtliche Anforderungen an die Sicherheit

2.4.1 Grundsätze und Schutzmassnahmen

Die Grundsätze der nuklearen Sicherheit sind im Kernenergiegesetz (Art. 4 KEG) definiert. Die erforderlichen Schutzmassnahmen zur Gewährleistung der Sicherheit sind weiter im Art. 5 KEG festgelegt. Der Schutz von Mensch und Umwelt vor Gefährdungen durch ionisierende Strahlung wird durch die Anforderungen des Strahlenschutzgesetzes (StSG, SR 814.50) [3] bzw. der Strahlenschutzverordnung (StSV, SR 814.501) [4] präzisiert.

Gemäss KEG sind Schutzmassnahmen nach international anerkannten Grundsätzen zu treffen. Die Schutzmassnahmen umfassen insbesondere den Einsatz qualitativ hochwertiger Bauteile, gestaffelter Sicherheitsbarrieren, die mehrfache Ausführung und Automation von Sicherheitssystemen, den Aufbau einer geeigneten Organisation mit qualifiziertem Personal sowie die Förderung eines ausgeprägten Sicherheitsbewusstseins.

Für den Fall, dass gefährliche Mengen radioaktiver Stoffe freigesetzt werden, sind Notfallschutzmassnahmen zur Begrenzung des Schadensausmasses vorzubereiten.

Die Kernenergieverordnung (Art. 7 und 8 KEV) legt fest, welche Schutzmassnahmen zur Gewährleistung der nuklearen Sicherheit getroffen werden müssen und fordert bei Kernanlagen die entsprechenden Schutzmassnahmen gegen Störfälle mit Ursprung innerhalb oder ausserhalb der Anlage. Die Kernenergieverordnung Art. 7 verlangt folgende Schutzmassnahmen:

- Bei der Auslegung, beim Bau, bei der Inbetriebnahme und beim Betrieb von Kernanlagen sind bewährte oder nachweislich hochqualitative Verfahren, Werkstoffe, Techniken sowie Organisationsstrukturen und -abläufe einzusetzen; dies gilt insbesondere für die Bereiche Planung, Fertigung, Prüfung, Betriebsführung, Überwachung, Instandhaltung, Qualitätssicherung, Erfahrungsauswertung, ergonomische Gestaltung sowie Aus- und Weiterbildung.
- Abweichungen vom Normalbetrieb sollen, soweit möglich, durch ein selbstregulierendes, fehlertolerantes Anlageverhalten aufgefangen werden.
- Es ist, soweit möglich, ein inhärent sicheres Anlageverhalten vorzusehen; als inhärente Sicherheit gilt der Zustand, in dem ein technisches System aus sich selbst heraus, also ohne weitere Hilfssysteme, sicher arbeitet.
- Zur Beherrschung von Störfällen ist die Anlage derart auszulegen, dass keine unzulässigen radiologischen Auswirkungen in der Umgebung der Anlage entstehen; dazu sind passive und aktive Sicherheitssysteme vorzusehen.
- Gegen Störfälle, bei denen radioaktive Stoffe in gefährdendem Umfang freigesetzt werden können, sind zusätzliche vorbeugende und lindernde Vorkehrungen im technischen, organisatorischen und administrativen Bereich zu treffen.

Bei Kernanlagen sind gegen Störfälle mit Ursprung innerhalb oder ausserhalb der Anlage Schutzmassnahmen zu treffen (Art. 8 KEV). Als Störfälle mit Ursprung innerhalb und ausserhalb der Anlage gelten insbesondere solche, die durch die in Art. 8 Abs. 2 und 3 KEV aufgelisteten Ereignisse ausgelöst werden können. Die weiteren Anforderungen an Störfallanalysen werden in Kapitel 2.4.4 beschrieben.

2.4.2 Auslegung

Die Grundsätze für die Auslegung von Kernkraftwerken sind in Art. 10 KEV definiert. Diese Grundsätze schliessen folgende Prinzipien ein:

- Sicherheitsfunktionen müssen auch beim Eintreten eines beliebigen, vom auslösenden Ereignis unabhängigen Einzelfehlers wirksam bleiben und zwar auch dann, wenn eine Komponente wegen Instandhaltung nicht verfügbar ist.
- Sicherheitsfunktionen sind, soweit möglich, nach den Grundsätzen der Redundanz und Diversität auszuführen.
- Die zur Erfüllung einer Sicherheitsfunktion eingesetzten redundanten Stränge müssen, soweit möglich, voneinander funktional unabhängig und von den anderen räumlich getrennt sein.
- Die zur Erfüllung einer Sicherheitsfunktion eingesetzten redundanten Stränge müssen, soweit möglich, integral oder sonst in möglichst umfassenden Abschnitten sowohl mit Handsteuerung, als auch mit simulierter automatischer Anregung, darunter auch bei Notstrombedingungen, geprüft werden können.
- Sicherheitsfunktionen müssen derart automatisiert werden, dass bei Störfällen nach Art. 8 KEV keine sicherheitsrelevanten Eingriffe des Personals innerhalb der ersten 30 min nach dem auslösenden Ereignis erforderlich werden.
- Bei der Auslegung der Systeme und Komponenten sind ausreichende Sicherheitszuschläge zu berücksichtigen.
- Nach Möglichkeit ist ein sicherheitsgerichtetes Systemverhalten bei Fehlfunktionen von Ausrüstungen zu gewährleisten.
- Passive sind gegenüber aktiven Sicherheitsfunktionen zu bevorzugen.
- Arbeitsplätze und Arbeitsabläufe für Bedienung und Instandhaltung der Anlage sind so zu gestalten, dass die menschlichen Fähigkeiten und deren Grenzen berücksichtigt werden.
- Bei gleichem Sicherheitsgewinn sind Massnahmen zur Verhinderung von Störfällen nach Art. 7 lit. d KEV denjenigen zur Linderung der Konsequenzen von Störfällen vorzuziehen.

Die Schutzmassnahmen und Auslegungsgrundsätze der Kernenergieverordnung setzen das Konzept einer mehrschichtigen Abwehr gegen das Auftreten und die Auswirkungen von Störfällen um (Defence-in-Depth). Ausserdem werden in die Auslegung der Anlage mehrere physikalische Sicherheitsbarrieren aufgenommen. Die Integrität dieser Barrieren wird durch aktive bzw. passive Sicherheitsfunktionen gewährleistet.

Bei der Auslegung der Anlage werden auch generell die Belange des Rückbaus berücksichtigt werden. Dies wird im Gesuch zur Baubewilligung weiter beschrieben.

In weiteren Regelwerken (Verordnungen des Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) und Richtlinien der HSK) werden diese Auslegungsgrundsätze umgesetzt. Weil sich die HSK-Richtlinien und zum Teil die Verordnung des UVEK zur Kernenergie zurzeit in einem Bearbeitungsprozess befinden, werden die Richtlinien und Verordnungen in den Gesuchsunterlagen nicht einzeln zitiert. Es werden aber bei jeder Bewilligungsstufe die entsprechenden gültigen Unterlagen berücksichtigt. Die WENRA-Reference Levels werden, soweit notwendig, durch die HSK in ihre Richtlinien aufgenommen und somit berücksichtigt.

Bei der Projektierung und Auslegung der Anlage werden die obenerwähnten Schutzziele, Grundsätze und Massnahmen berücksichtigt. Die entsprechenden Unterlagen und Nachweise werden in den Gesuchen zu den Bau- und Betriebsbewilligungen erbracht, wie in der Kernenergieverordnung Anhang 4 verlangt wird. Dabei werden auch die relevanten Anforderungen der IAEO-Standards berücksichtigt. In der Regel werden auch die behördlichen Anforderungen des Landes des Reaktorherstellers berücksichtigt (z.B. die Anforderungen des U.S.NRC). Internationale Anforderungen werden berücksichtigt, wenn keine Schweizerischen Anforderungen vorhanden sind.

Die Anlage wird dem Stand der Wissenschaft und Technik entsprechen, wie in Art. 4 des Kernenergiegesetzes gefordert. Die Schutzmassnahmen zur Gewährleistung der nuklearen Schutzziele werden nach international anerkannten Grundsätzen getroffen (Art 5 KEG).

Die wichtigen personellen und organisatorischen Angaben (Art. 23 lit. a Ziff. 4 KEV) werden in Kapitel 5 zusammengefasst. Dabei werden die oben zusammengefassten Anforderungen an die nukleare Sicherheit beim Aufbau der Organisation berücksichtigt. Dies schliesst auch die Grundsätze zur Gestaltung der Arbeitsplätze und -abläufe gemäss Art. 10 Abs. 1 lit. j KEV ein (vgl. oben).

2.4.3 Schutz gegen Störfälle

Im Kapitel 3 "Standorteigenschaften" werden entsprechend dem Artikel 23 der KEV die Standorteigenschaften beschrieben. Sie werden auch bewertet und die Standorteignung wird geprüft und nachgewiesen. Dazu wird die Machbarkeit der Schutzmassnahmen gegen Störfälle mit Ursprung ausserhalb der Anlage berücksichtigt. Die Massnahmen gegen Störfälle mit Ursprung innerhalb der Anlage werden im Rahmen des Gesuchs zur Baubewilligung behandelt wie in der KEV Anhang 4 festgelegt.

Die voraussichtliche Strahlenexposition in der Umgebung der Anlage wird auch im Kapitel 4 "Strahlenschutz und Strahlenexposition in der Umgebung der Anlage" behandelt (Art. 23 KEV). Für Störfälle werden die Auswirkungen auf die Anlage und Umgebung im Rahmen des Gesuchs zur Baubewilligung bzw. Betriebsbewilligung nachgewiesen.

Bei der Diskussion von Ereignissen und Störfällen werden die Begriffe wie im Glossar beschrieben verwendet.

Der Schutz gegen Störfälle mit Ursprung ausserhalb der Anlage wird in Zusammenhang mit den Standorteigenschaften in Kapitel 3 dargestellt. Dabei wird die Machbarkeit der Einhaltung der Schutzziele beurteilt werden. Diese Machbarkeit ist gegeben, falls die Störfälle, welche durch die am Standort definierten Ereignisse ausgelöst werden können, durch bekannte Massnahmen beherrscht werden können. Dies muss zum Zeitpunkt des RBG nicht nachgewiesen werden, weil die Anlagekonfiguration noch nicht bekannt ist.

Gemäss Art. 8 KEV werden gegen Störfälle mit Ursprung innerhalb oder ausserhalb der Anlage Schutzmassnahmen getroffen. Diese Anforderung wird unter anderem durch eine geeignete Anlagenauslegung erfüllt werden. Dies wird in den Unterlagen zum Baubewilligungsgesuch dargestellt und nachgewiesen.

Der Nachweis zur Einhaltung der Schutzziele muss (und kann) ebenfalls nicht im Rahmenbewilligungsgesuch (RBG) erbracht werden.

Die Identifikation und Beschreibung der internen Störfälle ist von der Auslegung und dem Verhalten der Anlage abhängig und kann nicht beim Rahmenbewilligungsgesuch dargestellt werden. Die entsprechenden Angaben und Nachweise werden im Gesuch zur Baubewilligung bzw. Betriebsbewilligung erbracht werden, wie in der Kernenergieverordnung gefordert.

Gemäss Art. 8 KEV kann Brand als Störfall mit Ursprung innerhalb oder ausserhalb der Anlage gelten. Brände können auch durch den unfallbedingten Absturz von Flugzeugen oder durch Blitzschlag ausgelöst werden. Im Rahmen der Abwicklung des Baubewilligungs- und Freigabeverfahrens werden gemäss KEV Anhang 4 die Anforderungen an Brandschutz und Blitzschutz festgelegt. Diese Anforderungen werden Brände mit Ursprung innerhalb und ausserhalb der Anlage berücksichtigen. Gemäss HSK-Richtlinie R-30 wird ein Brandschutzkonzept als Teil der Gesuchsunterlagen zum Baubewilligungsgesuch eingereicht.

Im Brandfall, je nach Grösse des Ereignisses, können stufenweise zusätzliche, externe Unterstützungselemente (Nachbarwehren und / oder Stützpunkt-Feuerwehren in Brugg und Zurzach) angefordert werden. Brugg und Zurzach sind ca. 8 bzw. 6 km vom Standort entfernt. Die Nachbarwehren des Paul Scherrer Institut (PSI) und den Gemeinden Würenlingen, Villigen und Klingnau / Döttingen liegen alle innerhalb von 5 km vom Standort entfernt (vgl. auch Kapitel 3.2.2).

2.4.4 Störfallanalysen

2.4.4.1 Grundsätzliche Anforderungen

Gemäss KEG Artikel 4 muss im Normalbetrieb und bei Störfällen Vorsorge gegen eine unzulässige Freisetzung radioaktiver Stoffe sowie gegen eine unzulässige Bestrahlung von Personen getroffen werden. Die Freisetzung von radioaktiven Stoffen im Normalbetrieb (inkl. Betriebsstörungen) wird in Kapitel 4 betrachtet.

Für die Auslegung einer Kernanlage sind die Störfälle nach den Häufigkeiten der Strahlenschutzverordnung (StSV) Art. 94 einzuteilen (Art. 8 Abs. 4 KEV). Daraus müssen die Dosislimiten abgeleitet werden.

Gemäss Art 8 Abs. 4 KEV ist nachzuweisen, dass die Dosen nach Artikel 94 Absätze 2-5 StSV eingehalten werden können.

Als Voraussetzung für die Erteilung der Rahmenbewilligung wird in der Botschaft zum Kernenergiegesetz [5] eine Sicherheitsbeurteilung zur Möglichkeit und Auswirkung von Störfällen erwähnt.

Die Schutzziele, die Gefährdungsannahmen (Störfälle), die Bewertungskriterien sowie die Methoden und Annahmen zur Erbringung der Nachweise werden in den Verordnungen des UVEK und in den HSK-Richtlinien festgelegt.

Die Anforderungen an die Sicherheitseinrichtungen zur Gewährleistung der Schutzziele sind in den HSK-Richtlinien G01 und G02 festgelegt.

Gemäss bisheriger Praxis werden da, wo keine diesbezüglichen HSK-Anforderungen bestehen, auch die sicherheitstechnischen Anforderungen der Behörden des Herkunftslandes berücksichtigt.

Dazu kommen international genormte Anforderungen der Betreiberorganisationen (EUR Standards).

Die entsprechenden gültigen Regelwerke werden bei der Auslegung der zu errichtenden Anlage erfüllt. Die Nachweise der Erfüllung der Schutzziele und der entsprechenden Limiten werden in den Gesuchsunterlagen zur Bau- bzw. Betriebsbewilligung enthalten sein. Diese Nachweise werden anhand der deterministischen Störfallanalysen und radiologischen Analysen wie in der KEV Anhang 4 "Reaktortechnik" festgelegt, durchgeführt.

Gemäss der Kernenergieverordnung Art. 8 Abs. 5 ist mittels probabilistischer Nachweise zu zeigen, dass die mittlere Kernschadenshäufigkeit für Störfälle nach Artikel 8 (mit Ursprung innerhalb und ausserhalb der Anlage) höchstens 10^{-5} pro Jahr beträgt. Dieser Nachweis muss für das Baubewilligungsgesuch erbracht werden. Die entsprechenden Anforderungen an die Analysen werden in den HSK-Richtlinien festgelegt.

Zum Zeitpunkt des Rahmenbewilligungsgesuchs sind nur die Grundzüge der zu errichtenden Anlage festgelegt. Die detaillierte Auslegung der Anlage ist noch nicht festgelegt. Die meisten Reaktortypen, die in Frage kommen, sind zurzeit entweder in den Vereinigten Staaten von Amerika lizenziert oder durchlaufen Lizenzierungsprozesse. Andere erfüllen die European Utility Requirements (EUR)-Kriterien, befinden sich aber noch im Lizenzierungsprozess der zuständigen Landesbehörde. Es ist zu erwarten, dass alle diese Anlagen die obenerwähnten grundsätzlichen, rechtlichen Anforderungen erfüllen werden, allenfalls mit Modifikationen zur Erfüllung bestimmter Schweizerischer Anforderungen.

Gemäss KEV Anhang 4 müssen aber erst in den Unterlagen für das Gesuch zur Baubewilligung die Gefährdungsspezifikationen, die Definitionen der Störfälle, die Sicherheitsgrenzwerte und die vorläufigen Analysen der Auslegungsstörfälle einschliesslich deren Auswirkungen auf die Anlage und Umgebung dokumentiert werden.

Für das Rahmenbewilligungsgesuch wird deshalb die Möglichkeit und Auswirkung von Störfällen mit Ursprung ausserhalb der Anlage betrachtet. Die externen, standortbezogenen Ereignisse, welche zu Störfällen führen können, werden beschrieben und ihre Auswirkungen beurteilt.

2.4.4.2 Störfälle mit Ursprung innerhalb der Anlage

In der Kernenergieverordnung Artikel 8 werden insbesondere gegen die folgenden, durch interne Ereignisse bedingten Störfälle Schutzmassnahmen verlangt:

- Reaktivitätsstörung
- Kühlmittelverlust
- Verlust der Wärmesenke
- Brand
- Überflutung
- mechanische Einwirkungen infolge Komponentenversagen
- Beschädigung von Hüllrohren bei der Handhabung von Brennelementen
- Versagen von Betriebssystemen
- unerwünschtes Ansprechen oder fehlerhaftes Funktionieren von Sicherheitssystemen
- Fehler des Personals.

Die Definition dieser Störfälle, die Sicherheitsgrenzwerte und die Ergebnisse der vorläufigen Sicherheitsanalysen werden in den Unterlagen zum Gesuch zur Baubewilligung dargelegt.

2.4.4.3 Störfälle mit Ursprung ausserhalb der Anlage

In der KEV Artikel 8 werden auch gegen Störfälle mit Ursprung ausserhalb der Anlage (externe Störfälle) Schutzmassnahmen verlangt. Insbesondere die Störfälle welche durch die folgenden Ereignisse ausgelöst werden können:

- Erdbeben
- Überflutung
- unfallbedingter Absturz von zivilen und militärischen Flugzeugen auf die Anlage
- Sturmböe
- Blitzschlag
- Druckwelle
- Brand
- Verlust der externen Stromversorgung
- Beeinträchtigung oder Unterbruch der externen Kühlwasserzufuhr.

Diese Ereignisse und deren Auswirkungen werden in entsprechenden Verordnungen und HSK-Richtlinien weiter präzisiert. Es wurden auch die in ausländischen Regelwerken und Richtlinien (U.S.NRC, z.B. [66]; IAEO, z.B. [67]) identifizierten, externen Ereignisse überprüft mit dem Ziel, eine vollständige Auflistung solcher Ereignisse und Standorteigenschaften zu erhalten.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 2.4-1 dargelegt. Dabei werden die externen Ereignisse in Gruppen eingeteilt, welche die Folgen bei der Beurteilung der Standorteignung zusammenfassen. Die externen Ereignisse sind in der Tabelle 2.4-1 ebenfalls den jeweiligen Unterkapiteln des Kapitels 3 zugeteilt. Darin werden die externen Ereignisse beschrieben und beurteilt. Die Konsequenzen für die Anlageauslegung und Störfallanalysen werden im Bau- und Betriebsbewilligungsgesuch weiter betrachtet. Es sind dies die folgenden 4 Gruppen:

1. Externe Ereignisse, welche für die Auslegung der gesamten Anlage relevant sind. Für die durch diese Ereignisse verursachten Störfälle werden, mit Ausnahme von Erdbeben, keine deterministischen Störfallanalysen verlangt. Es sind aber Schutzmassnahmen gegen die Störfälle zu treffen, und die Einhaltung der Dosislimiten gemäss Art. 94 StSV ist nachzuweisen.
2. Externe Ereignisse, welche für die Auslegung von sicherheitsrelevanten Bauten, Systemen und Komponenten relevant sind (z.B. Wind- und Schneelasten, Lufttemperatur). Es wird aber kein Störfall dadurch ausgelöst. Hier werden Auslegungsparameter anhand von Extremwertbetrachtungen sowie von vorhandenen Langzeitbetrachtungen berücksichtigt. Die Extremwerte werden durch Analysen vorhandener Messwerte oder durch das Heranziehen relevanter Normen abgeleitet.
3. Externe, für die Auslegung nicht relevante Ereignisse, welche aber in der probabilistischen Sicherheitsanalyse (PSA) als auslösende externe Ereignisse berücksichtigt werden sollten, sofern diese für die Kernschadenshäufigkeit (CDF) relevant sind.
4. Externe Ereignisse, welche für den Standort nicht relevant sind.

Die externen Ereignisse, welche durch die Standorteigenschaften massgebend bestimmt werden, können in extremen Situationen genügend starke Auswirkungen auf die Anlage haben, um einen Störfall auszulösen. In einem anderen Fall kann ein solches Ereignis auch innerhalb der betrieblichen Grenzen liegen. Ein externes Ereignis löst demzufolge nicht immer einen Störfall aus. Die Auswirkungen der externen Ereignisse können erst mit der definitiven Auslegung abschliessend betrachtet werden.

Tabelle 2.4-1: Überblick über externe Ereignisse, welche zu externen Störfällen oder Einwirkungen führen können

Kapitel	Ereignis	Gruppe
3.3 Industrie, Verkehr	Explosion / Druckwelle (inkl. Pipeline Unfall)	1
	Verkehrs- und Transportunfälle	1
	Unfälle in der Industrie / Militäranlagen	1
	Freisetzung von Chemikalien auf dem Gelände	2
	Flugzeugabsturz	1
	Turbinenhavarie	1
	Freisetzung radioaktiver Stoffe aus den Kernanlagen KKB 1 und 2 bzw. ZWIBEZ	1
3.4 Meteorologie und Klima	starke Winde	2
	Tornados / Sturmböen	1
	Tsunami / Hurrikane / Zyklone	4
	Blitzschlag	1
	Hagel	2
	hohe Sommertemperaturen	2
	tiefe Wintertemperaturen	2
	Schneelasten	2
	Sandsturm	4
	Trockenheit	1
	extremer Niederschlag	2
	ausserordentlich raue Winterbedingungen mit Schnee(verwehungen), niedrigen Temperaturen und Vereisung	3
	Ausgeprägt harte Sommerbedingungen mit hohen Temperaturen, Trockenheit, Waldbrand und niedrigem Flusswasserspiegel	3
	Gletscheraktivitäten	4
	Nebel[5]	4
	Frost[5]	4

[5] Die Ereignisse Frost und Nebel können vorkommen, müssen aber aufgrund der Überlegungen in Kapitel 3.10 nicht weiter betrachtet werden.

Kapitel	Ereignis	Gruppe
3.5 Oberflächenwasser	Überflutung (Hochwasser / Dammbruch)	1
	Niedrigwasser	1
	Vereisung (Treibeis)	2
	Ausfall / Beeinträchtigung der externen Kühlwasserzufuhr	1
	Sturm / Brandung	4
	Wellen	4
	Biologische Ereignisse	2
3.7 Geologie, Baugrundeigenschaften und Erdbebengefährdung	Erdbeben	1
	Flussbettverlagerung	4
	Erdrutsch	1
	Erosion	4
	Vulkanausbruch	4
	Bergsenkungen und Einsturz	4
	Seiche (geologische Veränderung von Wasserständen)	4
3.8 Netzeigenschaften	Ausfall / Störung der externen Stromversorgung	1
3.10 Übrige Ereignisse	Externer Brand / Waldbrand	1
	Elektromagnetische Interferenzen	4
	Terrorismus[6]	4
	Unbefugte Einwirkung (UEW)	1
	Lawine	4
	Meteoriteneinschlag	4
	Satellitenabsturz	4

Externe Ereignisse können Folgeereignisse auslösen. Dies muss bei der Beurteilung der Standorteignung berücksichtigt werden. Auch für diese Folgeereignisse müssen Schutzmassnahmen getroffen werden. In Tabelle 2.4-2 werden die Folgeereignisse identifiziert. Es gibt auch Auswirkungen, welche bei der Auslegung berücksichtigt werden und in Tabelle 2.4-2 nicht als Folgeereignisse aufgenommen wurden. Z.B. Bodenerschütterungen bei einem Erdbeben.

[6] Dieses Ereignis wird im Sicherungsbericht behandelt (vgl. Kapitel 3.9)

Tabelle 2.4-2: Externe Ereignisse und Folgeereignisse (hier werden nur Ereignisse mit identifizierten Folgeereignissen aufgeführt)

Ereignis	Folgeereignisse
Explosion / Druckwelle	• externer Brand / Waldbrand • Beschädigung exponierter Einrichtungen
Verkehrs- und Transportunfälle	• Explosion / Druckwelle • Kontamination der Innenluft durch toxische Gase
Unfälle in der Industrie / Militäranlagen	• Explosion / Druckwelle • Kontamination der Innenluft durch toxische Gase
Freisetzung von Chemikalien auf dem Gelände	• Kontamination der Innenluft durch toxische Gase • Explosion / Druckwelle
Flugzeugabsturz	• Explosion / Druckwelle • Treibstoffbrand • Verlust der externen Stromversorgung • Flugzeugtrümmereinwirkung • Verlust der externen Kühlwasserzufuhr
Sturmböen	• Verlust der externen Stromversorgung • weitere Auswirkungen abhängig von der Windgeschwindigkeit • windgetragene Gegenstände (Geschosse)
Tornados	• Verlust der externen Stromversorgung • windgetragene Gegenstände (Geschosse)
Blitzschlag	• externer Brand / Waldbrand • Verlust der externen Stromversorgung • Störung ungeschützter elektrischer Systeme
Hagel	• Einfluss auf Installationen auf den Dächern
Harte Sommerbedingungen	• Niedrigwasser / Trockenheit
Raue Winterbedingungen	• Vereisung der Oberflächengewässer (Treibeis) • Vereisung von luftführenden Komponenten und Systemen • Vereisung von Stromkabeln (Freileitungen) • Vereisung der Wasserabflüsse von Dächern • Einschränkung der Zugänglichkeit des Areals (Personal / Hilfsstoffe)
Schneelasten	• Einfluss auf Installationen auf den Dächern

Ereignis	Folgeereignisse
Trockenheit	• Verlust der externen Kühlwasserzufuhr
Extremer Niederschlag	• Überflutung
Ausserordentlich raue Winterbedingungen mit Schnee(verwehungen), niedrigen Temperaturen und Vereisung	• Verlust der externen Kühlwasserzufuhr • Vereisung von luftführenden Systemen und Komponenten • Vereisung von Stromkabeln (Freileitungen) • Vereisung der Wasserabflüsse von Dächern • Einschränkung der Zugänglichkeit des Areals (Personal / Hilfsstoffe)
Ausgeprägt harte Sommerbedingungen mit hohen Temperaturen, Trockenheit, Waldbrand und niedrigem Flusswasserspiegel	• Niedrigwasser / Trockenheit • Ansaugen von Rauchgasen
Überflutung	• Mögliche Überflutung von Anlageräumen • Verlust der externen Kühlwasserzufuhr • Unterspülung von Gebäuden • Bei Szenarien, welche zu einem Wasserstand oberhalb des Arealniveaus oder des Niveaus der Blocktransformatoren führen, ist der Verlust der externen Stromversorgung anzunehmen
Niedrigwasser	• Verlust der externen Kühlwasserzufuhr
Vereisung	• Verlust der externen Kühlwasserzufuhr • Verstopfung von Wasserabläufen auf dem Gelände
Biologische Ereignisse	• Verlust der Kühlwasserzufuhr
Erdbeben	• Verlust der externen Stromversorgung • Verlust der externen Kühlwasserzufuhr • Überflutung • Erdrutsch • Versetzungen • Bodenverflüssigungen • Einschränkung der Zugänglichkeit des Areals (Personal / Hilfsstoffe) • Brand • Unfälle in Industrieanlagen oder auf Verkehrswegen
Flussbettverlagerung	• Verlust der externen Kühlwasserzufuhr
Erdrutsch	• Überflutung

Ereignis	Folgeereignisse
Ausfall / Störung der externen Stromversorgung	• Verlust Hauptkühlwasser (Interner Störfall)
Externer Brand / Waldbrand	• Ansaugen von Rauchgasen • Einschränkung der Zugänglichkeit des Areals (Personal / Hilfsstoffe)

Die Möglichkeit und Konsequenzen der externen Störfälle werden durch die Standorteigenschaften und die damit verbundenen, externen Ereignisse beeinflusst. Die Konsequenzen werden durch die Anlageauslegung so begrenzt, dass alle Sicherheitsanforderungen eingehalten werden. Bei der Beschreibung und Bewertung der Standorteigenschaften in Kapitel 3 wird auf die entsprechenden Störfälle eingegangen.

Die Aspekte des "Schutzes gegen unbefugte Einwirkungen (UEW)" werden im Sicherungsbericht behandelt.

2.4.4.4 Radiologische Störfall-Nachweise

Die voraussichtliche Strahlenexposition in der Umgebung der Anlage beim Normalbetrieb und bei Betriebsstörungen geht aus Kapitel 4 hervor (Art. 23 KEV).

Zum Nachweis der Einhaltung aller relevanten radiologischen Limiten bei Störfällen werden gemäss Artikel 8 der Kernenergieverordnung und Artikel 94 der Strahlenschutzverordnung radiologische Störfallanalysen durchgeführt. Die vorläufigen Analysen werden im Rahmen des Gesuchs zur Baubewilligung, wie in der KEV Anhang 4 festgelegt, durchgeführt.

Gegen Störfälle mit Ursprung innerhalb oder ausserhalb der Anlage werden geeignete passive und aktive Schutzmassnahmen nach dem Stand der Technik getroffen, um die Strahlenexposition der Bevölkerung bei Störfällen auch unterhalb der gesetzlich festgelegten Grenzwerte so weit zu reduzieren, wie dies mit angemessenem Aufwand möglich ist.

Voraussichtlich werden die Dosen aus den Störfällen mit einer Häufigkeit > 10^{-6} pro Jahr, gemäss Art. 94 Ziff. 5 StSV, vergleichbar tief sein wie bei den bestehenden schweizerischen Anlagen.

2.4.5 Auslegungsüberschreitende Störfälle

Auslegungsstörfälle werden in entsprechenden Verordnungen und HSK-Richtlinien definiert. Für diese Störfälle werden deterministische Nachweise der Einhaltung der Kriterien beim Baubewilligungsgesuch (KEV Anhang 4) eingereicht. Als auslegungsüberschreitende Störfälle bezeichnet man Störfälle, die durch Mehrfachfehler in den zur Störfallbeherrschung erforderlichen Sicherheitssystemen gekennzeichnet sind oder durch ein extrem seltenes Ereignis ausgelöst werden. Im Gegensatz zu den Auslegungsstörfällen sind keine einzuhaltenden Dosisgrenzwerte für Personen in der Umgebung festgelegt.

Die Auswirkung solcher auslegungsüberschreitenden Störfälle müssen durch anlageninterne Massnahmen gegen die Folgen schwerer Unfälle begrenzt werden. Solche Massnahmen werden in den HSK-Richtlinien (z.B. R-103) behandelt. Die Bewertung dieser Störfälle und die Einschätzung der Wirksamkeit und der Zuverlässigkeit getroffener Vorsorgemassnahmen erfolgt anhand der Ergebnisse der anlagenspezifisch durchzuführenden, probabilistischen

Sicherheitsanalyse. Die Erfüllung der entsprechenden Kriterien wird gemäss KEV Art. 24 im Gesuch zur Baubewilligung nachgewiesen.

Gemäss Art. 94 StSV verlangt die Aufsichtsbehörde für Störfälle nach den Absätzen 4 und 5 sowie für Störfälle, deren Eintretenshäufigkeit < 10^{-6} pro Jahr beträgt, deren Auswirkungen aber gross sein können, die erforderlichen vorsorglichen Massnahmen.

Die Anforderungen an die deterministische Analyse für ausgewählte auslegungsüberschreitende Störfälle werden von der HSK festgelegt. Dabei werden auch die entsprechenden Safety Standards der IAEO (NS-G-1.2) berücksichtigt.

Bei der Auslegung der Anlage werden die entsprechenden Anforderungen der HSK berücksichtigt und die entsprechenden Nachweise beim Gesuch zur Baubewilligung erbracht.

2.5 Klassierung von Systemen, Strukturen und Komponenten

Die Bauwerke, Systeme und Ausrüstungen einer Kernanlage werden auf der Grundlage ihrer Bedeutung für die nukleare Sicherheit in Bauwerks-, Sicherheits- und Erdbebenklassen eingestuft. Die Kriterien für die Klassierung von sicherheitsrelevanten Systemen, Strukturen und Komponenten sind in der Kernenergieverordnung, Anhang 4 und in den HSK-Richtlinien HSK-R-04, -R-06, -R35 und -R-46 festgelegt. Die Kriterien berücksichtigen die Bedeutung der Ausrüstungen für die Beherrschung von Störfällen, die Einhaltung der Schutzziele sowie die Einhaltung der Dosislimiten. Die aktuellen HSK-Richtlinien werden voraussichtlich durch die neue Richtlinie G01 ersetzt. Die Erfüllung aller dieser Anforderungen inkl. der Klassierung aller sicherheitsrelevanten Einrichtungen wird im Gesuch zur Baubewilligung nachgewiesen.

3 Standorteigenschaften und Eignung

3.1 Einleitung

Gemäss Artikel 13 Abs. 1 lit. a KEG ist eine der Voraussetzungen für die Erteilung einer Rahmenbewilligung, dass der Schutz von Mensch und Umwelt sichergestellt werden kann. Im Rahmen der entsprechenden Sicherheitsbeurteilung ist die Standorteignung zu prüfen. Dazu gehören insbesondere geologische Aspekte, die Machbarkeit von Notfallschutzmassnahmen und Fragen der Sicherung. Die entsprechenden Nachweise sind in einem Sicherheitsbericht sowie in einem Sicherungsbericht darzulegen. Diese Sicherheitsbeurteilung umfasst somit grundsätzliche Überlegungen inkl. der Möglichkeit und der Auswirkungen von Störfällen. Als Störfälle mit Ursprung ausserhalb der Anlage gelten insbesondere die Störfälle, welche durch die in der KEV Art. 8 Abs. 3 identifizierten Ereignisse ausgelöst werden können. Die Möglichkeit und Auswirkungen dieser Ereignisse sind standortabhängig. Der Schutz gegen Störfälle gilt als gewährleistet, wenn vom Gesuchsteller für eine Bau- oder Betriebsbewilligung (Gesuchsteller) und dem Inhaber einer Betriebsbewilligung für eine Kernanlage (Bewilligungsinhaber) die Einhaltung der Schutzziele nachgewiesen wird.

Aus dem Sicherheitsbericht haben auch die Standorteigenschaften hervorzugehen (KEV Art. 23 lit. a Ziff. 1).

In Kapitel 3 wird der Standort des EKKB beschrieben und dessen Eignung für den Bau der in Kapitel 1 in seinen Grundzügen beschriebenen Anlage bewertet. Die von den Standorteigenschaften ausgehenden Ereignisse werden identifiziert und hinsichtlich Möglichkeit und Auswirkungen beurteilt. Dabei wird aufgezeigt, dass die Störfälle mit Ursprung ausserhalb der Anlage die Standorteignung nicht in Frage stellen.

Die anhand der erforderlichen Untersuchungen identifizierten Ereignisse oder Einwirkungen stellen die Standorteignung nicht in Frage, sofern diese nach heutigem Stand der Wissenschaft und Technik durch bauliche, auslegungstechnische, organisatorische oder andere Massnahmen beherrscht werden können. Die genaue Definition von eventuell erforderlichen Gegenmassnahmen und / oder die Bestimmung von detaillierten Auslegungsanforderungen aufgrund der Gefährdung sind Teil des Baubewilligungsverfahrens. Die im Rahmenbewilligungsgesuch beschriebenen Standorteigenschaften und identifizierten Ereignisse bilden eine Grundlage für die Nachweise, welche im Rahmen des Gesuchs zur Baubewilligung erforderlich werden.

Dabei werden alle Störfälle mit Ursprung ausserhalb der Anlage, welche in der Kernenergieverordnung und in den HSK-Richtlinien erwähnt sind, berücksichtigt. Dazu kommen zusätzliche Ereignisse, welche bei den ESP-Verfahren (Early Site Permits) in den Vereinigten Staaten von Amerika berücksichtigt werden.

Alle externen Ereignisse und Folgeereignisse (vgl. Kapitel 2.4.4.3) werden in die Beurteilung der Standorteignung mit einbezogen. Die einzelnen Ereignisse sind, wie in Tabelle 2.4-1 dargestellt, den entsprechenden Standortthemen zugeteilt.

Gemäss KEV Anhang 4 sind erst im Gesuch zur Baubewilligung, im Rahmen des Konzeptes der Gesamtanlage, die Gefährdungsspezifikationen zu erstellen und einzureichen. Für das RBG bezieht sich die Beurteilung der Möglichkeit und Auswirkungen der externen Ereignisse deshalb auf übergeordnete Aspekte. Das Kapitel 3 ist wie folgt strukturiert:

3.2 Geografie und Bevölkerungsverteilung

3.3 Industrieanlagen und Verkehrswege

3.4 Meteorologie und Klima

3.5 Oberflächenwasser

3.6 Grundwasser

3.7 Geologie, Baugrundeigenschaften und Erdbebengefährdung

3.8 Netzeigenschaften

3.9 Unbefugte Einwirkungen (UEW)

3.10 Übrige Ereignisse

3.11 Zusammenfassung

In jedem Unterkapitel wird der Standort bzw. die Standorteigenschaften beschrieben. Die Beschreibung liefert die notwendigen Basisinformationen für die Bewertung und Beurteilung der Standorteignung. Als Teil dieser Beurteilung werden die Möglichkeiten und Auswirkungen von Ereignissen behandelt, welche zur Auslösung von Störfällen führen könnten. Die Standorteignung ist gegeben, falls die entsprechenden Störfälle beherrscht werden können. Weil die Anlageauslegung und die entsprechenden Störfallnachweise erst beim Gesuch zur Baubewilligung beschrieben bzw. erbracht werden, beruht die Beurteilung für das RBG auf Plausibilitätsbetrachtungen. Die Erfahrung mit den in Betrieb stehenden Anlagen und die Auslegungsanforderungen der modernen Standardanlagen werden dabei berücksichtigt.

Als Teil der Standortbewertungen werden auch die Standorteigenschaften bewertet, die keine Störfälle auslösen können, aber für die Auslegung von sicherheitsrelevanten Bauten und Einrichtungen relevant sein können.

3.2 Geografie und Bevölkerungsverteilung

3.2.1 Einleitung

In Kapitel 3.2 wird die geografische Lage des Standortes sowie die Nutzung und Erschliessung der Insel dargestellt. Diese Information dient der allgemeinen Orientierung. Danach wird die Bevölkerungsverteilung in den Notfallschutzzonen um den Standort beschrieben. Es wird sowohl die permanente Wohnbevölkerung als auch die transiente Bevölkerung betrachtet. Die transiente Bevölkerung schliesst die Personen ein, welche sich aus verschiedenen Gründen temporär in den Notfallschutzzonen aufhalten (z.B. Arbeit, Aufenthalt in Hotels, Spitäler usw.). Auch die Bodennutzung in der Standortumgebung wird beschrieben.

Die Angaben zur Bevölkerung dienen der Beurteilung der Machbarkeit von Notfallschutzmassnahmen. Notfallschutzmassnahmen werden in der Notfallschutzverordnung (732.33), in der Verordnung über die Einsatzorganisation bei erhöhter Radioaktivität (VEOR) und im Konzept für den Notfallschutz in der Umgebung der Kernanlagen der Eidgenössischen Kommission für ABC-Schutz vom Januar 2006 beschrieben. Die entsprechenden Massnahmen sind im Dosis-Massnahmenkonzept (DMK) der VEOR festgelegt. Sie schliessen Aufenthalt im Haus, Aufenthalt im Keller / Schutzraum, Evakuation, Einnahme von Jod-Tabletten und Einschränkung des Lebensmittelkonsums ein.

3.2.2 Lage des Standorts

Die geographische Lage des Standorts Beznau in der Region ist in Abbildung 3.2-1 und Abbildung 3.2-2 dargestellt.

Abbildung 3.2-1: Geografische Lage des Standorts Beznau

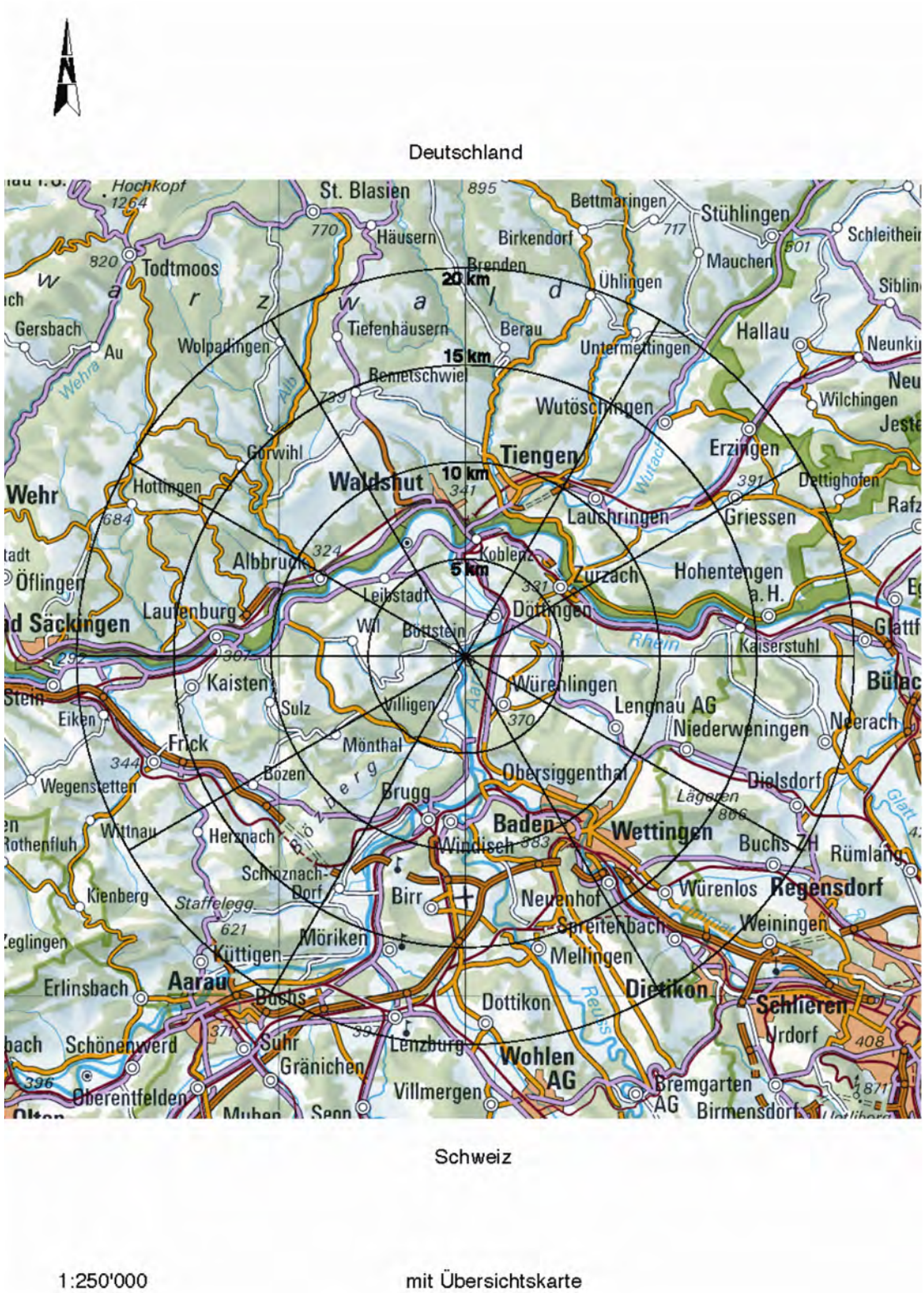
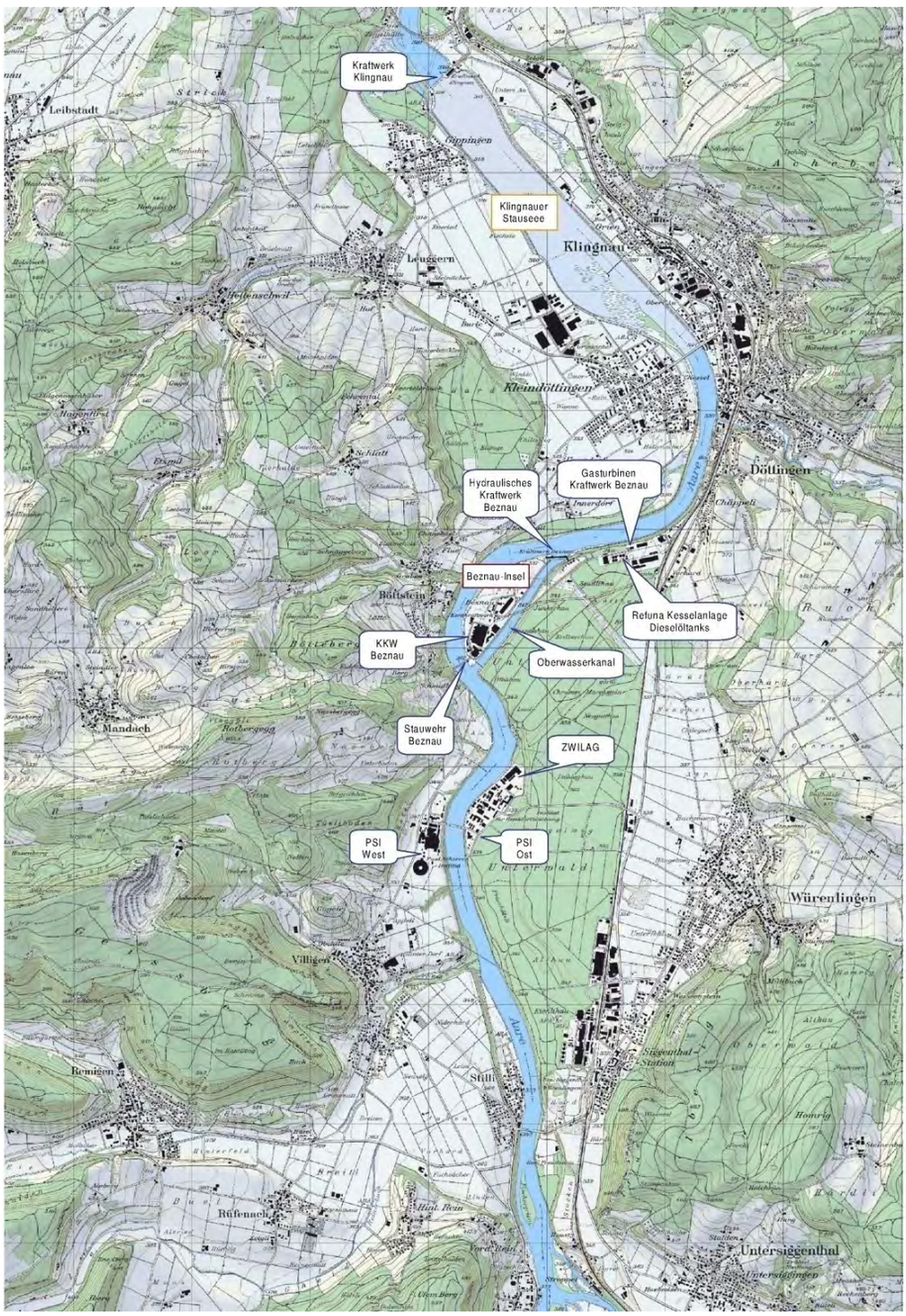


Abbildung 3.2-2: Geografie der näheren Umgebung des Standorts



Das bestehende Kernkraftwerk Beznau liegt im unteren Aaretal auf der Insel Beznau. Der Standort hat die Lagekoordinaten 659 450/267 100 (Landeskoordinaten). Die ganze Inselparzelle Nr. 1210 ist Eigentum der Nordostschweizerischen Kraftwerke AG (NOK), Baden, und liegt in der Industriezone der Gemeinde Döttingen.

Das vorgesehene Kernkraftwerk EKKB wird nördlich des bestehenden Werks mit den approximativen Lagekoordinaten 659 550/267 350 erstellt.

Die Insel Beznau befindet sich ca. 2 km südlich von Döttingen und Klingnau resp. 6-7 km nördlich der Agglomeration Brugg-Siggenthal. Die Insel Beznau gehört zur Gemeinde Döttingen und grenzt westlich an die Gemeinde Böttstein. Die nächstgelegenen Wohnhäuser befinden sich in einer Entfernung von ca. 200-300 m. Die umliegenden Gemeinden sind Böttstein und Mandach im Westen (3 km), Leuggern im Norden (4 km), Döttingen (3 km) und Klingnau in Nordosten (4 km), Würenlingen im Südosten (3 km) und Villigen im Südwesten (3 km). Die Entfernung zu den nächstgelegenen grösseren Städten betragen 8 km bis Brugg / Windisch und Waldshut, 11 km bis Baden / Wettingen, 21 km bis Aarau und 30 km bis Zürich. Die Minimaldistanz zur deutschen Grenze beträgt ca. 6 km.

Das Inselareal ist ca. 1'100 m lang und bis zu 300 m breit und liegt auf einer Meereshöhe von 326-327 m ü.M. Abgesehen von einigen kleinen Hügeln, bestehend aus Aushubmaterial, ist das Gelände flach. Die Bezugs- / Normalkote der bestehenden Gebäude des Kernkraftwerks KKB 1 und 2 ist 327 m ü.M. Diese Bezugskote wird voraussichtlich auch für das neue Kernkraftwerk EKKB gelten. Die Insel wird westlich durch den natürlichen Aarelauf und östlich durch den künstlich angelegten Oberwasserkanal begrenzt, welcher im Zusammenhang mit dem Bau des hydraulischen Kraftwerks Beznau erstellt wurde. Das letztere wird mit einem Normalstau von 325.25 m ü.M., gemessen an der Wehranlage am südlichen Ende der Insel, betrieben. Das hydraulische Kraftwerk Beznau dient zurzeit der Notstromversorgung des Kernkraftwerks KKB 1 und 2. Es ist vorgesehen, vor Baubeginn des EKKB diese Funktion durch Notstromdieselanlagen zu ersetzen.

Die Wehranlage Beznau staut das Aarewasser auf dieser konstanten Kote und leitet es über den Oberwasserkanal zum hydraulischen Kraftwerk Beznau. Dadurch variiert der Wasserspiegel bei den Kühlwasserentnahmestellen des bestehenden Kernkraftwerks am Oberwasserkanal nur geringfügig. Der Wasserhaushalt wird vom hydraulischen Kraftwerk aus gesteuert. Bei Abweichung des Pegels kann beim Wehr mit einem Notregler eingegriffen werden. Die Wehranlage wurde ab 1976 neu gebaut und ist gegen die Einwirkungen eines Sicherheitserdbebens ausgelegt.

Die Uferzone ist sowohl aareseitig als auch oberwasserkanalseitig stark mit Büschen und Bäumen bewachsen und gehört zur Uferschutzzone. Das übrige Inselgebiet besteht aus Wiese mit wenig Baumbestand. Die Fläche ist im Richtplan des Kantons Aargau als Industrie- und Gewerbezone und im Zonenplan der Gemeinde Döttingen als Industriezone eingetragen.

Das Aaretal verläuft in der Umgebung des Standorts ziemlich genau in Richtung Süd-Nord. Richtung Osten steigt die Talflanke relativ flach an, während sich im Westen eine hügelige Landschaftsstruktur anschliesst. Grosse Teile der näheren Kraftwerksumgebung sind bewaldet. Flussaufwärts befindet sich in einer Entfernung von ca. 6 km der Zusammenfluss von Reuss, Limmat und Aare. Etwa 3 km nordöstlich des Standorts fliesst die Aare in den Klingnauer Stausee, dessen Staumauer sich 2 km nördlich davon befindet. In einer Entfernung von 6 km vom Standort mündet die Aare in den Rhein.

Westlich der Insel auf dem Schmidberg befinden sich die gemeinsamen Hochreservoiranlagen der NOK (800 m^3) und der Gemeinde Würenlingen (1'600 m^3), welche als Wasserbezugsquellen für die Feuerlöschwasserversorgung der bestehenden Kernanlagen KKB 1 und 2 dienen. Es wird voraussichtlich notwendig, für den Betrieb des EKKB die Kapazitäten dieser Anlagen auszubauen. Eine solche Erweiterung ist Bestandteil dieses Rahmenbewilligungsgesuchs.

3.2.3 Nutzung der Insel

Auf der Insel stehen zurzeit diverse Einrichtungen der NOK, welche in Abbildung 2.2-4 ersichtlich sind:

- Am nördlichen Ende der Insel liegt das Hydraulische Kraftwerk Beznau. Es ist geplant, dieses Kraftwerk umzubauen oder durch einen Neubau zu ersetzen. Die Umbauarbeiten werden voraussichtlich vor Baubeginn des EKKB abgeschlossen werden.
- In der Inselmitte liegen die Schaltanlagen, aus welchen Hoch- und Mittelspannungsleitungen in diverse Richtungen wegführen. Diese Schaltanlage wird vor dem Baubeginn der neuen Kernanlage verlegt (vgl. auch Kapitel 2.2.3).
- Im südlichen Teil liegen die beiden Kernkraftwerksblöcke KKB 1 und 2 sowie das Stauwehr Beznau.
- Eingegliedert in das bestehende Kernkraftwerksareal liegt das ZWIBEZ für schwach- und hochaktive Abfälle.
- Am südlichen Ende der Insel befindet sich aareseitig das Stauwehr Beznau, wo im Jahr 2000 ostseitig eine Anlage zur Dotierung (Regulierung) der Wassermenge unterhalb des Stauwehrs eingebaut wurde. Diese Dotieranlage enthält eine Rohrturbine mit Generator.

Das EKKB wird in der nördlichen Hälfte der Insel errichtet werden. Die ungefähre Lage und Anordnung der wichtigsten Gebäude sind in Abbildung 2.3-1 bis Abbildung 2.3-3 dargestellt. Nicht alle Gebäude sind auf diesem Plan ersichtlich (vgl. auch Kapitel 2.3.4). Zudem ist die Darstellung der wichtigsten Gebäude eine generische Darstellung, welche mehrere noch nicht definierte Reaktortypen vertritt. Die definitive Darstellung und Dimensionierung der wichtigsten Gebäude werden beim Gesuch zur Baubewilligung eingereicht.

3.2.4 Bevölkerungsverteilung und Entwicklung

3.2.4.1 Einleitung

Die Darstellung und Beurteilung der Bevölkerungsverteilung um den Standort unterstützt in erster Linie die Beurteilung der Machbarkeit der Notfallschutzmassnahmen.

3.2.4.2 Notfallschutzmassnahmen

Zum Schutz vor Gefährdung durch radioaktive Strahlung wird eine Kernanlage auf der Basis der gestaffelten Sicherheitsvorsorge ("Defense in Depth") ausgelegt. Diese beinhaltet den anlageninternen Notfallschutz, welcher in der Auslegung der Anlage zum Tragen kommt. Die letzte Stufe / Ebene des "Defense in Depth"-Konzepts bildet der anlagenexterne Notfallschutz, welcher dem Schutz der Bevölkerung dient. Dieser kommt zur Anwendung, wenn die Auswirkungen eines Störfalls nicht mehr auf die Anlage selbst beschränkt werden können.

Notfallschutzmassnahmen werden gemäss Kernenergiegesetz (KEG) – für den Fall einer Freisetzung gefährlicher Mengen radioaktiver Stoffe – zur Begrenzung des Schadensausmasses vorbereitet. Die entsprechenden Notfallschutzkonzepte werden gemäss KEV im Sicherheitsbericht zum Baubewilligungsgesuch beschrieben. Ebenfalls gemäss KEV wird die Verantwortung für die Notfallplanung und Notfallbereitschaft sowie die systematische Bewertung der Notfallplanung durch die spätere Betriebsorganisation wahrgenommen werden. Ein Notfallreglement wird später, zusammen mit dem Gesuch zur Betriebsbewilligung, gemäss KEV eingereicht.

Die Grundlage für die Anordnung von Schutzmassnahmen ist, abgesehen von den Bestimmungen der Strahlenschutzverordnung, das Dosismassnahmenkonzept (DMK), welches in der Verordnung über die Einsatzorganisation bei erhöhter Radioaktivität (VEOR, [64]) enthalten ist.

Das DMK enthält Dosisschwellen (oben und unten) für die jeweiligen Schutzmassnahmen (z.B. Aufenthalt im Haus / Keller / Schutzraum, Evakuation, Einnahme von Jodtabletten etc.), welche bei einer Überschreitung der einzelnen Werte ergriffen werden müssen.

Des Weiteren sind Forderungen zum Notfallschutz in der Notfallschutzverordnung [65] festgelegt; diese beinhalten u.a. die Definition der Zonen. Die Zone 1 umfasst das Gebiet um eine Kernanlage, in dem bei einem schweren Störfall eine Gefahr für die Bevölkerung entstehen kann, welche rasche Schutzmassnahmen erfordert. Als Zone 1 ist – im Hinblick auf die unmittelbare Nähe der Standorte des bestehenden Kernkraftwerks Beznau (KKB) und das Ersatzkraftwerk KKB – die für das bestehende KKB (gemeinsam mit dem bestehenden Kernkraftwerk Leibstadt) definierte Zone 1 angenommen. Die genaue Definition der Zone 1 wird u.a. auf der Reaktorleistung und der Anlagekonzeption basieren und erfolgt gemäss Notfallschutzverordnung [65] später im Rahmen der Baubewilligung.

Die Zone 2 schliesst gemäss Notfallschutzverordnung [65] an die erste Zone an und umfasst ein in 6 Gefahrensektoren eingeteiltes Gebiet mit einem Radius von 20 km. Die Zonen werden durch die Aufsichtsbehörde festgelegt.

Das übrige Gebiet der Schweiz wird als Zone 3 bezeichnet.

Die Notfallschutzmassnahmen bei Störfällen, die eine Gefahr für die Umgebung der Anlage darstellen, werden in Unterlagen der Eidgenössischen Kommission für ABC-Schutz geregelt ("Konzept für den Nofallschutz in der Umgebung der Kernanlagen", [68]).

Bis zur definitiven Wahl der spezifischen Anlagenkonzeption durch die Gesuchstellerin können Störfallabläufe nur qualitativ betrachtet werden. Eine detaillierte Analyse von den extrem unwahrscheinlichen, auslegungsüberschreitenden Störfällen, deren mögliche Auswirkungen auf die Umgebung der Kernanlage und der dort wohnhaften Bevölkerung kann daher erst später, im Rahmen des Gesuchs für die Baubewilligung, vorgenommen werden. Falls diese Analyse Störfallabläufe zeigt, für die Schutzmassnahmen gemäss DMK erforderlich sind, wird die Gesuchstellerin diese mit den zuständigen Stellen auf Stufe Bund, Kanton und Gemeinden vor der Inbetriebnahme abstimmen. Die für EKKB in Frage kommenden Anlagetypen weisen durch ihre fortschrittliche Auslegung ein sehr hochentwickeltes Sicherheitskonzept auf. Die Auswirkungen auch von schweren Störfällen werden somit mit höchster Wahrscheinlichkeit auf die Anlage selbst begrenzt bleiben. Die Wahrscheinlichkeit, dass die Dosisschwellen gemäss DMK erreicht würden bleibt deshalb extrem klein.

Hinsichtlich der Vorsorge zu den im DMK genannten Schutzmassnahmen kann aus heutiger Sicht folgendes festgehalten werden:

I. Anordnung zum Aufenthalt im Haus: Wird diese Anordnung erlassen, kann die davon betroffene Bevölkerung von bestehenden Einrichtungen Gebrauch machen.

II. Anordnung zum Aufenthalt im Keller / Schutzraum: wie oben.

III. Anordnung zur Einnahme von Jodtabletten: Gemäss der Jodtablettenverordnung [69] stehen der Bevölkerung jodsalzhaltige Tabletten zur Verfügung, die in den Zonen 1 und 2 um eine Kernanlage vorsorglich verteilt werden. Somit kann, wenn diese Anordnung erlassen wird, auf bestehende Vorkehrungen zurückgegriffen werden.

IV. Einschränkungen im Lebensmittelkonsum: Diese Schutzmassnahme kann ohne spezielle Vorsorge nach dem Erlass umgesetzt werden.

V. Vorsorgliche Evakuierung: Zur vorsorglichen (temporären) horizontalen Evakuierung der Bevölkerung der Zone 1 des EKKB können für ein späteres Evakuierungskonzept folgende Überlegungen in Erwägung gezogen werden:

   a Die vorsorgliche Evakuation in der Vorphase ist eine Handlungsoption für jene Störfälle, die aufgrund des absehbaren, zeitlichen Verlaufes ein genügend grosses Zeitfenster für Anordnung und Vollzug offen lassen und gleichzeitig das Potenzial für eine erhebliche Freisetzung von radioaktiven Stoffen beinhalten bei welchen ein geschützter Aufenthalt im Haus / Keller / Schutzraum ungenügend ist. Ebenfalls kann die vorsorgliche Evakuation in Betracht gezogen werden, wenn ein geschützter Aufenthalt im Haus / Keller / Schutzraum nicht länger möglich / zumutbar ist. Diese Massnahme kann insbesondere in der Zone 1 von den Behörden in Betracht gezogen werden. In keinem Fall würden Zwangsmassnahmen angewendet, da die persönliche Freiheit und die Eigenverantwortung höher gewichtet werden als die Durchsetzung von Massnahmen der Führungsorgane. Durch eine offene und transparente Information ist sicherzustellen, dass die Betroffenen die Konsequenzen des eigenen Handelns jederzeit abschätzen können.

   b Bei einer vorsorglichen Evakuation dürfte nicht genügend Zeit für den Aufbau der benötigten Transport-Infrastruktur zur Verfügung stehen. Analog anderer Evakuationskonzepte (bei Chemie-Grossereignissen etc.) würde das Evakuationskonzept primär auf der Selbstsorge basieren. Die betroffene Bevölkerung wird aufgefordert, das gefährdete Gebiet so schnell wie möglich mit eigenen Verkehrsmitteln zu verlassen. Die Massnahmen des zuständigen Führungsorgans beschränken sich auf Hilfestellungen für immobile Anwohner oder besondere Zielgruppen (Schulen, Altersheime, etc.), indem z. B. ein Shuttle-Bus in Betrieb genommen wird. Dieser soll bezeichnete Sammelpunkte anfahren und jene Personen aufnehmen, die sich nicht aus eigener Kraft aus der unmittelbaren Gefahrenzone bewegen können. Die Hauptevakuationsrouten wären die Kantonsstrasse 5 in nördlicher Richtung (Bad Zurzach bzw. Rheinfelden-Basel) bzw. südlicher Richtung (Brugg-Baden) und die Kantonsstrasse 17, Surbtalstrasse (Richtung Baden-Zürich).

   c Die Massnahmen des Kantonalen Führungsstabs würden sich bei einer vorsorglichen Evakuation auf eine regelmässige und transparente Information konzentrieren sowie auf das Verkehrsmanagement. Am Rande der Zone 1 werden beispielsweise Absperrungen /

Umleitungen eingerichtet. Diese sollten ein ungehindertes Verlassen der Zone 1 ermöglichen und auf die drohende Gefahr innerhalb des Gebietes hinweisen sowie den Zutritt in das gefährdete Gebiet verhindern. Strassenzustandsmeldungen geben Auskunft über Staus und allfällige Umfahrungsmöglichkeiten. Gleichzeitig werden Notaufnahmezentren bezeichnet, die für die Aufnahme der Bevölkerung der Zone 1 vorbereitet werden. Damit diese schnell und ungehindert die Zone 1 verlassen kann, wäre im Sinn der organisatorischen Fürsorge auch ein wirksames "Verkehrsmanagement" erforderlich. Dazu gehört die weiträumige Absperrung von Autobahneinfahrten um einen möglichst freien Verkehrsabfluss aus dem gefährdeten Gebiet zu unterstützen. Angaben über den weiteren Evakuierungsweg (inkl. mögliche Aufenthaltsorte, bzw. Sammelpunkte) wären weitere Bestandteile des Verkehrsmanagements. Sammelpunkte werden identifiziert, bei welchen genügend Parkplätze und weitere Infrastrukturen für einen vorübergehenden Aufenthalt von Schutzsuchenden vorhanden sind.

d Nur Personen, die nicht selbst in der Lage sind, die gefährdete Zone zu verlassen, müssen dabei unterstützt werden. Eine grobe Abschätzung des Potenzials an unterstützungsbedürftigen Personen, welche mittels kantonaler Mittel evakuiert werden müssten, ergibt ein Mengengerüst von max. 10% der ansässigen Bevölkerung und bestimmte Kategorien der transienten Bevölkerung. Dabei geht es vor allem um Personen in Spitälern, Heimen und Schulen. Die Wohnbevölkerung und die transiente Bevölkerung in der Zone 1 ist in Tabelle 3.2-1 zusammengefasst. In der Zone 1 um das EKKB gibt es ein Spital in Leuggern sowie 4 Alters- bzw. Pflegeheime und 8 Schulen der Sekundarschulstufe 1. Als Transportmittel bieten sich Postautos oder Bahntransport ab Bahnhof Döttingen an. Die SBB und die Postautobetriebe sind im Kantonalen Führungsstab des Kantons Aargau vertreten.

e Die Umsetzung der Massnahmen ist unter der Federführung der regionalen Behörden zu organisieren. Entsprechende Checklisten für Spitäler, Heime, Schulen und Betriebe liegen mit der Normdokumentation vor. Zum Einsatz kommen ausschliesslich bestehende Infrastrukturen (wie z.B. Mehrzweckhallen und Sportanlagen) als Notunterkunft in Betracht. Aufgrund der geografischen Lage des EKKB mit leistungsfähigen Verkehrsträgern in der näheren Umgebung kann bereits heute davon ausgegangen werden, dass die Verfügbarkeit möglicher Verkehrswege und geografischer Evakuationsräume für die verschiedenen Hauptwindrichtungen (N, S, W, E) als gegeben bezeichnet werden darf.

Unter Berücksichtigung der oben genannten Grundsätze wäre eine vorsorgliche Evakuierung realisierbar. Ein detailliertes Evakuierungskonzept, das die Einzelheiten der Evakuierung auf Basis dieser Grundsätze regelt, wäre durch den Kanton Aargau zu erstellen.

Die Anordnung von Schutzmassnahmen in der Umgebung von Kernanlagen erfolgt durch die Nationale Alarmzentrale (NAZ), solange bis der Leitende Ausschuss Radioaktivität (LAR, siehe [64]) seine operative Einsatzbereitschaft erstellt hat und der Bundesrat als oberste Behörde weitere Schutzmassnahmen und Entscheide erlassen kann. Massnahmen in der Bodenphase bzw. über den Prognosezeitraum sind deshalb nicht Bestandteil des vordefinierten Notfallschutzkonzeptes von Bund und Kantonen, sondern werden aufgrund der Lage situativ festgelegt und ausgeführt.

Tabelle 3.2-1 : Bevölkerung der Gemeinden in Zone 1

Gemeinde	Wohn-bevölkerung	Beschäftigte (Stand 2005)	Schulen (Sek 1)[7]	Spitäler	Heime[8]	Andere
Böttstein	3727	1120	229			
Döttingen	3423	1693	217		64	
Full-Reuenthal	844	249				
Klingnau	2924	876	313			
Koblenz	1599	614			9	
Leibstadt	1288	922	128			
Leuggern	2083	906	168	82	29	
Mandach	319	79				
Schwaderloch	694	167				
Villigen	1883	2088				
Wil	669	189				
Würenlingen	3772	1840	143		32	
Total	23225	10743	1198	82	134	

Detaillierte Angaben zu Bevölkerungszahlen und -verteilung in der Umgebung des Standortes sind in Kapitel 3.2.4.3 und Kapitel 3.2.4.4 zu finden.

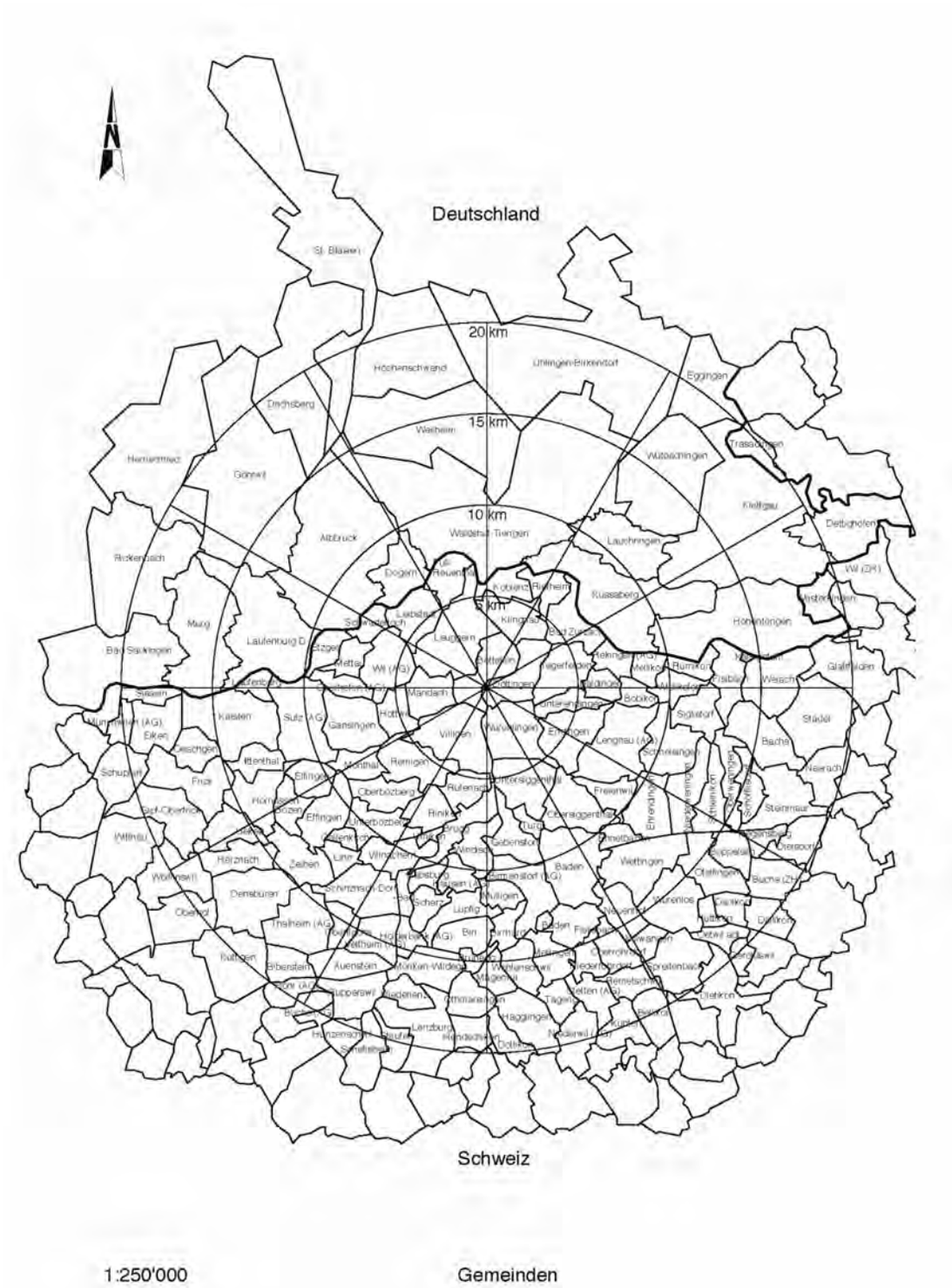
3.2.4.3 Wohnbevölkerung und Notfallschutzzonen

Die aktuelle Bevölkerung der Gemeinden der Kantone Aargau, Zürich, Schaffhausen und des Landkreises Waldshut (D) im Umkreis bis 20 km Entfernung vom Standort des geplanten Kraftwerks ist in Tabelle 3.2-8 angegeben. Die Verteilung der Gemeinden um den Standort ist in Abbildung 3.2-3 dargestellt. Die Daten in Tabelle 3.2-8 beziehen sich auf das Jahr 2006. Die Quellen sind: www.ag.ch/staag, www.statistik.zh.ch, www.sh.ch und www.statistik-bw.de (resp. Landratsamt Waldshut, Statistik 2007, Bevölkerung und Wirtschaft im Landkreis Waldshut).

[7] Schule der Sekundarstufe 1 und Spezialschulen wurden gezählt. Schüler der Sekundarstufe 2 dürfen als selbständig in Hinblick auf die horizontale Evakuierung gelten.

[8] Bewohner von Heimen zählen zu der Wohnbevölkerung

Abbildung 3.2-3: Verteilung der Gemeinden um den Standort



Gemäss Notfallschutzverordnung [65] werden zwei Notfallschutzzonen festgelegt. Die Zone 1 umfasst das Gebiet um eine Kernanlage, in dem bei einem schweren Unfall eine Gefahr für die Bevölkerung entstehen kann, die rasche Schutzmassnahmen erfordert. Die Zone 2 schliesst an die Zone 1 an und umfasst ein Gebiet mit einem Radius von etwa 20 km. Sie wird in Sektoren eingeteilt.

Infolge des geringen gegenseitigen Abstandes der Kernkraftwerke Beznau und Leibstadt wurden für diese Standorte gemeinsame Zonen festgelegt. Die Gefahrenzonen 1 und 2 für das EKKB werden bei der Baubewilligung aufgrund der zu jenem Zeitpunkt aktuellen PSA-Ergebnisse festgelegt.

Für die Darstellung der Bevölkerungsverteilung um den Standort wurden die bestehenden Zonen für das KKB 1 und 2 verwendet. Die Bevölkerungsverteilung der einzelnen Gefahrensektoren ist in Abbildung 3.2-4 angegeben. Diese Darstellung schliesst Teile der Bundesrepublik Deutschland ein, entsprechend der früheren Praxis. Die Sektoren in Abbildung 3.2-5 bis Abbildung 3.2-8 entsprechen der Darstellung im HSK-Dokument "Zonenpläne für die Notfallplanung" (Ausgabe September 2008). Die Verteilung in Kreisringsektoren (Abbildung 3.2-9 und Tabelle 3.2-2) entspricht der Darstellung in den aktuellen Sicherheitsberichten des Kernkraftwerks Beznau.

Abbildung 3.2-4: Bevölkerungszahlen in den Gefahrensektoren

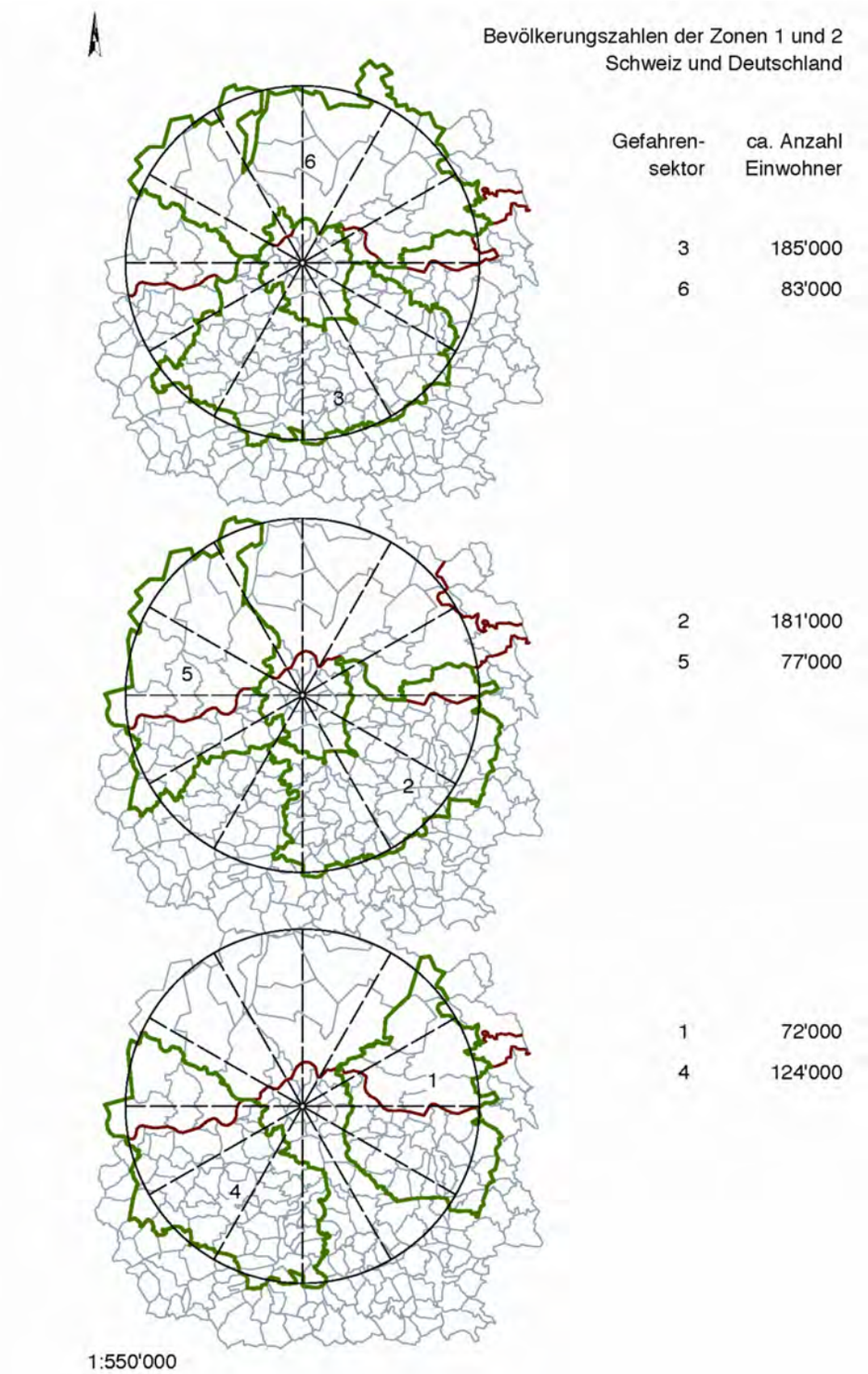


Abbildung 3.2-5: Notfallschutzzone 1 für die Kernkraftwerke Beznau und Leibstadt

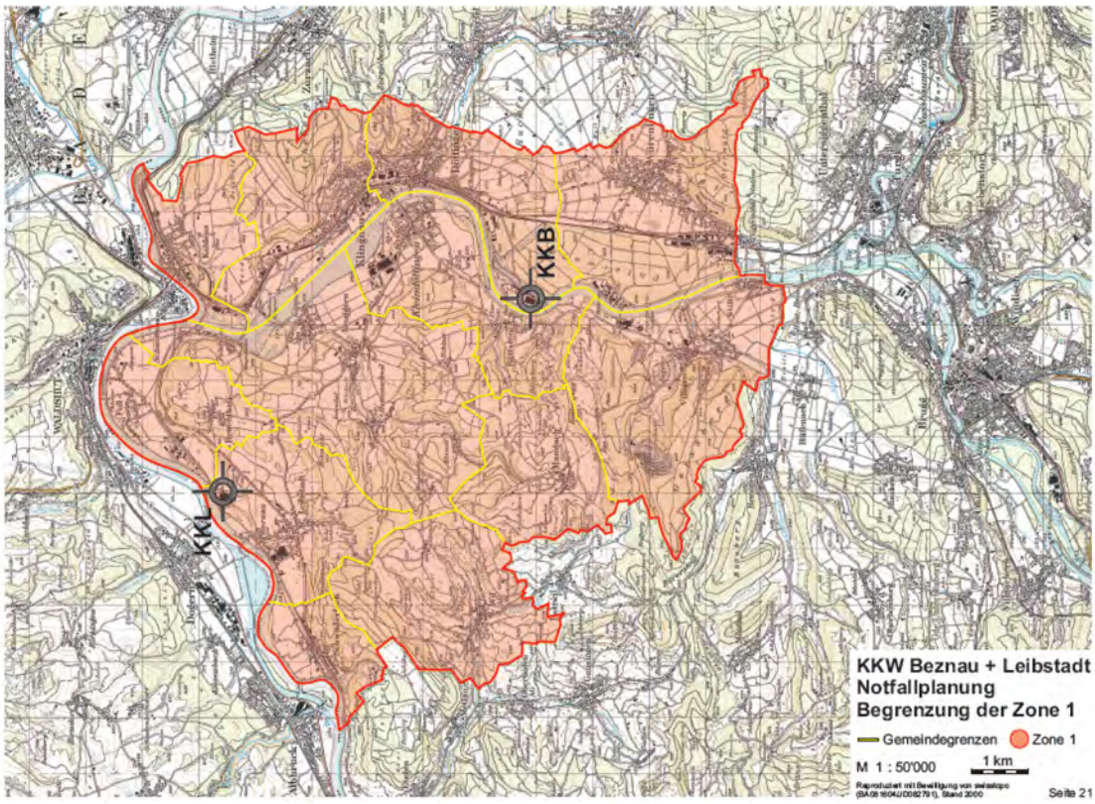


Abbildung 3.2-6: Gefahrensektoren 1 und 4 der Notfallschutzzone 2

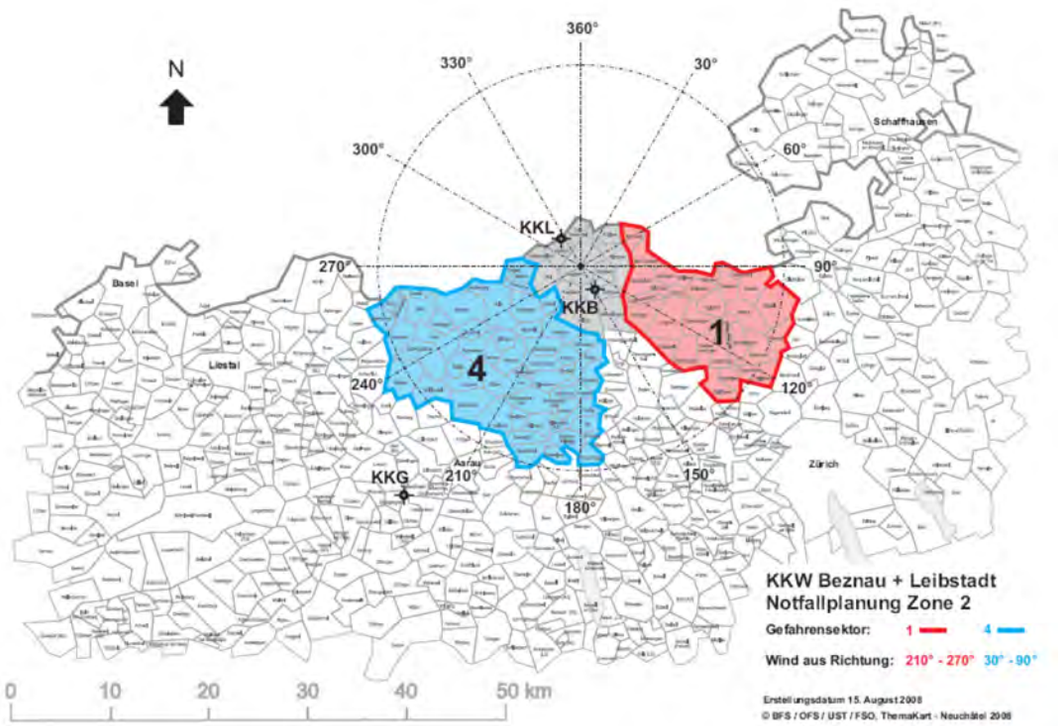


Abbildung 3.2-7: Gefahrensektoren 2 und 5 der Notfallschutzzone 2

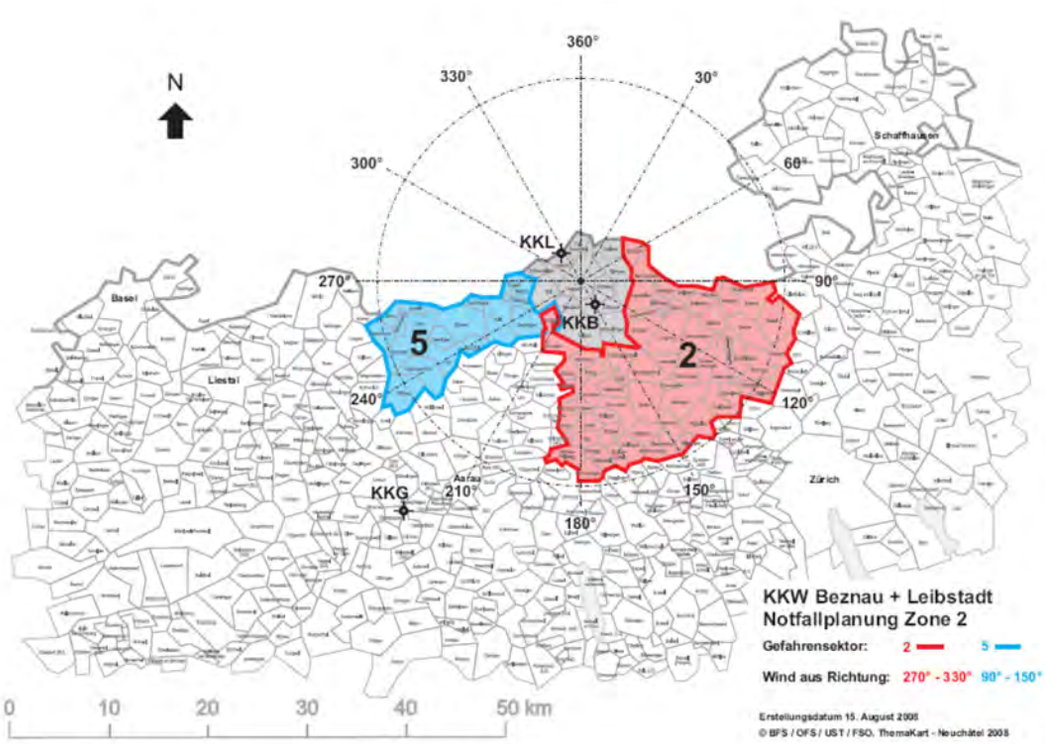


Abbildung 3.2-8: Gefahrensektor 3 der Notfallschutzzone 2

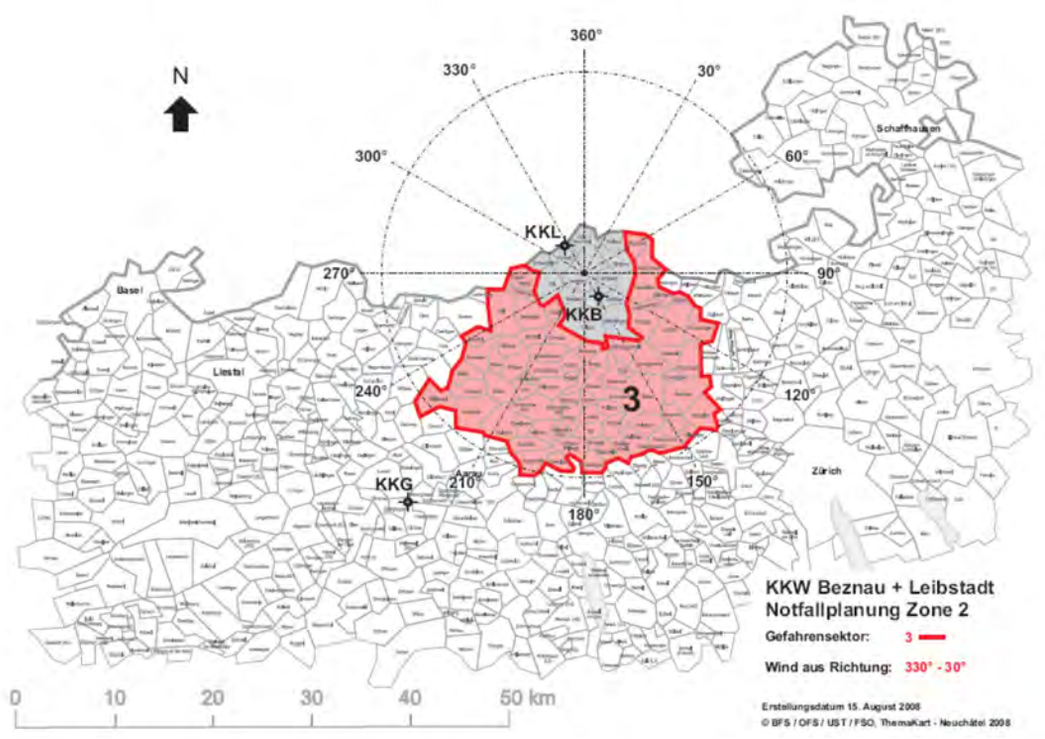


Abbildung 3.2-9: Bevölkerungszahlen in den Kreissektoren

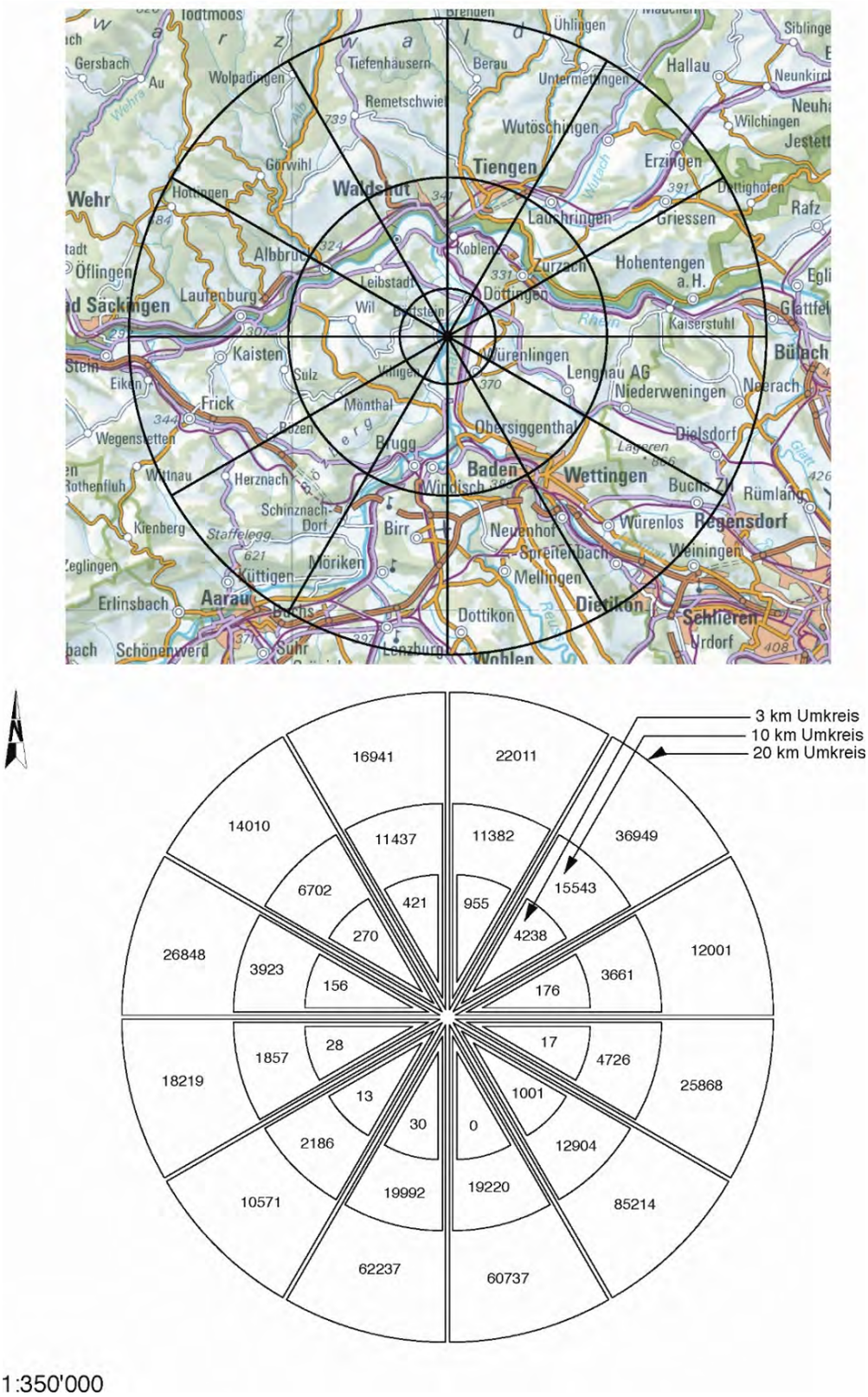


Tabelle 3.2-2: Bevölkerungsverteilung im Umkreis von 20 km

Radius km	Kreissektoren												
	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°	total
0-1	34	34	0	0	0	0	0	7	20	105	183	28	411
1-3	921	4204	176	17	1001	0	30	6	8	51	87	393	6894
0-3	955	4238	176	17	1001	0	30	13	28	156	270	421	7305
3-6	2061	4183	1202	2202	2024	2985	1900	989	563	483	1127	1739	21458
6-10	8366	7122	2283	2507	9879	16235	18062	1184	1266	3284	5305	9277	84770
3-10	10427	11305	3485	4709	11903	19220	19962	2173	1829	3767	6432	11016	106228
0-10	11382	15543	3661	4726	12904	19220	19992	2186	1857	3923	6702	11437	113533
10-15	6632	11478	1951	6576	40052	16031	14695	3121	4388	13185	4045	2359	124513
15-20	3997	9928	6389	14566	32258	25486	27550	5264	11974	9740	3263	3145	153560
10-20	10629	21406	8340	21142	72310	41517	42245	8385	16362	22925	7308	5504	278073
0-20/ total	22011	36949	12001	25868	85214	60737	62237	10571	18219	26848	14010	16941	391606

Die Bevölkerungszahlen für die Bevölkerungsverteilung in den Kreissektoren (Abbildung 3.2-9) stammen ebenfalls aus dem Jahr 2006. Das Gleiche gilt für die Sektoren in Abbildung 3.2-4. Als Datengrundlage dienten die Bevölkerungszahlen der Arealstatistik (ha-Raster) des Bundesamtes für Statistik, www.bfs.admin.ch (Geodaten Pro) aus dem Jahr 2000, korrigiert für jede Gemeinde auf das Jahr 2006. Die Datenerhebung des Landkreises Waldshut erfolgte mittels Abschätzung der Bevölkerungszahlen pro Gemeinde resp. Ortschaft und Überbauungsgrad entsprechend der Topografischen Karte 1: 25'000. Die Zahlen in Abbildung 3.2-4 stimmen mit den im HSK-Dokument "Zonenpläne für die Notfallplanung" (Ausgabe September 2008) angegebenen Zahlen gut überein.

Anders als bei den Gefahrensektoren entsprechen die Grenzen der Kreissektoren nicht den Gemeindegrenzen. Am Rand des 20 km-Umkreises werden die Gemeinden durch den Kreisring geteilt, so dass ein Teil der Bevölkerung ausserhalb des Umkreises wohnt. Deshalb ist die Gesamtsumme der Bevölkerung in Tabelle 3.2-2 nicht gleich der Summe der Gemeindebevölkerungszahlen in Kapitel 3.2.9.

Die durchschnittlichen Bevölkerungsdichten in der Umgebung Beznau (inkl. deutsches Gebiet) sind wie folgt (vgl. Tabelle 3.2-3):

Tabelle 3.2-3: Durchschnittliche Bevölkerungsdichten in der Umgebung Beznau (inkl. deutsches Gebiet)

Distanz vom EKKB (km)	Dichte (Personen/km^2)
0 - 3	29
0 - 10	361
0 - 20	311
Aargau gesamt	418
Schweiz gesamt	184

Die Gesamtsumme der Bevölkerung im Umkreis von 20 km beträgt 391'606 gegenüber 377'727 im Jahre 1998 / 1999, dies entspricht einer Zunahme von 3.7% in ca. 6 Jahren. Die Zunahme ist also etwa 1% geringer als die Bevölkerungszunahme aller Gemeinden (inkl. Einwohner ausserhalb der 20 km-Zone) von 2000-2006. Die Teilsummen nach Sektoren resp. nach Abstand stimmen allgemein gut überein mit den Daten von 1998 / 1999. Die Verteilung der Sektoren mit Wert 0 resp. niedrigeren Werten stimmt ebenfalls gut überein. Es ist jeweils zu berücksichtigen, dass sich der Ursprungspunkt für die Berechnungen um 270 m nach NNO verschoben hat. Die Daten für 1998 / 1999 wurden im Rahmen der Aktualisierung der Unterlagen für KKB 1 und 2 erhoben.

Die Bevölkerung der Ballungszentren im Umkreis von 20 km um den Standort Beznau wird in Tabelle 3.2-4 vorgestellt. Angaben zur Grösse und Verteilung der Ballungszentren wären nur für Evakuationsmassnahmen entsprechend DMK der VEOR [64] relevant.

Tabelle 3.2-4: Ballungszentren im Umkreis von 20 km

Ortschaften	Einwohner	Distanz km
Würenlingen	3'772	3.0
Döttingen, Klingnau, Kleindöttingen	9'527	4.0
Untersiggental, Turgi	9'117	6.0
Bad Zurzach, Rheinheim (D)	5'270	6.5
Koblenz, Waldshut (ohne Tiengen)	11'431	7.5
Gebenstorf	4'499	8.0
Brugg, Windisch, Umiken	16'918	8.2
Obersiggenthal	7'466	8.5
Albbruck (D)	7'400	8.5
Tiengen, Lauchringen	15'820	10.0
Baden, Ennetbaden	19'793	10.0
Wettingen, Neuenhof	26'815	12.0
Birr, Lupfig	5'804	12.5
Laufenburg (CH, D), Murg (Niederhof, Binzgen)	17'606	13.0
Fislisbach	4'764	13.5
Schinznach-Dorf, Veltheim, Oberflachs	3'501	14.0
Erzingen (D), Trasadingen (SH)	3'907	15.0
Hohentengen (D), Kaiserstuhl (CH)	4'112	15.0
Mellingen	4'447	15.5
Würenlos	5'198	16.0
Möriken-Wildegg	3'832	16.0
Wutöschingen (D) (Wutöschingen und Degernau)	6'647	16.0
Oberrohrdorf, Niederrohrdorf	6'334	16.5
Frick, Gipf-Oberfrick	7'705	17.0
Dottikon, Hägglingen	5'213	18.0
Lenzburg, Staufen, Niederlenz	14'110	18.0
Dielsdorf (ZH)	5'010	18.5
Spreitenbach, Killwangen	11'948	18.5
Rupperswil, Hunzensschwil	6'875	19.0
Buchs (ZH)	4'988	19.0
Total, gewichteter Durchschnitt	259'829	12.2

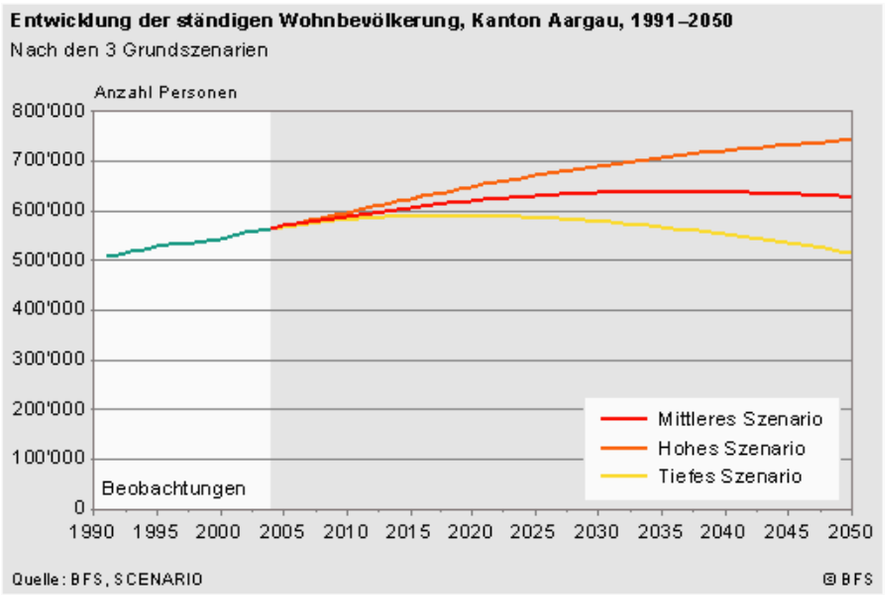
Das Bevölkerungswachstum der Gemeinden im Umkreis von 20 km betrug im 10 Jahres-Vergleich 1980-1990 10.6%, 1990-2000 11.7% und von 2000-2006 4.9% (vgl. Tabelle 3.2-9). Im Kanton Aargau, der den grössten Bevölkerungsanteil im Umkreis von 20 km stellt, lag der Zuwachs im Jahr 1998 bei 0.05%. Im Landkreis Waldshut wuchs die Bevölkerung im Jahr 1999 um 0.2%; in diesem Gebiet wohnen ca. 25% der Bevölkerung des 20km-Umkreises um Beznau.

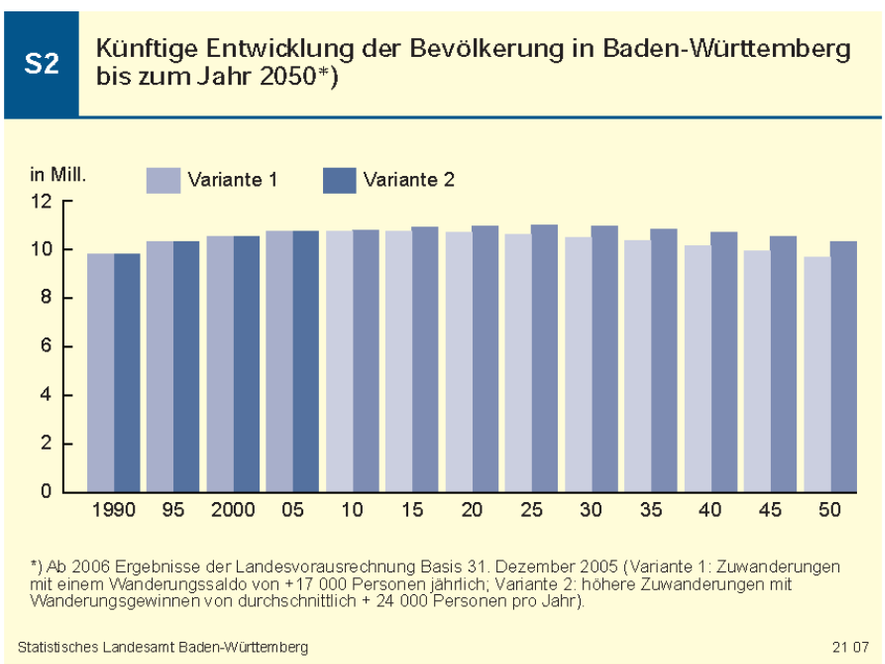
Dieser Vergleich zeigt, dass die Bevölkerungszuwachsrate zurzeit eher sinkende Tendenz aufweist. Es ist deshalb nicht mit einer hohen Zuwachsrate in der nahen Zukunft zu rechnen.

Sowohl in der Schweiz als auch in Baden-Württemberg kommen die verantwortlichen Stellen, Bundesamt für Statistik und Statistisches Landesamt, anhand verschiedener Szenarien zu folgenden Erkenntnissen (Abbildung 3.2-10):

- In den kommenden drei Jahrzehnten wird sich das Wachstum der Bevölkerung leicht fortsetzen. Danach geht die Wohnbevölkerung allmählich zurück.
- Die Erwerbsbevölkerung geht zurück.
- Das geringste Bevölkerungswachstum ist im peripheren ländlichen Raum zu erwarten.

Abbildung 3.2-10: Bevölkerungsentwicklung in Kanton Aargau und in Baden-Württemberg





Das statistische Amt des Kantons Aargau hat 2003 eine jährliche Zunahme der Bevölkerung von 0.67% von 2003 bis 2030 (Total 20.3%) prognostiziert. Der Bezirk Zurzach liegt mit 7.5% deutlich unter dem Kantonsmittel von 20.3%.

Döttingen gilt als wirtschaftlicher Entwicklungsschwerpunkt von regionaler Bedeutung (vgl. auch Kapitel 3.2.5).

Momentan ist in Baden-Württemberg noch ein geringes Bevölkerungswachstum zu erwarten. Dieses fällt, wie in der Schweiz, am geringsten im ländlichen Raum aus. Für das Gebiet im Umkreis von 20 km vom Standort wird bis 2025 eine stabile Situation mit Veränderungen im Bereich -1% bis +1% erwartet. Nachher bis 2050 ist eher mit sinkender Tendenz zu rechnen.

Die obenerwähnten Zahlen beziehen sich auf die Wohnbevölkerung. Die Zunahme der Bevölkerung in der Standortnähe während der Arbeitszeit ist zurzeit am PSI mit ca. 1'100 Mitarbeitenden sowie am Standort selber mit ca. 500 Mitarbeitenden anzunehmen. Beim Parallelbetrieb[9] von KKB1 und 2 und EKKB wäre noch mit zusätzlichen ca. 350 Mitarbeitern zu rechnen. Während des Baus des EKKB ist mit Spitzen von ca. 3'000 Mitarbeitern auf der Baustelle zu rechnen.

Die Verteilung der Wohnbevölkerung in der Umgebung des Standorts zeigt keine für Kernkraftwerksstandorte ungünstigen Besonderheiten, welche diese Notfallschutzmassnahmen erschweren würden. Grössere Veränderungen sind in der Zukunft nicht zu erwarten.

3.2.4.4 Transiente Bevölkerung

Unter "Transienter Bevölkerung" werden Mitarbeiter in Industriebetrieben und Dienstleistungsbetrieben sowie übrige Kategorien von Personen, welche sich temporär innerhalb der Gefahrenzonen aufhalten (Hotelgäste, Spitalpatienten, Schüler usw.) verstanden. Die im DMK der Verordnung über die Einsatzorganisation bei erhöhter Radioaktivität (VEOR-SR 732.32) identifizierten Notfallschutzmassnahmen (Aufenthalt im Haus, im Keller / Schutzraum, Evakuation, Einnahme von Jodtabletten) wären im Notfall auch für die transiente Bevölkerung anwendbar.

Die Anzahl der Arbeitsstätten und Beschäftigten im Umkreis von 20 km sind in Kapitel 3.2.11 dargestellt. Die Daten stammen aus dem Jahr 2006 (Quellen: www.ag.ch/staag; www.statistik.zh.ch, www.sh.ch). In der Schweiz wurden nur Betriebe innerhalb von 20 km gezählt. Als Datengrundlage für die Gemeinden auf der Grenze der 20-km-Linie dienten die Betriebszahlen der Arealstatistik (ha-Raster) des Bundesamts für Statistik, (www.bfs.admin.ch) aus dem Jahr 2005, korrigiert auf 2006. Die Daten des Landkreises Waldshut stammen von www.statistik-bw.de (resp. Landratsamt Waldshut, Statistik 2007, Bevölkerung und Wirtschaft im Landkreis Waldshut). Hier werden die Arbeitsstätten der ganzen Gemeinde aufgeführt, auch wenn sie sich ausserhalb der 20 km-Linie befinden. Im Umkreis von 20 km sind insgesamt 159'374 Personen beschäftigt, was ca. 50% der Wohnbevölkerung ausmacht. Eine Teilmenge entspricht einer Verschiebung von der Kategorie Wohnbevölkerung zur Kategorie Beschäftigten innerhalb des 20 km-Umkreises. Auf der anderen Seite findet ein Austausch mit den Regionen ausserhalb des Umkreises statt.

[9] Die NOK ist bestrebt, das bestehende KKB nach Inbetriebnahme des EKKB so rasch wie möglich ausser Betrieb zu nehmen. Ein paralleler Leistungsbetrieb der beiden Anlagen ist aus heutiger Sicht möglicherweise erforderlich, um die Versorgungssicherheit für NOK und die am EKKB beteiligten Partner in der ersten Phase nach Inbetriebnahme des EKKB weiterhin gewährleisten zu können.

Als weitere signifikante Quellen von transienter Bevölkerung wurden die Schulen ab Oberstufe, Mittelschulen / Gymnasien und Fachhochschulen, Spitäler und Heime sowie Übernachtungen (Hotels) erkannt. Die Daten werden in Tabelle 3.2-4 bis Tabelle 3.2-6 präsentiert sowie in Abbildung 3.2-11 dargestellt. Insgesamt ist mit einer transienten Bevölkerung in diesen Kategorien von ca. 26'700 Personen im Umkreis von 20 km zu rechnen, was weniger als 10% der Wohnbevölkerung ausmacht. Damit ergibt sich eine Gesamtzahl der transienten Bevölkerung von 186'074. Verglichen mit einer Wohnbevölkerung von 391'606 Personen ist diese Zahl relativ hoch. Diese Betrachtung ist konservativ, weil die transiente Bevölkerungszahl eine Summe der entsprechenden Kapazitäten (z.B. von Hotels oder Spitälern) darstellt, und diese Kapazitäten werden nicht immer voll ausgelastet. Die Zahl der transienten Bevölkerung bleibt nicht konstant. Es finden sowohl Verschiebungen (von Wohnbevölkerung zu transienter Bevölkerung) innerhalb des Umkreises, als auch ein Austausch mit der Region ausserhalb des Umkreises statt.

Tabelle 3.2-5: Übrige transiente Bevölkerung innerhalb von 20 km in der Schweiz

Abstand	Bildung (Schulen ab Oberstufe, Mittelschulen, Fachhochschulen)	Gesundheit (Spitäler, Heime)	Übernachtungen (Hotels)
0-3 km	446	0	28
3-10 km	6742	336	461
10-20 km	11'656	824	224
Total	18'844	1'160	713

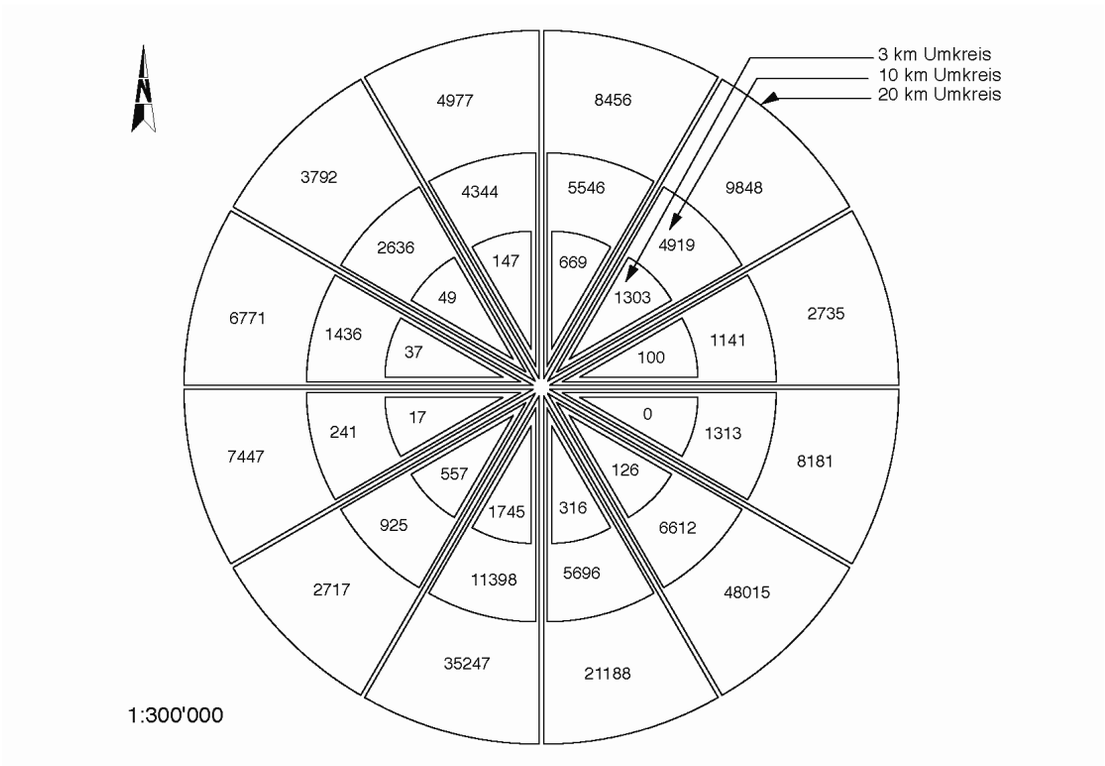
Tabelle 3.2-6: Übrige transiente Bevölkerung innerhalb von 20 km in Deutschland

Abstand	Bildung (Schulen ab Oberstufe, Gymnasien)	Gesundheit (Spitäler, Heime)	Übernachtungen (Hotels)
0-3 km	0	0	0
3-10 km	2'620	270	75
10-20 km	2'496	215	299
Total	5'116	485	374

Tabelle 3.2-7: Übrige transiente Bevölkerung innerhalb von 20 km nach Sektoren

Abstand	Sektor												
	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°	total
0-3 km	0	446	0	0	0	0	0	0	0	28	0	0	474
3-10 km	1639	1350	48	135	469	730	3807	0	71	27	478	1750	10504
10-20 km	442	598	235	600	6194	1643	2496	558	1134	1468	276	70	15714
0-10 km	1639	1796	48	135	469	730	3807	0	71	55	478	1750	10978
0-20 km	2081	2394	283	735	6663	2373	6303	558	1205	1523	754	1820	26692

Abbildung 3.2-11: Transiente Bevölkerung in den Kreissektoren



Innerhalb der Zone 1 befindet sich ein kleineres Einkaufszentrum in Würenlingen. Innerhalb der Zone 2 gibt es in Brugg, Baden, Wettingen, Buchs und Spreitenbach Ansammlungen von Ladengeschäften bzw. Einkaufszentren.

Weder in der Zone 1 noch in der Zone 2 befinden sich grössere Sport- oder Unterhaltungsarenen.

Die Anzahl und Verteilung der transienten Bevölkerung in der Umgebung des Standorts zeigt keine für Kernkraftwerksstandorte ungünstige Besonderheiten, welche die Notfallschutz-massnahmen erschweren würden.

3.2.4.5 Zusammenfassende Beurteilung

Der betriebliche Notfallschutz ist in der Schweiz generell sehr gut etabliert; er basiert auf gesetzlichen und behördlichen Anforderungen, die in zuverlässigen Konzepten umgesetzt sind.

Der Notfallschutz beruht primär auf der konsequenten Umsetzung des "Defense in Depth"-Konzeptes bei der Anlagenauslegung, wodurch die Auswirkungen auch von schweren Störfällen mit höchster Wahrscheinlichkeit auf die Anlage selbst begrenzt bleiben werden. Die Massnahmen des anlagenexternen Notfallschutzes würden somit nur in einem extrem unwahrscheinlichen Fall zur Anwendung kommen. Obwohl die Machbarkeit der vorsorglichen Evakuierung im Rahmen der Erarbeitung der revidierten Notfallschutzverordnung in Frage gestellt wurde, zeigen die entsprechenden Abklärungen, dass dies jedoch umsetzbar sein sollte. Die Umsetzung wird mit den zuständigen Stellen auf Stufe Bund, Kanton und Gemeinden etabliert. Insbesondere werden die Modalitäten der vorsorglichen Evakuation mit einem zukünftigen Evakuationskonzept des Kantons Aargau abgestimmt. Die detaillierte Analyse von Störfällen, deren mögliche Auswirkungen auf die Umgebung der Kernanlage und der dort wohnhaften Bevölkerung sowie die entsprechende Ableitung allfällig notwendiger Schutzmassnahmen werden in den Gesuchen zur Bau- bzw. Betriebsbewilligung eingereicht, wie es in Artikel 24 bzw. 28 KEV festgelegt ist.

Die Notfallorganisationen und Notfallstäbe der bestehenden Kernanlagen sind seit langer Zeit etabliert und werden regelmässig in lokalen, nationalen und internationalen Notfallübungen erprobt. Sie liefern der NAZ kompetent und zeitgerecht die notwendigen Hinweise (Beurteilung der Lage, mögliche Entwicklung des Störfalls) zur Entscheidungsfindung über eventuelle Massnahmen.

Die Notfallplanung für das EKKB wird auf die gleiche Art und Weise gestaltet werden wie für das benachbarte KKB. Damit wird die Notfallorganisation des EKKB in das bereits etablierte organisatorische Netzwerk verankert und die langjährige Erfahrung der bestehenden Anlage KKB zur Entwicklung, Gestaltung und Umsetzung der Notfallvorsorge genutzt. Aufgrund der Besiedlung und der moderaten Entwicklung in der Bevölkerung resp. Bevölkerungsverteilung in der Umgebung des Standortes sind keine nachteiligen Einflüsse auf die Notfallplanung zu erwarten. Somit sind die Notfallschutzmassnahmen für das EKKB auch umsetzbar.

3.2.5 Bodennutzung in der Region

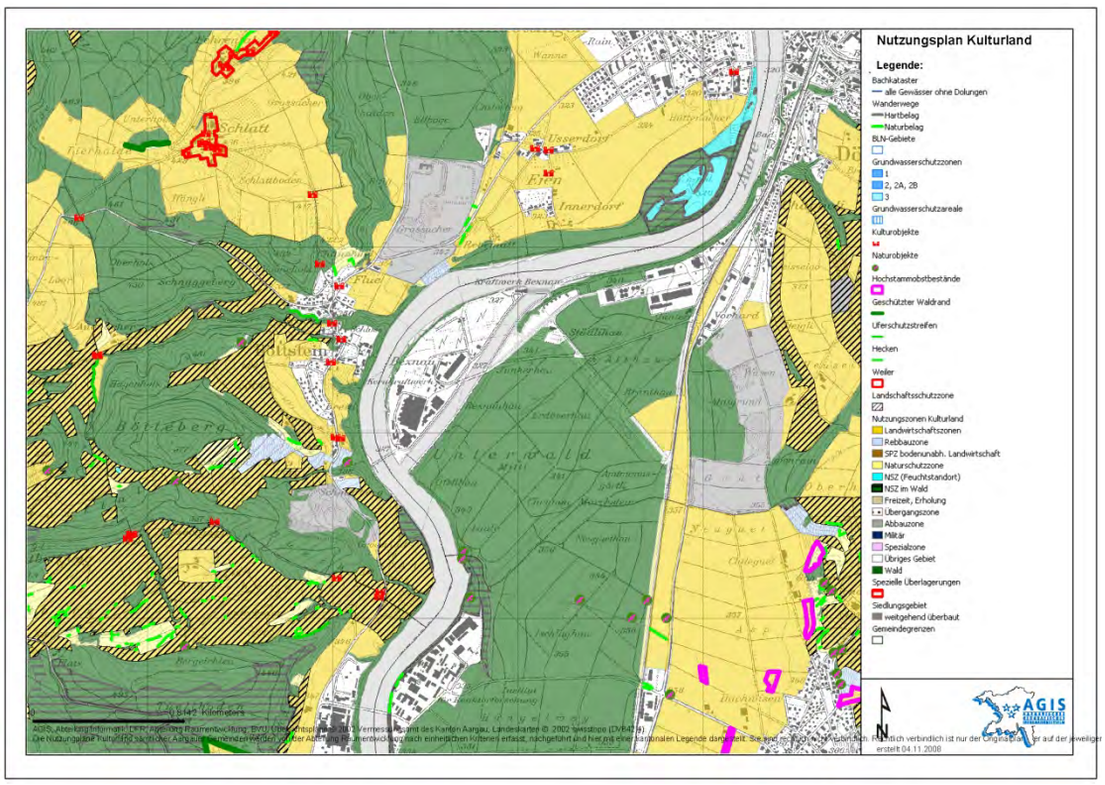
Für die Berechnung von Abgabelimiten für eine Abgabestelle werden die Ausbreitungsfaktoren sowie die Washoutfaktoren, welche dem Ort mit dem jeweils grössten Gesamtdosisbeitrag in der Umgebung einer Kernanlage entsprechen, verwendet. Bei der Bestimmung des Ortes mit dem grössten Gesamtdosisbeitrag in der Umgebung werden Distanzen kleiner als 200 m zum Abgabeort nicht berücksichtigt. Zudem werden landwirtschaftlich nicht für die Nahrungsmittelproduktion nutzbare und unbewohnbare Gebiete (z.B. Waldflächen) ausgeschieden, sofern der Hauptdosisbeitrag nicht von der Direktstrahlung aus der radioaktiven Wolke (Fahne) herrührt. Deshalb sind Kenntnisse der Bodennutzung in der Region um dem Standort von Relevanz.

Die Bodennutzung wurde der Arealstatistik (ha-Raster) des Bundesamtes für Statistik (www.bfs.admin.ch, Geodaten Pro) entnommen. Für die Auswertung wurde die Aggregation zu 4 Hauptbereichen verwendet: Bestockte Flächen = Wald; Landwirtschaftsflächen = Acker, Wiese; Siedlungsflächen = überbaut. Unproduktive Flächen erscheinen nicht in der Auswertung. Es wurden die aktuellen Daten von 2006 verwendet, welche aus der Auswertung der Luftbilder der Jahre 1992 / 1997 stammen. Die Daten des Landkreises Waldshut stammen aus der Broschüre (PDF-File): Landratsamt Waldshut, Statistik 2007, Bevölkerung und Wirtschaft im Landkreis Waldshut. Der Anteil der einzelnen Gemeinden im 10 km- resp. 20 km-Umkreis wurde mittels Plausibilitätsüberlegung, resp. mittels einer einfachen Flächenbilanz (CAD-Programm) ermittelt. Diese Daten stammen aus dem Jahr 2005.

Die Bodennutzung in der näheren Umgebung ist in Abbildung 3.2-12 bis Abbildung 3.2-14 dargestellt. In Abbildung 3.2-12 ist die Bodennutzung in unmittelbarer Standortnähe dargestellt. Abbildung 3.2-13 und Abbildung 3.2-14 zeigen die Bodennutzung innerhalb der Notfallschutzzone 2.

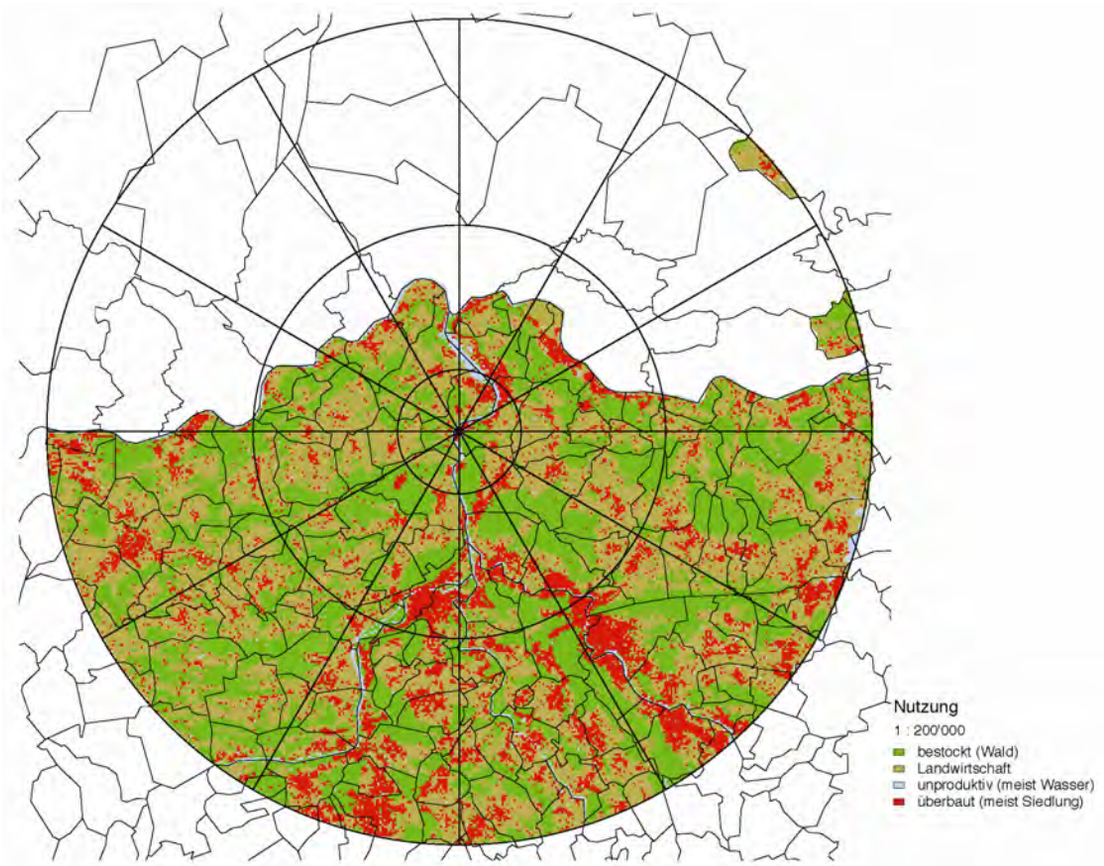
Im Umkreis von 20 km wird der Boden zu 44% landwirtschaftlich genutzt. Weitere 40% der Bodenfläche sind bewaldet. Überbaut sind 14% der Bodenfläche. Der Rest ist Wasser, Brachland oder dient als Kiesgrube.

Abbildung 3.2-12: Bodennutzung in der näheren Umgebung des Standorts



Quelle: AGIS, Kt. AG

Abbildung 3.2-13: Bodenutzung innerhalb der Notfallschutzzone 2 in der Schweiz



Quelle: AGIS, Kt. AG

Abbildung 3.2-14: Darstellung der Bodennutzung innerhalb der Notfallschutzzone 2 inkl. Bundesrepublik Deutschland



Die nähere Umgebung innerhalb eines Radius von 10 km weist ähnliche Zahlen auf: 41% landwirtschaftliche Nutzung, 39% Wald und 14% überbaut.

Die Zahlen für die Bodennutzung der einzelnen Gemeinden finden sich in Tabelle 3.2-11 für den Umkreis von 10 km und in Tabelle 3.2-12 für den Umkreis von 20 km. Die Angaben für die Schweiz sind nach Kanton, Bezirk und Gemeinde geordnet.

Die Bodennutzung in der Region ist in der Vergangenheit relativ stabil geblieben. Die Raumplanung bezeichnet die Region Döttingen als wirtschaftlichen Entwicklungsschwerpunkt von regionaler Bedeutung. Dies sind Arbeitsplatzgebiete an gut erschlossenen Standorten in zentralen und ländlichen Entwicklungsachsen. Die Voraussetzungen für wettbewerbsfähige Arbeitsplätze sind durch eine aktive Bewirtschaftung flexibel zu gestalten und zu verbessern.
Die Nutzungsprioritäten sind auf ihre Lage abzustimmen. Die Verfügbarkeit des Baulandes ist zu erhöhen.

Es ist aber nicht mit signifikanten Veränderungen in den relativen Anteilen der 4 Hauptbereiche der Bodennutzung zu rechnen. Höchstens eine stetige Erhöhung des Anteils "überbaut" auf Kosten der Landwirtschaftsflächen ist zu erwarten. Wie signifikant diese Erhöhung sein wird, hängt unter anderem von der Auswirkung der raumplanerischen Massnahmen ab.

Die Statistik zur Bodennutzung hat auf die Auslegung und den Betrieb eines Kernkraftwerks keinen direkten Einfluss.

Die Verteilung der Bodennutzung in der Umgebung des Standortes zeigt keine für Kernkraftwerksstandorte ungünstigen Besonderheiten, welche die Berechnung der Abgabelimiten oder die Umsetzung der Notfallschutzmassnahmen erschweren würden.

3.2.6 Externe Ereignisse

Es sind keine mit der geografischen Lage, der Bodennutzung oder der Bevölkerungsverteilung in Zusammenhang stehenden externen Ereignisse bekannt.

3.2.7 Beurteilung der Standorteignung im Hinblick auf Geografie und Bevölkerungsverteilung

Die Betrachtung der Bevölkerungsverteilung (Wohnbevölkerung und transiente Bevölkerung) und deren Entwicklung in der Umgebung des geplanten Kernkraftwerks zeigt keine für Kernkraftwerksstandorte ungünstigen Besonderheiten. Der Standort ist für den Bau und Betrieb des vorgesehenen Kernkraftwerks EKKB geeignet. Die Wachstumsrate der Wohnbevölkerung hat sich in den letzten Jahren gegenüber der Periode von 1980-2000 verlangsamt. Auch in der Zukunft wird mit stabilen Wohnbevölkerungszahlen gerechnet.

Im Allgemeinen ist die Bevölkerungsdichte in der Nähe der Schweizerischen Kernkraftwerke im internationalen Vergleich eher hoch. Es werden keine Ausschlussgebiete (Exclusion Zones) definiert wie in anderen Ländern (z.B. in den Vereinigten Staaten von Amerika). Bei der Festlegung der Anforderungen der Schweizerischen Behörden an die nukleare Sicherheit und an die radiologischen Abgaben wird dies in Betracht gezogen.

Die geografischen Verhältnisse und die Bodennutzung zeigen auch keine ungünstigen Besonderheiten. Die nähere Umgebung um den Standort dient mehrheitlich der Landwirtschaft oder ist vor allem im Osten bewaldet.

Zudem sind im Hinblick auf Geografie, Bevölkerung und Bodennutzung keine externen Ereignisse, welche zu Störfällen führen könnten, bekannt.

3.2.8 Anwendung bei den Notfallschutzmassnahmen

Im Rahmen der Vorbereitung zum Gesuch zur Baubewilligung dokumentiert und bewertet.

Die probabilistische Sicherheitsanalyse wird auch für das Gesuch zur Baubewilligung durchgeführt. Die Ergebnisse dienen den Behörden zur Festlegung der Gefahrenzonen gemäss Notfallschutzverordnung [65].

Bei der Vorbereitung von Notfallschutzmassnahmen nach dem DMK der Verordnung über die Einsatzorganisation bei erhöhter Radioaktivität [64] können die Angaben zu Bevölkerungszahlen und -verteilung angewendet werden.

3.2.9 Anhang 1: Aktuelle Bevölkerungszahlen der Gemeinden im Umkreis von 20 km

Tabelle 3.2-8: Aktuelle Bevölkerungszahlen der Gemeinden im Umkreis von 20 km

Land	Kanton / Landkreis	Gemeinden	Einwohner 2006	Distanz (km) vom Mittelpunkt des Kreises zur Gemeindegrenze
CH	AG	Ammerswil	649	19.7
CH	AG	Auenstein	1'443	15.8
CH	AG	Bad Zurzach	4'032	4.2
CH	AG	Baden	16'845	8.3
CH	AG	Baldingen	275	5.2
CH	AG	Bellikon	1'462	18.7
CH	AG	Bergdietikon	2'260	19.3
CH	AG	Biberstein	1'277	17.6
CH	AG	Birmenstorf	2'404	9.2
CH	AG	Birr	3'840	12.5
CH	AG	Birrhard	643	11.9
CH	AG	Böbikon	185	7.0
CH	AG	Böttstein (inkl. Kleindöttingen, Burlen, Eien)	3'727	0.2
CH	AG	Bözen	668	11.2
CH	AG	Brugg	9'180	5.1
CH	AG	Brunegg	489	14.0
CH	AG	Buchs	6'298	18.7
CH	AG	Densbüren	741	14.8
CH	AG	Dintikon	1'411	19.7
CH	AG	Dottikon	3'113	17.4
CH	AG	Döttingen	3'423	0.0
CH	AG	Effingen	624	9.1
CH	AG	Ehrendingen	3'829	9.6
CH	AG	Eiken	1'938	16.7
CH	AG	Elfingen	249	9.4

Land	Kanton / Landkreis	Gemeinden	Einwohner 2006	Distanz (km) vom Mittelpunkt des Kreises zur Gemeindegrenze
CH	AG	Endingen	1'880	3.3
CH	AG	Ennetbaden	2'948	9.8
CH	AG	Etzgen	438	7.6
CH	AG	Fisibach	380	12.2
CH	AG	Fislisbach	4'764	12.5
CH	AG	Freienwil	860	6.8
CH	AG	Frick	4'594	14.7
CH	AG	Full-Reuenthal	844	4.8
CH	AG	Gallenkirch	132	10.6
CH	AG	Gansingen	934	6.0
CH	AG	Gebenstorf	4'499	5.3
CH	AG	Gipf-Oberfrick	3'111	17.1
CH	AG	Habsburg	390	9.5
CH	AG	Hägglingen	2'100	16.5
CH	AG	Hausen	2'735	9.2
CH	AG	Hendschiken	931	17.8
CH	AG	Herznach	1'229	14.5
CH	AG	Holderbank	866	13.2
CH	AG	Hornussen	845	10.7
CH	AG	Hottwil	262	4.0
CH	AG	Hunzenschwil	2'798	19.4
CH	AG	Ittenthal	201	11.7
CH	AG	Kaiserstuhl	404	13.9
CH	AG	Kaisten	2'257	11.4
CH	AG	Killwangen	1'735	15.7
CH	AG	Klingnau	2'924	2.8
CH	AG	Koblenz	1'599	4.7
CH	AG	Künten	1'578	18.4

Land	Kanton / Landkreis	Gemeinden	Einwohner 2006	Distanz (km) vom Mittelpunkt des Kreises zur Gemeindegrenze
CH	AG	Küttigen	5'372	18.3
CH	AG	Laufenburg	2'065	11.6
CH	AG	Leibstadt	1'288	4.2
CH	AG	Lengnau	2'426	6.2
CH	AG	Lenzburg	7'731	16.6
CH	AG	Leuggern	2'083	1.0
CH	AG	Linn	146	11.2
CH	AG	Lupfig	1'964	11.2
CH	AG	Mägenwil	1'791	14.2
CH	AG	Mandach	319	1.8
CH	AG	Mellikon	257	7.9
CH	AG	Mellingen	4'447	13.4
CH	AG	Mettau	317	6.5
CH	AG	Mönthal	410	6.5
CH	AG	Möriken-Wildegg	3'832	14.6
CH	AG	Mülligen	887	10.4
CH	AG	Münchwilen	668	19.2
CH	AG	Neuenhof	7'877	12.1
CH	AG	Niederlenz	4'038	16.3
CH	AG	Niederrohrdorf	2'817	14.4
CH	AG	Niederwil	2'311	17.9
CH	AG	Oberbözberg	509	6.2
CH	AG	Oberflachs	475	14.2
CH	AG	Oberhof	564	18.9
CH	AG	Oberhofen	291	6.2
CH	AG	Oberrohrdorf	3'517	14.0
CH	AG	Obersiggenthal	8'078	5.9
CH	AG	Oeschgen	867	15.0

Land	Kanton / Landkreis	Gemeinden	Einwohner 2006	Distanz (km) vom Mittelpunkt des Kreises zur Gemeindegrenze
CH	AG	Othmarsingen	2'233	15.6
CH	AG	Rekingen	959	5.9
CH	AG	Remetschwil	1'937	17.0
CH	AG	Remigen	1'018	4.3
CH	AG	Rietheim	670	4.7
CH	AG	Riniken	1'364	5.9
CH	AG	Rohr	2'887	18.4
CH	AG	Rüfenach	804	4.7
CH	AG	Rümikon	200	9.8
CH	AG	Rupperswil	4'077	16.4
CH	AG	Schafisheim	2'658	18.7
CH	AG	Scherz	577	11.2
CH	AG	Schinznach-Bad	1'250	10.5
CH	AG	Schinznach-Dorf	1'660	11.4
CH	AG	Schneisingen	1'208	8.9
CH	AG	Schupfart	743	18.9
CH	AG	Schwaderloch	694	6.3
CH	AG	Siglistorf	570	10.1
CH	AG	Sisseln	1'325	16.7
CH	AG	Spreitenbach	10'213	16.6
CH	AG	Staufen	2'341	18.5
CH	AG	Stein	2'656	20.0
CH	AG	Stetten	1'509	16.2
CH	AG	Suhr	9'274	19.1
CH	AG	Sulz	1'155	8.5
CH	AG	Tägerig	1'323	16.4
CH	AG	Tegerfelden	995	5.0
CH	AG	Thalheim	757	14.3

Land	Kanton / Landkreis	Gemeinden	Einwohner 2006	Distanz (km) vom Mittelpunkt des Kreises zur Gemeindegrenze
CH	AG	Turgi	2'763	6.7
CH	AG	Ueken	826	14.5
CH	AG	Umiken	1'066	7.9
CH	AG	Unterbözberg	703	8.1
CH	AG	Unterendingen	353	2.8
CH	AG	Untersiggenthal	6'354	4.0
CH	AG	Veltheim	1'366	13.3
CH	AG	Villigen	1'883	1.3
CH	AG	Villmergen	5'363	19.4
CH	AG	Villnachern	1'410	8.9
CH	AG	Wettingen	18'938	10.9
CH	AG	Wil	669	4.0
CH	AG	Windisch	6'672	6.9
CH	AG	Wislikofen	331	8.7
CH	AG	Wittnau	1'127	19.1
CH	AG	Wohlenschwil	1'315	13.8
CH	AG	Wölflinswil	851	18.2
CH	AG	Würenlingen	3'772	1.0
CH	AG	Würenlos	5'198	13.8
CH	AG	Zeihen	909	12.7
CH	SH	Trasadingen	570	18.5
CH	ZH	Bachs	553	13.2
CH	ZH	Boppelsen	1'223	14.7
CH	ZH	Buchs	4'988	17.2
CH	ZH	Dällikon	3'446	18.4
CH	ZH	Dänikon	1'774	16.7
CH	ZH	Dielsdorf	5'010	17.5
CH	ZH	Dietikon	22'281	18.4

Land	Kanton / Landkreis	Gemeinden	Einwohner 2006	Distanz (km) vom Mittelpunkt des Kreises zur Gemeindegrenze
CH	ZH	Eglisau	3'437	19.0
CH	ZH	Geroldswil	4'422	19.4
CH	ZH	Glattfelden	3'926	17.0
CH	ZH	Hochfelden	1'777	19.8
CH	ZH	Höri	2'423	19.6
CH	ZH	Hüntwangen	920	19.4
CH	ZH	Hüttikon	560	16.4
CH	ZH	Neerach	2'703	17.6
CH	ZH	Niederglatt	4'231	19.8
CH	ZH	Niederhasli	7'768	19.8
CH	ZH	Niederweningen	2'450	11.0
CH	ZH	Oberweningen	1'504	12.7
CH	ZH	Oetwil an der Limmat	2'215	17.4
CH	ZH	Otelfingen	2'263	13.5
CH	ZH	Regensberg	455	15.5
CH	ZH	Regensdorf	15'673	19.8
CH	ZH	Schleinikon	703	12.6
CH	ZH	Schöfflisdorf	1'158	13.8
CH	ZH	Stadel	1'866	15.9
CH	ZH	Steinmaur	2'960	15.1
CH	ZH	Wasterkingen	555	17.8
CH	ZH	Weiach	964	13.9
CH	ZH	Weiningen	4'038	19.5
CH	ZH	Wil	1'262	19.6
D	WT	Albbruck	7'323	7.5
D	WT	Bad Säckingen	16'813	17.5
D	WT	Dachsberg	1'411	15.2
D	WT	Dettighofen	1'123	18.5

Land	Kanton / Landkreis	Gemeinden	Einwohner 2006	Distanz (km) vom Mittelpunkt des Kreises zur Gemeindegrenze
D	WT	Dogern	2'319	6.7
D	WT	Eggingen	1'711	18.0
D	WT	Görwihl	4'477	12.5
D	WT	Herrischried	2'776	17.5
D	WT	Höchenschwand	2'549	16.2
D	WT	Hohentengen a.H.	3'651	15.0
D	WT	Klettgau	7'440	11.5
D	WT	Küssaberg	5'505	6.7
D	WT	Lauchringen	7'402	9.5
D	WT	Laufenburg	8'571	9.5
D	WT	Murg	6'963	13.5
D	WT	Rickenbach	3'860	17.2
D	WT	St. Blasien	4'021	15.5
D	WT	Ühlingen-Birkendorf	5'175	14.5
D	WT	Waldshut-Tiengen	22'586	6.0
D	WT	Weilheim	3'141	10.2
D	WT	Wutöschingen	6'626	12.2
		Summe	541'037	

3.2.10 Anhang 2: Bevölkerungsentwicklung der Gemeinden im Umkreis von 20 km

Tabelle 3.2-9: Bevölkerungsentwicklung der Gemeinden im Umkreis von 20 km

Gemeinde	1980	1990	2000	2006
Ammerswil	325	414	613	649
Auenstein	1198	1195	1385	1443
Bad Zurzach	3141	3641	3905	4032
Baden	13519	15132	16104	16845
Baldingen	151	216	252	275
Bellikon	914	1045	1314	1462
Bergdietikon	1735	2200	2268	2260
Biberstein	829	1040	1080	1277
Birmenstorf (AG)	1433	1922	2303	2404
Birr	2838	3324	3514	3840
Birrhard	453	553	662	643
Böbikon	136	166	181	185
Böttstein	2918	3451	3652	3727
Bözen	370	523	657	668
Brugg	8840	9357	9201	9180
Brunegg	306	354	467	489
Buchs (AG)	5935	5710	6176	6298
Densbüren	619	713	735	741
Dintikon	857	1075	1319	1411
Dottikon	2663	2965	2989	3113
Döttingen	3284	3221	3199	3423
Effingen	395	569	600	624
Ehrendingen (Ober- und Unter-)	2536	2975	3299	3829
Eiken	1160	1446	1753	1938
Elfingen	170	224	240	249
Endingen	1519	1597	1822	1880
Ennetbaden	2534	2915	2977	2948

Gemeinde	1980	1990	2000	2006
Etzgen	336	363	358	438
Fisibach	320	372	368	380
Fislisbach	3882	4438	4955	4764
Freienwil	508	647	762	860
Frick	3063	3574	3974	4594
Full-Reuenthal	679	735	838	844
Gallenkirch	71	100	130	132
Gansingen	779	899	935	934
Gebenstorf	3573	4084	4168	4499
Gipf-Oberfrick	1523	2093	2876	3111
Habsburg	254	327	368	390
Hägglingen	1677	1852	2005	2100
Hausen (AG)	1618	1900	2557	2735
Hendschiken	707	742	899	931
Herznach	804	1017	1068	1229
Holderbank (AG)	777	802	802	866
Hornussen	628	678	823	845
Hottwil	179	224	247	262
Hunzenschwil	2231	2378	2623	2798
Ittenthal	209	221	225	201
Kaiserstuhl	372	426	440	404
Kaisten	1681	1742	2100	2257
Killwangen	1044	1310	1397	1735
Klingnau	2451	2597	2768	2924
Koblenz	1456	1550	1582	1599
Künten	1154	1357	1511	1578
Küttigen	4392	4705	4963	5372
Laufenburg	1834	1870	1998	2065
Leibstadt	1150	1225	1309	1288
Lengnau (AG)	1935	2040	2274	2426

Gemeinde	1980	1990	2000	2006
Lenzburg	7478	7316	7478	7731
Leuggern	1672	1981	2154	2083
Linn	90	103	109	146
Lupfig	963	1355	1808	1964
Mägenwil	946	1294	1562	1791
Mandach	283	316	314	319
Mellikon	197	240	263	257
Mellingen	3280	3779	4221	4447
Mettau	244	273	295	317
Mönthal	295	399	441	410
Möriken-Wildegg	2888	3419	3464	3832
Mülligen	489	652	791	887
Münchwilen (AG)	621	627	590	668
Neuenhof	7150	7684	7626	7877
Niederlenz	3411	3535	3809	4038
Niederrohrdorf	2437	2562	2464	2817
Niederwil (AG)	1386	1877	2211	2311
Oberbözberg	301	383	551	509
Oberflachs	444	438	435	475
Oberhof	430	479	520	564
Oberhofen (AG)	266	309	312	291
Oberrohrdorf	2888	3345	3421	3517
Obersiggenthal	7422	7401	7508	8078
Oeschgen	653	731	802	867
Othmarsingen	1730	1879	2178	2233
Rekingen (AG)	808	877	1016	959
Remetschwil	799	1166	1760	1937
Remigen	643	1000	1071	1018
Rietheim	425	426	618	670
Riniken	1273	1418	1383	1364

Gemeinde	1980	1990	2000	2006
Rohr (AG)	2153	2369	2748	2887
Rüfenach	497	620	720	804
Rümikon	166	201	225	200
Rupperswil	2712	3252	3725	4077
Schafisheim	1697	2040	2644	2658
Scherz	441	514	576	577
Schinznach-Bad	962	1202	1248	1250
Schinznach-Dorf	1238	1419	1630	1660
Schneisingen	1037	1141	1248	1208
Schupfart	536	558	685	743
Schwaderloch	464	522	670	694
Siglistorf	355	536	537	570
Sisseln	745	1182	1282	1325
Spreitenbach	7112	8218	9133	10213
Staufen	2095	2196	2188	2341
Stein (AG)	1781	1926	2375	2656
Stetten (AG)	972	1407	1587	1509
Suhr	7096	7751	8259	9274
Sulz (AG)	972	998	1156	1155
Tägerig	866	1056	1203	1323
Tegerfelden	678	827	970	995
Thalheim (AG)	565	645	758	757
Turgi	2638	2616	2446	2763
Ueken	366	476	693	826
Umiken	900	862	1069	1066
Unterbözberg	608	674	754	703
Unterendingen	195	329	375	353
Untersiggenthal	4588	5338	6092	6354
Veltheim (AG)	1014	1219	1379	1366
Villigen (inkl. Stilli)	1378	1687	1781	1883

Gemeinde	1980	1990	2000	2006
Villmergen	4079	4641	5078	5363
Villnachern	1062	1317	1224	1410
Wettingen	18129	17582	17833	18938
Wil (AG)	548	578	678	669
Windisch	6969	6643	6505	6672
Wislikofen	290	386	346	331
Wittnau	790	928	1139	1127
Wohlenschwil	841	1094	1268	1315
Wölflinswil	753	739	810	851
Würenlingen	2784	3082	3644	3772
Würenlos	3250	4151	4806	5198
Zeihen	726	722	865	909
Trasadingen	484	552	530	570
Bachs	428	591	577	553
Boppelsen	705	829	1018	1223
Buchs (ZH)	1838	3516	4182	4988
Dällikon	2426	2551	3261	3446
Dänikon	985	1182	1749	1774
Dielsdorf	3767	4616	4882	5010
Dietikon	21765	21152	21353	22281
Eglisau	2462	2659	2893	3437
Geroldswil	3925	4534	4540	4422
Glattfelden	2753	3294	3544	3926
Hochfelden	928	1103	1579	1777
Höri	1759	1864	2300	2423
Hüntwangen	645	687	782	920
Hüttikon	356	410	533	560
Neerach	1165	1731	2366	2703
Niederglatt	2939	3362	3737	4231
Niederhasli	5057	5834	7589	7768

Gemeinde	1980	1990	2000	2006
Niederweningen	1269	1588	2220	2450
Oberweningen	693	1149	1290	1504
Oetwil an der Limmat	1399	2058	2120	2215
Otelfingen	1243	1580	1852	2263
Regensberg	639	581	487	455
Regensdorf	12300	13673	15098	15673
Schleinikon	451	542	637	703
Schöfflisdorf	696	1064	1133	1158
Stadel	1299	1421	1739	1866
Steinmaur	2109	2552	2742	2960
Wasterkingen	320	481	560	555
Weiach	692	719	994	964
Weiningen (ZH)	3054	3500	3791	4038
Wil (ZH)	899	1119	1317	1262
Albbruck	5736	6804	7255	7323
Bad Säckingen	13795	15144	16400	16813
Dachsberg	1271	1336	1398	1411
Dettighofen	1098	999	1038	1123
Dogern	2016	2324	2308	2319
Eggingen	1420	1489	1760	1711
Görwihl	3915	4433	4532	4477
Herrischried	2052	2333	2701	2776
Höchenschwand	1944	2099	2374	2549
Hohentengen a.H.	2838	3018	3299	3651
Klettgau	6339	6854	7358	7440
Küssaberg	4429	4992	5496	5505
Lauchringen	6389	6717	7178	7402
Laufenburg	7061	7771	8358	8571
Murg	6303	6664	6876	6963
Rickenbach	3398	3783	3856	3860

Gemeinde	1980	1990	2000	2006
St. Blasien	4170	4614	4032	4021
Ühlingen-Birkendorf	4346	4457	5006	5175
Waldshut-Tiengen	21410	21913	22139	22586
Weilheim	2315	2642	3139	3141
Wutöschingen	5275	5752	6468	6626
Total	**429'995**	**475'751**	**515'883**	**541'037**

3.2.11 Anhang 3: Arbeitsstätten und Beschäftigte innerhalb von 20 km

Tabelle 3.2-10: Arbeitsstätten und Beschäftigte innerhalb von 20 km

Gemeinde	Arbeitsstätten	Beschäftigte
Auenstein	45	176
Bad Zurzach	243	2'271
Baden	1'515	21'678
Baldingen	12	27
Bellikon	2	11
Biberstein	30	171
Birmenstorf (AG)	94	658
Birr	83	2'122
Birrhard	23	145
Böbikon	10	36
Böttstein	127	1'177
Bözen	26	128
Brugg	643	7'134
Brunegg	21	396
Densbüren	30	186
Dintikon	11	311
Dottikon	122	1'058
Döttingen	160	1'645
Effingen	25	112
Ehrendingen	122	530
Eiken	59	799
Elfingen	13	37
Endingen	71	447
Ennetbaden	98	560
Etzgen	31	240
Fisibach	19	119
Fislisbach	159	1'017

Gemeinde	Arbeitsstätten	Beschäftigte
Freienwil	30	69
Frick	251	3'001
Full-Reuenthal	21	107
Gallenkirch	5	28
Gansingen	30	97
Gebenstorf	164	840
Gipf-Oberfrick	92	482
Habsburg	12	48
Hägglingen	73	605
Hausen (AG)	105	1'051
Hendschiken	49	264
Herznach	37	247
Holderbank (AG)	40	674
Hornussen	29	129
Hottwil	11	48
Hunzenschwil	31	390
Ittenthal	5	35
Kaiserstuhl	29	120
Kaisten	64	692
Killwangen	69	391
Klingnau	116	826
Koblenz	70	597
Künten	49	207
Küttigen	10	87
Laufenburg	121	1'707
Leibstadt	54	848
Lengnau (AG)	100	746
Lenzburg	547	6091
Leuggern	102	742
Linn	7	17

Gemeinde	Arbeitsstätten	Beschäftigte
Lupfig	123	1'807
Mägenwil	115	1'482
Mandach	10	36
Mellikon	16	139
Mellingen	234	1'453
Mettau	15	57
Mönthal	14	45
Möriken-Wildegg	159	1'082
Mülligen	25	78
Münchwilen (AG)	22	330
Neuenhof	245	1'707
Niederlenz	144	1'014
Niederrohrdorf	113	673
Niederwil (AG)	38	577
Oberbözberg	13	46
Oberflachs	14	96
Oberhofen (AG)	9	19
Oberrohrdorf	107	457
Obersiggenthal	245	1'458
Oeschgen	41	158
Othmarsingen	88	716
Rekingen (AG)	27	241
Remetschwil	78	356
Remigen	42	219
Rietheim	14	46
Riniken	33	160
Rohr (AG)	30	295
Rüfenach	20	108
Rümikon	11	56
Rupperswil	185	1'779

Gemeinde	Arbeitsstätten	Beschäftigte
Schafisheim	30	1490
Scherz	23	74
Schinznach-Bad	59	1'096
Schinznach-Dorf	71	638
Schneisingen	55	293
Schwaderloch	21	152
Siglistorf	34	99
Sisseln	57	908
Spreitenbach	487	7'132
Staufen	47	298
Stetten (AG)	82	673
Sulz (AG)	37	170
Tägerig	44	167
Tegerfelden	37	227
Thalheim (AG)	28	145
Turgi	105	1'647
Ueken	21	53
Umiken	26	91
Unterbözberg	25	69
Unterendingen	16	43
Untersiggenthal	143	1'147
Veltheim (AG)	41	518
Villigen	48	1'965
Villmergen	22	76
Villnachern	46	152
Wettingen	848	7'013
Wil (AG)	31	105
Windisch	241	2'661
Wislikofen	16	91
Wittnau	4	37

Gemeinde	Arbeitsstätten	Beschäftigte
Wohlenschwil	48	195
Würenlingen	150	1'772
Würenlos	248	1'767
Zeihen	38	138
Trasadingen	63	185
Bachs	22	207
Boppelsen	39	103
Buchs (ZH)	142	1404
Dällikon	100	1'839
Dänikon	61	356
Dielsdorf	284	3'365
Dietikon	211	4'962
Geroldswil	77	379
Glattfelden	54	239
Hüntwangen	2	7
Hüttikon	24	315
Neerach	141	421
Niederhasli	2	6
Niederweningen	79	686
Oberweningen	41	164
Oetwil an der Limmat	79	251
Otelfingen	147	2'058
Regensberg	19	135
Schleinikon	19	58
Schöfflisdorf	61	254
Stadel	68	333
Steinmaur	120	572
Wasterkingen	10	25
Weiach	43	216
Albbruck	201	1'866

Gemeinde	Arbeitsstätten	Beschäftigte
Bad Säckingen	427	7'230
Dachsberg	129	162
Dettighofen	43	121
Dogern	49	805
Eggingen	51	201
Görwihl	216	916
Herrischried	155	366
Höchenschwand	126	477
Hohentengen a. H.	112	566
Klettgau	219	1'505
Küssaberg	122	1'105
Lauchringen	140	1'635
Laufenburg	221	2'095
Murg	158	1'268
Rickenbach	187	628
St. Blasien	184	1'599
Ühlingen-Birkendorf	224	511
Waldshut-Tiengen	702	9'931
Weilheim	132	323
Wutöschingen	131	1'680
Total	**17'413**	**167'699**

3.2.12 Anhang 4: Bodennutzung im Umkreis von 10 km (ha)

Tabelle 3.2-11: Bodennutzung im Umkreis von 10 km (ha)

Gemeinde	Total	Acker, Wiese	Wald	überbaut
Kanton Aargau				
Bezirk Baden				
Baden	350	24	232	84
Birmenstorf (AG)	120	65	38	15
Ennetbaden	2	0	1	1
Freienwil	387	203	148	36
Gebenstorf	561	162	233	138
Obersiggenthal	823	292	357	164
Turgi	153	27	55	65
Untersiggenthal	826	274	366	155
Würenlingen	938	274	463	180
Ehrendingen	42	29	12	1
Total	4'202	1'350	1'905	839
Bezirk Brugg				
Brugg	513	70	152	253
Effingen	122	51	64	7
Elfingen	49	0	49	0
Habsburg	18	0	18	0
Hausen (AG)	70	11	37	22
Hottwil	415	232	165	18
Mandach	560	377	151	32
Mönthal	392	182	178	32
Oberbözberg	546	274	243	29
Remigen	789	288	440	58
Riniken	475	148	273	54
Rüfenach	418	207	172	38
Umiken	77	22	18	32

Gemeinde	Total	Acker, Wiese	Wald	überbaut
Unterbözberg	450	251	155	44
Villigen	1123	391	582	119
Villnachern	167	62	75	14
Windisch	457	117	97	208
Total	6'641	2'683	2'869	960
Bezirk Laufenburg				
Etzgen	329	98	167	37
Gansingen	874	483	327	61
Mettau	330	137	178	15
Oberhofen (AG)	315	147	144	24
Schwaderloch	278	98	120	32
Sulz (AG)	450	219	199	31
Wil (AG)	774	495	237	41
Total	3'350	1'677	1'372	241
Bezirk Zurzach				
Baldingen	281	163	90	28
Böbikon	261	144	97	20
Böttstein	740	260	268	137
Döttingen	693	218	253	174
Endingen	846	383	391	69
Full-Reuenthal	485	264	109	60
Klingnau	672	246	241	130
Koblenz	404	171	123	77
Leibstadt	633	277	222	109
Lengnau (AG)	1'267	681	484	101
Leuggern	1377	651	522	116
Mellikon	273	74	143	45
Rekingen (AG)	310	43	173	82
Rietheim	396	184	158	30
Rümikon	9	3	4	2

Gemeinde	Total	Acker, Wiese	Wald	überbaut
Schneisingen	278	94	178	6
Tegerfelden	705	377	267	59
Unterendingen	348	196	126	26
Wislikofen	137	67	59	11
Bad Zurzach	653	165	284	171
Total	10'768	4'661	4'192	1'453
Landkreis Waldshut				
Albbruck	1'041	420	400	210
Dogern	745	233	272	123
Hohentengen	89	0	89	0
Küssaberg	1'987	970	470	515
Lauchringen	240	75	150	15
Laufenburg	57	38	3	16
Waldshut-Tiengen	2'306	910	670	16
Total	**6'465**	**2'646**	**2'054**	**895**
TOTAL im 10-km-Umkreis	**31'426**	**13'017**	**12'392**	**4'388**

3.2.13 Anhang 5: Bodennutzung im Umkreis von 20 km (ha)

Tabelle 3.2-12: Bodennutzung im Umkreis von 20 km (ha)

Gemeinde	Total	Acker, Wiese	Wald	überbaut
Kanton Aargau				
Bezirk Aarau				
Biberstein	411	143	208	41
Buchs (AG)	146	0	142	4
Densbüren	1'259	494	701	61
Küttigen	387	134	238	14
Rohr (AG)	185	63	81	24
Suhr	42	0	42	0
Total	2'430	834	1'412	144
Bezirk Baden				
Baden	1'321	131	752	417
Bellikon	220	147	64	9
Bergdietikon	23	2	16	0
Birmenstorf (AG)	771	339	284	122
Ennetbaden	211	44	90	71
Fislisbach	510	242	156	112
Freienwil	403	212	155	36
Gebenstorf	565	164	235	138
Killwangen	243	67	123	47
Künten	213	113	66	31
Mägenwil	350	160	106	84
Mellingen	484	175	157	129
Neuenhof	543	96	277	142
Niederrohrdorf	331	149	98	81
Oberrohrdorf	430	171	170	89
Obersiggenthal	840	299	365	165
Remetschwil	385	228	93	63

Gemeinde	Total	Acker, Wiese	Wald	überbaut
Spreitenbach	849	235	299	303
Stetten (AG)	444	223	123	74
Turgi	153	27	55	65
Untersiggenthal	826	274	366	155
Wettingen	1'062	229	415	399
Wohlenschwil	442	211	155	65
Würenlingen	938	274	463	180
Würenlos	897	387	306	185
Ehrendingen	727	424	207	95
Total	14'181	5'023	5'596	3'257
Bezirk Bremgarten				
Dottikon	298	140	65	92
Hägglingen	739	425	234	80
Niederwil (AG)	339	195	85	46
Tägerig	329	141	129	51
Villmergen	18	11	1	6
Total	1723	912	514	275
Bezirk Brugg				
Auenstein	567	176	263	100
Birr	502	212	166	124
Birrhard	305	158	97	42
Bözen	389	254	92	42
Brugg	553	72	171	268
Effingen	691	298	323	70
Elfingen	423	202	207	13
Gallenkirch	139	101	28	10
Habsburg	224	72	134	18
Hausen (AG)	318	86	153	77
Hottwil	415	232	165	18
Linn	255	129	114	12

Gemeinde	Total	Acker, Wiese	Wald	überbaut
Lupfig	513	265	125	122
Mandach	560	377	151	32
Mönthal	392	182	178	32
Mülligen	312	124	107	71
Oberbözberg	546	274	243	29
Oberflachs	338	186	126	26
Remigen	789	288	440	58
Riniken	475	148	273	54
Rüfenach	418	207	172	38
Scherz	332	184	110	36
Schinznach-Bad	192	14	77	79
Schinznach-Dorf	883	334	403	114
Thalheim (AG)	988	493	438	56
Umiken	77	22	18	32
Unterbözberg	617	326	233	58
Veltheim (AG)	528	252	175	77
Villigen	1123	391	582	119
Villnachern	571	175	287	67
Windisch	492	125	121	209
Total	14'927	6'359	6'172	2'103
Bezirk Laufenburg				
Eiken	703	327	221	148
Etzgen	329	98	167	37
Frick	994	478	299	213
Gansingen	874	483	327	61
Gipf-Oberfrick	858	484	287	85
Herznach	629	408	158	61
Hornussen	728	358	295	72
Ittenthal	391	208	169	14
Kaisten	1'417	612	638	138

Gemeinde	Total	Acker, Wiese	Wald	überbaut
Laufenburg	223	49	83	74
Mettau	330	137	178	15
Münchwilen (AG)	116	55	25	36
Oberhof	160	105	44	11
Oberhofen (AG)	315	147	144	24
Oeschgen	439	296	82	59
Schwaderloch	278	98	120	32
Sisseln	256	92	46	80
Sulz (AG)	1'227	514	600	94
Ueken	511	269	202	40
Wil (AG)	774	495	237	41
Wittnau	95	78	6	10
Wölflinswil	485	321	144	20
Zeihen	688	365	269	52
Total	12'820	6'477	4'741	1'417
Bezirk Lenzburg				
Ammerswil	30	24	6	0
Brunegg	152	79	39	34
Dintikon	13	6	0	7
Hendschiken	349	206	85	57
Holderbank (AG)	230	52	83	78
Hunzenschwil	52	21	1	30
Lenzburg	848	198	360	287
Möriken-Wildegg	660	267	240	143
Niederlenz	331	108	94	126
Othmarsingen	472	170	193	107
Rupperswil	618	195	236	168
Schafisheim	118	44	18	56
Staufen	151	48	35	68
Total	4'024	1'418	1'390	1'161

Gemeinde	Total	Acker, Wiese	Wald	überbaut
Bezirk Rheinfelden				
Schupfart	157	79	70	8
Stein (AG)	1	0	0	0
Total	158	79	70	8
Bezirk Zurzach				
Baldingen	281	163	90	28
Böbikon	261	144	97	20
Böttstein	740	260	268	137
Döttingen	693	218	253	174
Endingen	846	383	391	69
Fisibach	580	246	270	50
Full-Reuenthal	485	264	109	60
Kaiserstuhl	31	12	4	12
Klingnau	672	246	241	130
Koblenz	404	171	123	77
Leibstadt	633	277	222	109
Lengnau (AG)	1'267	681	484	101
Leuggern	1'377	651	522	116
Mellikon	275	74	143	45
Rekingen (AG)	310	43	173	82
Rietheim	396	184	158	30
Rümikon	286	117	134	20
Schneisingen	827	406	345	76
Siglistorf	553	231	284	37
Tegerfelden	705	377	267	59
Unterendingen	348	196	126	26
Wislikofen	371	200	137	34
Bad Zurzach	653	165	284	171
Total	12'994	5'709	5'125	1'663

Gemeinde	Total	Acker, Wiese	Wald	überbaut
Kanton Schaffhausen				
Trasadingen	329	256	34	37
Kanton Zürich				
Bezirk Bülach				
Eglisau	25	0	20	1
Glattfelden	552	216	219	94
Hochfelden	6	0	6	0
Höri	11	0	0	0
Hüntwangen	91	40	44	7
Wasterkingen	394	183	171	40
Wil (ZH)	22	6	12	4
Total	1101	445	472	146
Bezirk Dielsdorf				
Bachs	914	448	403	62
Boppelsen	392	167	186	38
Buchs (ZH)	544	263	152	123
Dällikon	255	140	64	49
Dänikon	280	150	89	38
Dielsdorf	559	210	158	180
Hüttikon	161	84	58	19
Neerach	562	372	25	103
Niederglatt	8	5	1	1
Niederhasli	10	8	0	0
Niederweningen	687	331	263	90
Oberweningen	488	171	273	42
Otelfingen	722	340	268	107
Regensberg	238	82	135	21
Regensdorf	10	6	1	1
Schleinikon	565	282	244	38
Schöfflisdorf	398	172	180	45

Gemeinde	Total	Acker, Wiese	Wald	überbaut
Stadel	1'262	736	387	132
Steinmaur	948	541	280	122
Weiach	951	351	471	111
Total	9'954	4'859	3'638	1'322
Bezirk Dietikon				
Dietikon	185	58	29	79
Geroldswil	65	15	17	32
Oetwil an der Limmat	277	101	108	57
Weiningen (ZH)	24	3	21	0
Total	551	177	175	168
Landkreis Waldshut				
Albbruck	3'969	1'853	1'476	480
Bad Säckingen	1'042	230	520	290
Dachsberg	1'363	520	765	70
Dettighofen	187	120	48	19
Dogern	745	233	272	123
Eggingen	486	260	190	35
Göhrwil	3974	1510	1990	380
Herrischried	443	205	185	50
Höchenschwand	1'992	900	935	125
Hohentengen	2'756	1'435	945	250
Klettgau	4'463	2'279	1'608	475
Küssaberg	2'616	1226	965	287
Lauchringen	1'276	551	348	306
Laufenburg	2'358	964	900	393
Murg	2'090	698	1'011	317
Rickenbach	1'201	480	550	125
St. Blasien	601	100	452	45
Ühlingen-Birkendorf	4'667	2'195	2'145	305
Waldshut-Tiengen	7'798	3'454	3'056	1'060

Gemeinde	Total	Acker, Wiese	Wald	überbaut
Weilheim	3'564	1'728	1'514	277
Wutöschingen	2'647	1'447	802	341
Total	**50'238**	**22'388**	**20'677**	**5'753**
TOTAL im 20-km-Umkreis	**125'430**	**54'936**	**50'016**	**17'454**

3.3 Industrieanlagen und Verkehrswege

3.3.1 Einleitung

In diesem Kapitel werden die Standorteigenschaften im Hinblick auf Industrieanlagen und Verkehrswege beschrieben und bewertet.

Die Arten der Gefährdungen werden einerseits nach Quellort und andererseits nach Gefährdungsart abgefragt. Folgende Gefährdungen für die Anlage werden beurteilt:

- toxische Gase
- zündfähige Gase
- Hitzeeinwirkung
- Druckwellen aus Explosionen
- Turbinenhavarie
- Flugzeugabsturz.

In erster Linie geht es um die Beschreibung und Beurteilung potenzieller Gefährdungen, welche aus Industrieanlagen und durch Transportwege entstehen könnten sowie um die Bewertung der Standorteignung in dieser Hinsicht. In Frage kommen Gefahrenpotentiale durch:

- Industrieanlagen (vgl. Kapitel 3.3.2)
- Militärische Anlagen (vgl. Kapitel 3.3.3)
- Die Erdgashochdruckanlagen (vgl. Kapitel 3.3.4)
- Propangastransporte auf Strasse oder Schiene (vgl. Kapitel 3.3.5.2)
- Benzintransporte auf Strasse oder Schiene (vgl. Kapitel 3.3.5.3)
- Chlorgastransporte auf Strasse oder Schiene (vgl. Kapitel 3.3.5.4)
- Luftverkehr (vgl. Kapitel 3.3.7).

Andere aus der Fachliteratur bekannte Gefahrgüter sind hier bzw. in der ganzen Schweiz zurzeit und voraussichtlich auch in der Zukunft nicht relevant, z.B. Liquefied Natural Gas (LNG)-Transporte oder Flüssigpropangas in Rohrleitungen.

3.3.2 Industrieanlagen

3.3.2.1 Überblick

In Tabelle 3.3-1 bis Tabelle 3.3-3 werden die der Störfallverordnung [70] unterliegenden Industriebetriebe inkl. deren Gefahrenpotential im Umkreis bis zu 8 km aufgelistet. Im Übersichtsplan industrielle Gefährdungen (Abbildung 3.3-1) ist die Lage der Industriebetriebe in der Umgebung des Standorts dargestellt. Die Quelle dieser Angaben ist der Chemierisikokataster des Kantons Aargau, Stand 2007.

Nur einer dieser Betriebe liegt in einer Entfernung von weniger als 1 km vom Standort des EKKB, nämlich das bestehende Kernkraftwerk Beznau. Weiter befinden sich das Thermische Kraftwerk Beznau, das ZWILAG (Zwischenlager für radioaktive Abfälle) sowie das Paul Scherrer Institut (PSI) mit unter 2 km relativ nah am Standort des EKKB. Auch in Standortnähe befindet sich das hydraulische Kraftwerk Beznau (untersteht nicht der Störfallverordnung).

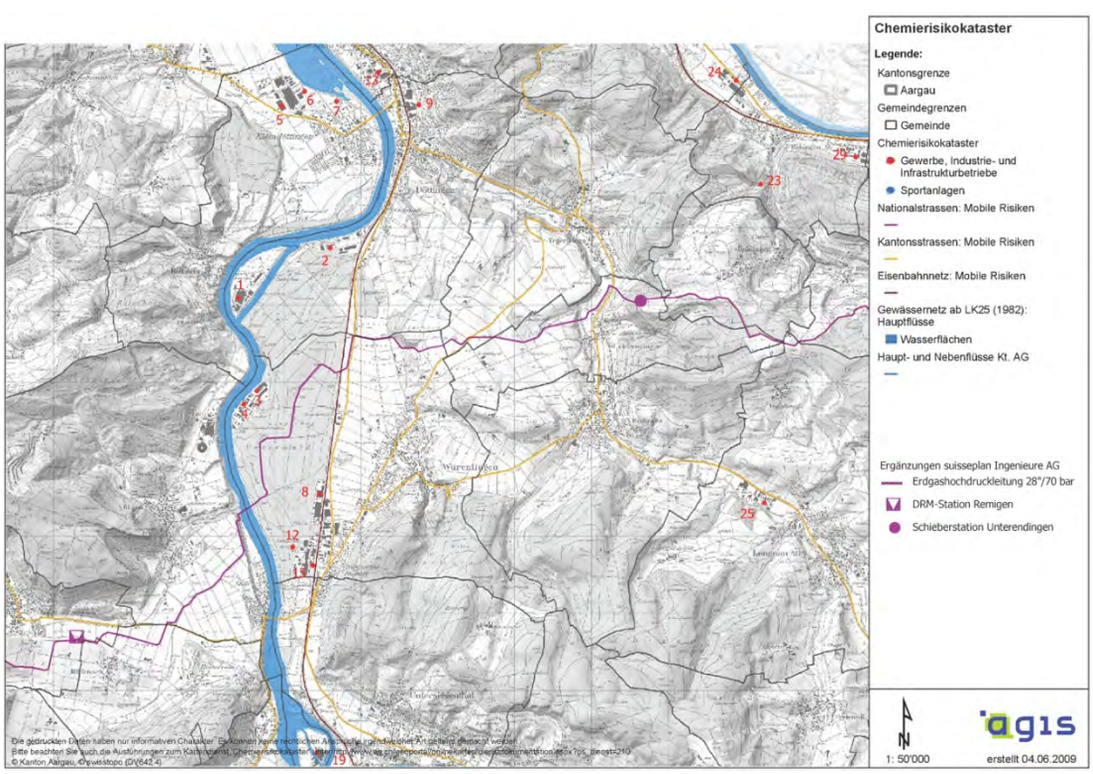
Betriebe mit potentiellen Gefahren für den Standort EKKB in grösserer Entfernung sind einzig die Sprengstofffirma SW Blasting AG in Rekingen (Entfernung ca. 6.7 km) sowie die Riag-Sombo AG (Handel von Gross- und Kleinfeuerwerk). Die Riag-Sombo AG besitzt in Kleindöttingen (Gemeinde Böttstein) in ca. 2.5 km Entfernung zum Standort EKKB ein Lager mit Feuerwerksartikeln.

Im Folgenden werden näher betrachtet (vgl. Kapitel 3.3.2.2):

1 Gas-Turbinenkraftwerk Beznau mit REFUNA-Kesselanlage (beide mit Dieselöl als Brennstoff)
2 Paul Scherrer Forschungsinstitut
3 Zwischenlager Würenlingen
4 KKB 1 und 2 mit ZWIBEZ
5 Sprengstofffabrik SW Blasting AG
6 Riag-Sombo AG

Bei den weiteren Betrieben sind aufgrund ihrer Distanz bzw. Mengen an chemischen Stoffen keine relevanten Gefahren für den Standort EKKB auszumachen.

Abbildung 3.3-1: Übersichtsplan industrielle Gefährdungen



Quelle: AGIS, Kt. AG

Tabelle 3.3-1: Für den Standort EKKB potentiell gefährliche Industriebetriebe im näheren Umkreis bis zu 2 km, welche der Störfallverordnung unterliegen. Die Nummerierung bezieht sich auf den Übersichtsplan industrielle Gefährdungen, Abbildung 3.3-1.

Nr.	Betrieb	Tätigkeit	Gemeinde	Abstand zu EKKB (m)	Relevante Gefahrenszenarien / Abschätzung der Gefahren für den Standort EKKB
1	Nordostschweizerische Kraftwerke AG	Kernkraftwerk Beznau	Döttingen	343	Siehe Kapitel 3.3.2.2.2
2	Nordostschweizerische Kraftwerke AG	Therm. Kraftwerk Beznau	Döttingen	1086	Siehe Kapitel 3.3.2.2.1
3	ZWILAG	Zwischenlager für radioaktive Abfälle	Würenlingen	1492	Aufgrund der Auslegung des EKKB und ZWILAG gegen eine Freisetzung von radioaktiven Stoffen keine Gefahr (Kapitel 3.3.2.2.1).
4	Paul Scherrer Institut PSI	Forschung	Würenlingen	1672	Aufgrund der Entfernung keine Gefahr (Kapitel 3.3.2.2.1).

Tabelle 3.3-2: Für den Standort EKKB potentiell gefährliche Industriebetriebe im weiteren Umkreis (2-8 km), welche der Störfallverordnung unterliegen. Die Nummerierung bezieht sich auf den Übersichtsplan industrielle Gefährdungen, Abbildung 3.3-1.

Nr.	Betrieb	Tätigkeit	Gemeinde	Abstand zu EKKB (m)	Relevante Gefahrenszenarien / Abschätzung der Gefahren für den Standort EKKB
6	Riag Sombo	Feuerwerk / Spielsachen / Lager	Böttstein	2486	Szenarien: Brand / Explosion des Feuerwerklagers Der Standort EKKB ist mit 2.5 km ausserhalb des Gefahrenbereichs, welcher maximal 200 m beträgt (vgl. Kapitel 3.3.2.2.4).
23	SW Blasting AG	Sprengstoffe	Rekingen	6704	Szenarien: Explosion eines Magazins mit 50 t Sprengstoff, Gefahren beim Transport Standort EKKB liegt ausserhalb Gefahrenbereich (vgl. Kapitel 3.3.2.2.3). Keine Gefahren durch Transporte von Sprengstoffen erkennbar (vgl. Kapitel 3.3.2.2.3).

Tabelle 3.3-3: Für den Standort EKKB ungefährliche Industriebetriebe im Umkreis von bis zu 8 km, welche der Störfallverordnung unterliegen. Die Nummerierung bezieht sich auf den Übersichtsplan industrielle Gefährdungen, Abbildung 3.3-1.

Nr.	Betrieb	Tätigkeit	Gemeinde	Abstand zu EKKB (m)	Relevante Gefahren-szenarien / Abschätzung der Gefahren für den Standort EKKB
5	Brugg Rohrsystem AG, Böttstein	Rohrsysteme für Fernwärme	Böttstein	2229	Keine Gefahren
7	ARA	Kläranlage	Böttstein	2520	Keine Gefahren
8	Rotho Kunststoff AG	Kunststoffprodukte	Würenlingen	2963	Keine Gefahren
9	Gerhard Keller	Transporte & Metallbeizerei	Döttingen	3104	Keine Gefahren
10	ARA	Kläranlage	Klingnau	3106	Keine Gefahren
11	Iepco AG	Oberflächentechnik	Leuggern	3489	Keine Gefahren
12	ARA	Kläranlage	Würenlingen	3549	Keine Gefahren
13	Thales Components AG	Produktion Elektronenröhren	Klingnau	3593	Keine Gefahren
14	Faude & Huguenin AG	Medaillen & Plaketten	Leuggern	3785	Keine Gefahren
15	Holcim (Schweiz) AG	Zementwerk	Würenlingen	3831	Keine Gefahren
16	Stoll Giroflex AG	Sitzmöbelherstellung	Koblenz	5259	Keine Gefahren
17	Swisscom (Schweiz) AG	Telefonzentrale	Bad Zurzach	6107	Keine Gefahren
18	Mineralquelle Zurzach AG	Alkoholfreie Getränke	Bad Zurzach	6122	Keine Gefahren
19	Hasler AG	Aluminiumveredelung	Gebenstorf	6231	Keine Gefahren
20	Kernkraftwerk Leibstadt AG	Kernkraftwerk Leibstadt	Leibstadt	6267	Keine Gefahren
21	Regionalschwimmbad Bad Zurzach	Schwimmbad	Bad Zurzach	6555	Keine Gefahren
22	Chiresa AG	Entsorgung	Full-Reuenthal	6637	Keine Gefahren
24	Solvay (Schweiz) AG	Chemische Fabrik	Bad Zurzach	6779	Keine Gefahren
25	Huber Kunststoffwerk AG	Kunststoffverarbeitung	Lengnau	7278	Keine Gefahren

26	ARA	Kläranlage	Windisch	7312	Keine Gefahren
27	Freibad Full-Reuenthal	Schwimmbad	Full-Reuenthal	7434	Keine Gefahren
28	Hallen- und Gartenbad	Schwimmbad	Obersiggenthal	7982	Keine Gefahren
29	Tessenderlo Schweiz AG	Chemische Produkte	Rekingen	7987	Keine Gefahren

3.3.2.2 Näher betrachtete Betriebe

3.3.2.2.1 Gas-Turbinenkraftwerk, PSI und Zwischenlager Würenlingen, ZWIBEZ

Ein Störfall im Gas-Turbinenkraftwerk Beznau, am PSI oder im ZWILAG stellt aufgrund der Entfernung zu den sicherheitsrelevanten Gebäuden auf der Insel Beznau bzw. der Auslegung des EKKB gegen eine Freisetzung von radioaktiven Stoffen keine Gefahr für das EKKB dar. Die Gefährdung ausgehend von KKB 1 und 2 wird in Kapitel 3.3.2.2.2 behandelt. Das ZWIBEZ stellt für das EKKB aufgrund dessen Auslegung gegen eine Freisetzung von radioaktiven Stoffen keine Gefahr dar.

Die nächstgelegene Anlage, mit Ausnahme von KKB 1 und 2, ist das hydraulische Kraftwerk Beznau, das momentan einen Teil der Notstromversorgung der bestehenden Kernkraftwerke sicherstellt. Diese Anlage stellt keine aktive Gefahr für das EKKB dar. Die Anlage wird voraussichtlich vor Beginn des Baus des EKKB erneuert (vgl. auch Kapitel 2.2.3 und 3.5.6).

3.3.2.2.2 Wechselwirkung KKB 1 und 2 mit dem EKKB

Die möglichen gegenseitigen Beeinflussungen von KKB 1 und 2 und dem EKKB wurden für das Rahmenbewilligungsgesuch analysiert.

Es sind dies z.B.:

- Freisetzung von Chemikalien
- Freisetzung von Radioaktivität
- Lastabsturz während des Baus des EKKB bzw. während der Stilllegung, insbesondere des Rückbaus von KKB 1 und / oder 2
- Blockieren von Zufahrtsstrassen während des Betriebs oder einer Notfallsituation durch den Bau des EKKB
- Beeinträchtigung der Kühlwassereinläufe durch ungewöhnliche Materialien oder Objekte, welche in den Oberwasserkanal fallen (während des Baus des EKKB bzw. der Stilllegung, insbesondere des Rückbaus von KKB 1 und / oder 2).

Die Gefährdungen für KKB 1 und 2, welche durch den Bau von EKKB entstehen könnten, müssen in der Planung der Bauphase berücksichtigt werden oder werden durch die Auslegung von KKB 1 und 2 abgedeckt. Es muss insbesondere sichergestellt werden, dass keine Krane oder Lasten auf sicherheitsrelevante Bauten von KKB 2 stürzen können und dass Lager für brennbare und explosive Stoffe auf der Baustelle an einem geeigneten Platz errichtet werden. Diese Gefahren

müssen durch KKB bewertet und entsprechende Massnahmen müssen, falls nötig, eingeleitet werden.

Das massgebende Ereignis während des gleichzeitigen Betriebs[10] von KKB 1 und / oder 2 und dem EKKB ist die Havarie einer Turbine. Bei einer Turbinenhavarie im KKB muss damit gerechnet werden, dass Schaufeln der Turbinenendstufe die Gebäude von EKKB erreichen können. Dies muss in der Auslegung der Anlage berücksichtigt werden. Andere mögliche Ereignisse, wie zum Beispiel eine Freisetzung von Radioaktivität während eines Störfalls in KKB 1 oder 2, werden durch die Auslegung des EKKB abgedeckt.

Durch die Stilllegung von KKB 1 und / oder 2 entsteht für das EKKB keine weitere Gefährdung, welche nicht bereits durch ein anderes Ereignis berücksichtigt wird oder in der Planung der Stilllegung ausgeschlossen werden kann. Vibrationen, welche während des Abbruchs von KKB 1 und / oder 2 entstehen könnten, werden durch die bei einem Erdbeben resultierenden Erschütterungen abgedeckt.

Es gibt keine Wechselwirkungen zwischen KKB 1 und 2 und dem EKKB, welche die Standorteignung in Frage stellen.

3.3.2.2.3 Sprengstoffabrik SW Blasting AG

Die Sprengstoffabrik SW Blasting AG produziert im rekultivierten Steinbruch "Musital" in Rekingen Slurry-Sprengstoffe (Sprengstoffe ohne Nitroglycerin). Die Produktion findet im Werkgebäude am Eingang des Steinbruchs statt. In ca. 300 m Entfernung befinden sich drei erdüberdeckte Lagermagazine mit einer Kapazität von je 50 t Slurry-Sprengstoffen. Die Zünder sind in einem separaten Abteil in Magazin 1 untergebracht.

Der Betrieb untersteht der Störfallverordnung, weil die Mengeschwelle von Slurry-Sprengstoff, Ammonsalpeter 34%, Natrium- und Calciumnitrat überschritten wird.

Die entsprechenden Berichte sind auf dem Amt für Verbraucherschutz (AVS), Chemiesicherheit, Departement Gesundheit und Soziales des Kanons Aargau. Gemäss dem Vollzug Störfallverordnung, Beurteilung des Kurzberichtes und der Tragbarkeit des vom Betrieb ausgehenden Risikos ist für die Gefährdung der Bevölkerung das massgebende Ereignis eine Explosion eines Magazins mit 50 t Sprengstoff. Dadurch wären hauptsächlich Personen im Bereich des Naturschutzgebietes betroffen (Letalität bis 100%). Die Einwohner von Rekingen in einem Abstand von mind. 650 m wären vom Ereignis durch Wandtrümmerwurf gefährdet. Ein Störfall hat keine relevanten Auswirkungen auf die Umwelt ausserhalb des Betriebsareals.

[10] Die NOK ist bestrebt, das bestehende KKB nach Inbetriebnahme des EKKB so rasch wie möglich ausser Betrieb zu nehmen. Ein paralleler Leistungsbetrieb der beiden Anlagen ist aus heutiger Sicht jedoch möglicherweise erforderlich, um die Versorgungssicherheit für NOK und die am EKKB beteiligten Partner in der ersten Phase nach Inbetriebnahme des EKKB weiterhin gewährleisten zu können.

Transporte von Sprengstoffen

Als Rohstoffe werden verschiedene technische Nitrate (teils gefahrlos, teils Gefahrenklasse 5.1) per LKW angeliefert. Beim Transport der Rohstoffe (Nitrate) geht keinerlei Gefahr von den Nitraten selber aus. Auch im Falle eines Unfalls besteht keine Gefahr durch die transportierten Nitrate.

Sprengstofftransporte erfolgen täglich in kleinen Mengen (100 kg bis 4 t). Die Transporte ab Fabrik erfolgen mittels Spezialfahrzeugen (Aufbau und Elektrik). Beim Transport der Sprengstoffe geht keinerlei Gefahr von den Gütern selber aus. Die Sprengstoffe sind ohne externen Treiber nicht detonationsfähig. Auch im Falle eines Unfalls besteht keine Gefahr durch die Sprengstoffe, da die mechanischen Einwirkungen keine Detonation auslösen.

Beurteilung für den Standort EKKB

Der Standort EKKB befindet sich mit einer Entfernung von 6.7 km zur Sprengstoffabrik deutlich ausserhalb des Gefahrenbereichs. Durch den Transport von Sprengstoffen sind keine Gefahren für den Standort EKKB auszumachen.

3.3.2.2.4 Riag-Sombo AG

Die Riag-Sombo AG handelt mit Feuerwerk und 1. August-Artikeln. Das Betriebsgebäude befindet sich in Rupperswil. In Kleindöttingen in einer Entfernung von ca. 2.5 km zum Standort EKKB besitzt die Riag-Sombo AG seit etwa 4 Jahren lediglich ein Lager mit Feuerwerksartikeln (fertige Artikel, keine Produktion).

Gemäss telefonischer Auskunft der Firma Riag-Sombo AG sind die schlimmstmöglichen Gefahrenszenarien ein Brand und / oder Explosion des gesamten Lagers. Die maximalen Gefährdungsdistanzen würden dabei ca. 200 m betragen.

Beurteilung für den Standort EKKB

Der Standort EKKB befindet sich mit einer Entfernung von ca. 2.5 km zum Feuerwerkslager der Riag-Sombo AG klar ausserhalb des Gefahrenbereichs.

3.3.3 Militärische Anlagen

Gemäss Auskunft vom IOS/STAB CHEF DER ARMEE (Information- und Objektsicherheit, Generalsekretariat VBS) befinden sich keine grösseren militärischen Munitions- oder Treibstofflager (Mengenschwelle gemäss StFV: TNT 2'000 kg, Benzin 200'000 kg, Diesel 500'000 kg) im Umkreis von 8 km des Standorts EKKB.

3.3.4 Auswirkungen von Störfällen an Erdgashochdruckanlagen

3.3.4.1 Methodische Grundlagen

Durch die Existenz von mehreren Millionen Pipeline-Kilometern mal Betriebsjahren besteht in Europa ein hoher Kenntnisstand im Pipelinewesen, welcher unter den Betreibern und den Aufsichtsbehörden ausgetauscht wird. Darunter sind insbesondere alle sicherheitsrelevanten Informationen (pipeline integrity) von Bedeutung, da diese die Grundlage für Sicherheitsanalysen bilden. Daraus resultieren standardisierte Berechnungsmethoden für die Risikoermittlung. In der Schweiz ist der Rahmenbericht "Sicherheit von Erdgas-Hochdruckanlagen" [71] das Standardwerk zur Risikobeurteilung von Erdgashochdruckanlagen. Dieses Kapitel stützt sich im Wesentlichen auf diesen Rahmenbericht. Dieser Bericht wird gegenwärtig von einer Arbeitsgruppe unter der Leitung des Bundesamt für Energie (BFE) revidiert, wobei dies insbesondere für Risikosituationen entlang bebauten Gebietes von gewisser Bedeutung sein wird.

3.3.4.2 Eigenschaften von Erdgas

Das über das Schweizerische Erdgasnetz verteilte Erdgas besteht zu über 90% aus Methan (CH_4) sowie aus verschiedenen höheren Kohlenwasserstoffen und geringen Anteilen Stickstoff und Kohlendioxid. Aufgrund dieser Zusammensetzung sind die physikalischen und chemischen Eigenschaften denjenigen von Methan sehr ähnlich.

Methan und somit auch Erdgas sind bei Normalbedingungen leichter als Luft und steigen nach einer Freisetzung in der Atmosphäre schnell hoch [71].

Tabelle 3.3-4: Relative Dichte, Dichte und Zündtemperatur von Erdgas, Propan und Luft bei Normalbedingungen

	Rel. Dichte	Dichte (kg/m3)	Zündtemperatur
Erdgas (high), > 90% Methan (CH_4)	0.56 - 0.64	0.7 - 0.8	ca. 600°C
Propan (C_3H_8)	1.52	2.01	460°C
Luft	1.00	1.30	--

3.3.4.3 Erdgashockdruckleitungen

In einer Entfernung von minimal 1.4 km vom Standort EKKB verläuft die 28"/70 bar Erdgashochdruckleitung Zuzgen–Winterthur / Ohringen der Erdgas Ostschweiz AG.

3.3.4.3.1 Massgebende Störfallszenarien

Je nach Ursache, Art des Lecks, Austrittsrate und Austrittsrichtung, vorhandenen Zündquellen und atmosphärischen Bedingungen sind bei einem Störfall verschiedene Brand- und Explosionsszenarien möglich.

An Erdgashochdruckleitungen ist der Störfall mit der grössten Gefährdung von Personen ein Totalversagen der Rohrleitung (full bore rupture: FBR), wobei das Leck die Grösse des doppelten Rohrquerschnittes hat [71]. Das Erdgas fliesst dann von beiden Rohrhälften nach und entweicht zu

Beginn mit grosser Geschwindigkeit. An der Leckstelle wird durch den hohen Druck und die Geschwindigkeit des Gases das umgebende Erdmaterial weggeschleudert. Damit kann vor allem bei grösseren Rohrdurchmessern (> 10") praktisch immer mit spontaner Zündung gerechnet werden. Das primäre Gefahrenpotential ist damit die Hitzewirkung.

Erfolgt eine Zündung des Gases, dann entsteht ein Fackelbrand oder bei Totalversagen ein Feuerball (Maximalereignis). Der Feuerball dauert einige Sekunden an und fällt dann in einen Fackelbrand zurück. Diese Brandzustände verursachen eine Hitzestrahlung, deren Intensität von der Abbrandrate und der Distanz des betroffenen Objekts oder Person abhängig ist.

3.3.4.3.2 Wirkungen

Totalversagen mit sofortiger Zündung

a) Feuerball

Bei sofortiger oder kurz verzögerter Zündung kann in der Anfangsphase eine kugelförmige Abbrandform entstehen, die nach einigen Sekunden in eine stehende Fackelflamme übergeht. Der Durchmesser des Feuerballs beträgt bei einer 28"/70 bar Leitung maximal 210 m. Dieser Feuerball emittiert kurzzeitig eine sehr grosse Hitzestrahlung, welche diejenige eines stationären Fackelbrandes übertrifft [71].

b) Fackelbrand

Nach einem Störfall an einer Erdgashochdruckleitung mit anschliessender Zündung brennt das austretende Erdgas im Allgemeinen als Fackelbrand ab. Die Grösse der Flamme ist von der Leckgrösse und vom Druck abhängig. Für eine 28"/70 bar Leitung ist mit einem max. Fackeldurchmesser von 65 m und einer Höhe von ca. 250 m zu rechnen.

Die Hauptauswirkung eines Fackelbrandes besteht in der Hitzestrahlung, die an der Flammenoberfläche ca. 210 kW m^{-2} beträgt [71].

Totalversagen ohne oder mit stark verzögerter Zündung

a) Gaswolke

Erfolgt bei einem Totalversagen keine sofortige Zündung, was bei zunehmend grösseren Durchmessern noch unwahrscheinlicher ist, erfährt das austretende Gas durch die sofortige Druckentlastung eine starke (adiabatische) Abkühlung, wobei es einen Moment lang lokal bodennah bleiben kann bevor es aufsteigt und sich schliesslich verflüchtigt. Die Abkühlung genügt jedoch nicht zur Bildung einer schweren Gaswolke mit Ausbreitung in Bodennähe (Drifting Cloud), wie dies bei Flüssigpropangas (LPG) zu beobachten ist. Das aufsteigende Gas durchläuft mit zunehmender Vermischung mit der Luft die temperaturabhängigen Zündgrenzen von 3 und 17 Vol%. Damit besteht eine latente Situation für verzögerte Zündungen [71].

b) Explosion

Da die Zündung von Erdgas nur als Gas-Luft-Gemisch möglich ist, kann Erdgas unter Druck nicht gezündet werden. Voraussetzung für eine Explosion sind demnach verdämmte Situationen (Stollen, u.ä.) und ein zündfähiges Gemisch [71].

c) Versagensraten

Es wird zwischen den Wahrscheinlichkeiten (pro km und Jahr) eines Lecks irgendwelcher Grösse und derjenigen eines Totalversagens unterschieden. Die erste bezeichnet man als Grund- oder Gesamtversagensrate. Die Daten dazu basieren auf den im Rahmenbericht [71] erläuterten Quellenangaben.

Tabelle 3.3-5: Versagensraten einer 28"/70-bar Leitung mit einer Wandstärke von 5.6 mm

	1 m Überdeckung	2 m Überdeckung
Grundversagensrate	9.99×10^{-4} km^{-1}y^{-1}	4.89×10^{-4} km^{-1}y^{-1}
Wahrscheinlichkeit für ein Totalversagen	1.56×10^{-4} km^{-1}y^{-1}	7.66×10^{-5} km^{-1}y^{-1}

3.3.4.3.3 Folgen für die Bevölkerung und Umwelt

Der Standort EKKB ist im Minimum 1.4 Kilometer von der 28"/70-bar Erdgashochdruckleitung entfernt. Aufgrund der üblichen Rohrleitungsführung in unverdämmter Umgebung sind die Gefährdungsradien infolge Hitzestrahlung von Bedeutung.

Letalitäten

Für die Auswirkung eines Brandszenarios auf den Menschen ist die empfangene Wärmestrahlungsdosis massgebend. Zur Bestimmung der Anzahl betroffener Personen werden die Letalitätsradien R_1, R_{50} und R_{99} gemäss [71] berechnet.

Die Letalitätsradien für den Feuerball hängen von dessen Durchmesser ab und geben den horizontalen Abstand von der Leckstelle an. Die Grösse eines Feuerballs wiederum ergibt sich aus der 10-fachen Anfangsausflussrate. Durch diese Annahme erhält man eine konservative Abschätzung der maximalen Auswirkungen.

Die Letalitätsradien für den Fackelbrand berechnen sich aus der Flammenhöhe und dem Flammendurchmesser. Diese beiden Kennwerte hängen gemäss Rahmenbericht vom Leckdurchmesser und dem Gasdruck in der Rohrleitung ab. Auch hier bezeichnen die Letalitätsradien den horizontalen Abstand von der Leckstelle.

Der grösste Letalitätsradius R_1 Feuerball für Personen im Freien beträgt ca. 240 m [71].

Waldbrand

Durch einen Fackelbrand in Waldgebiet ist ein lokaler Waldbrand die Folge. Massgebend für Abschätzungen möglicher Waldbrände ist die Distanz, in der eine spontane Zündung von Holz möglich ist. Die Grenze der Wärmestrahlung für eine Spontanzündung von Holz liegt bei rund 36 kW/m^2. Bei einem Fackelbrand einer 28"/70-bar Erdgashochdruckleitung ist eine Spontanzündung von Holz bis zu einer Distanz von rund 82 m möglich.

Je nach Wald (Zusammensetzung der Baumarten, Höhe, Dichte) des Standorts, der meteorologischen Bedingungen, der Jahreszeit und der Bewirtschaftung des Waldes ist die Gefahr der Ausbreitung eines Waldbrandes beschränkt. Zieht man die einfache Zugänglichkeit für Löscheinsätze mit in Betracht, kann eine unkontrollierte Ausbreitung eines Waldbrandes im Unterwald praktisch ausgeschlossen werden.

3.3.4.4 Druckreduzier- und Messstationen (DRM-Stationen)

Die nächstgelegene DRM-Station ist Remigen (Koordinaten 657 300 / 262 650), welche sich in einem Abstand von ca. 5 km süd-südwestlich des EKKB befindet. Der Gasraum beträgt mit einer Fläche von 18 x 7 m und einer Höhe von 3.8 m rund 480 m^3.

Ca. 4.7 km östlich des EKKB befindet sich die Schieberstation Unterendingen (Koordinaten 664 650/267 060). Diese besitzt keinen Gasraum, d.h. es sind die gleichen Szenarien und Ausmasse wie bei der Erdgashochdruckleitung relevant.

3.3.4.4.1 Massgebende Störfallszenarien und deren Folgen

Gemäss den Überlegungen in [71] können bei einer DRM-Station die zwei Störfallszenarien Totalversagen der Zuleitung mit Brand und Explosion auftreten. Die Wirkungsdistanzen für das Szenario Explosion sind viel kleiner als die der Brandszenarien. Deshalb sind im Allgemeinen nur die Brandszenarien relevant.

Brand

Der grösstmögliche Störfall ist das Totalversagen der 28"/70-bar Zuleitung. Die dabei entstehenden Brandszenarien (Feuerball und Fackelbrand) sowie die Folgen (Letalitätsradien) sind identisch wie bei der Gasleitung (vgl. Kap. 3.3.4.3).

Explosion

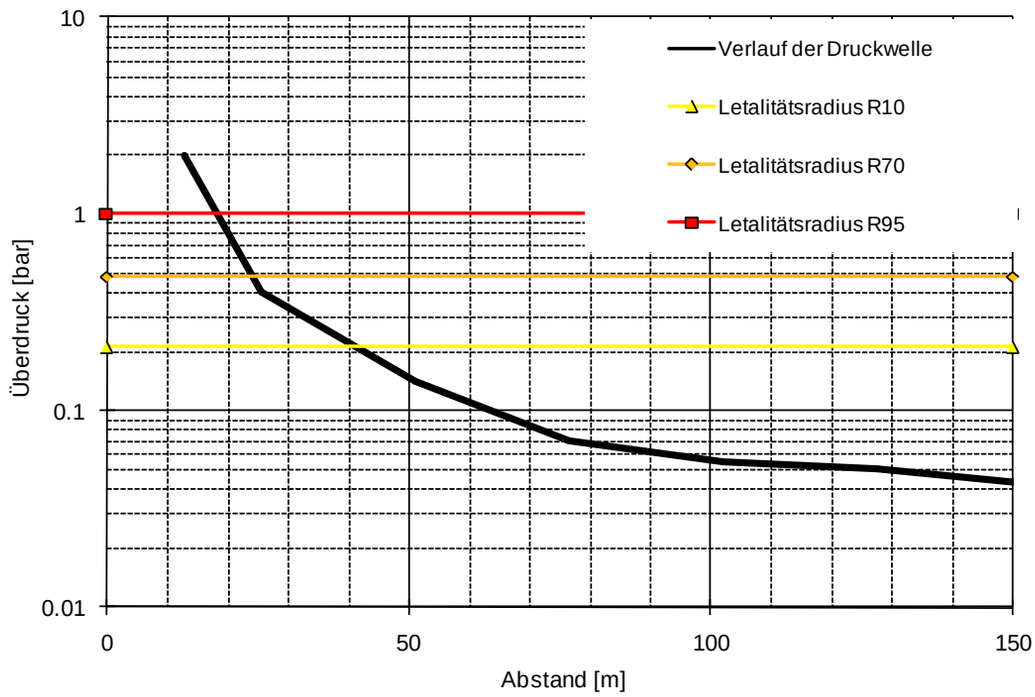
Zusätzlich zum Brandszenario kann eine Explosion nach Zündung eines stöchiometrischen Gemisches im Gasraum der Station auftreten. Personen und Objekte sind dann aufgrund der Druckwelle gefährdet.

Zur Abschätzung der max. möglichen Explosionswirkung wird angenommen, dass nach einem Gasaustritt der gesamte Gasraum der DRM-Station mit einem stöchiometrischen Gas / Luft-Gemisch (ca. 10% Gasanteil) gefüllt ist. Bei einem Gasraum von ca. 480 m^3 wären somit ca. 48 Nm^3 resp. ca. 36 kg Erdgas (Dichte 0.75 kg/m^3) vorhanden.

Gemäss [71] muss für eine stark verdämmte Umgebung ein Anfangsüberdruck von max. 7 bar angenommen werden. Dieser nimmt mit der Entfernung rasch ab (vgl. Abbildung 3.3-2). Analog zu den Wirkungsradien für einen Feuerball oder Fackelbrand werden Wirkungsradien für den Überdruck festgelegt. Die aus Abbildung 3.3-2 ermittelte grösste Wirkungsdistanz R_{10} beträgt ca. 42 m.

Gemäss [71] sind bei einem Überdruck von 0.06 bar, d.h. hier in einem Abstand von 90 m, 1% Schäden an Gebäuden zu erwarten.

Abbildung 3.3-2: Überdruck ausserhalb der DRM-Station nach Explosion eines stöchiometrischen Gas-Luft-Gemisches im Gasraum (480 m³) der Station



3.3.4.5 Beurteilung für den Standort EKKB

Erdgashochdruckleitung

Personen, welche sich innerhalb des R_1 (240 m) befinden, können durch Hitzestrahlung zu Schaden kommen. Der Standort EKKB liegt mit einer Entfernung zur Leitung von mind. 1.4 km weit ausserhalb dieses Einflussbereichs (vgl. Abbildung 3.3-4).

Bauten und Anlagen sind nicht im Bereich möglicher Gefährdungen. Damit sind auch die Kerneinheiten der Anlage keinerlei Gefahren durch einen Störfall an der 28"/70 bar Erdgashochdruckleitung ausgesetzt.

DRM-Station

Die nächstgelegene DRM-Station ist ca. 5 km entfernt. Der Einflussbereich des Szenarios Explosion beträgt ca. 90 m (1% Schäden an Gebäuden). Ein Totalversagen der Zuleitung mit Brand hat die gleichen Auswirkungen wie ein Totalversagen der Erdgashochdruckleitung. Der Gefährdungsbereich (R_1) für Personen im Freien beträgt also max. 240 m.

Bauten und Anlagen des geplanten EKKB sind weit ausserhalb des Einflussbereichs der nächstgelegenen DRM-Station.

3.3.5 Verkehrs- und Transportwege am Boden

3.3.5.1 Situation

Östlich des Standorts befinden sich in ca. 1.5 km Entfernung die Kantonsstrasse und die Bahnlinie Siggenthal-Döttingen-Koblenz. Die Abstände dieser Verkehrswege zum Standort sind gross genug, um eine Gefährdung durch Brand oder Explosion eines mit feuergefährlichen Gütern beladenen Lastwagens oder Eisenbahnwaggons auszuschliessen.

500 m westlich des Standorts verläuft die Strasse Villigen-Böttstein-Döttingen, welche, wie die Zufahrtsstrasse zum Standort, nur schwach befahren ist.

In der Umgebung des Standorts findet auf der Aare keine Lastschifffahrt statt, sodass auch eine Gefährdung des Standorts durch Schifffahrt ausser Betracht fällt.

Im Umfeld des EKKB gibt es wenige Verkehrswege, welche zudem keine hohen Kapazitäten aufweisen und auch in Zukunft nicht dafür vorgesehen sind. Für die Lage darf ebenfalls eine hohe raumplanerische Stabilität angenommen werden.

Transporte von radioaktiven Gütern zum ZWILAG stellen keine Gefahr dar. Die Transporte und Behälter unterliegen strengen Sicherheitsanforderungen.

Mit dieser Ausgangslage bestehen somit wenige Quellen für Gefahrenpotentiale, welche zudem in relativ grosser Distanz sind.

3.3.5.2 Auswirkungen von Störfällen bei Flüssig-Propangas-Transporten auf Schiene und Strasse

3.3.5.2.1 Eigenschaften von Propan

Propan (C_3H_8) ist bei Atmosphärendruck gasförmig, lässt sich jedoch bei Raumtemperatur unter geringem Überdruck verflüssigen.

Aufgrund des gegenüber Luft höheren Molekulargewichts (Propan = 44, Luft =29 g/mol) zählt das Flüssiggas Propan zu den schweren Gasen. Es hat die Tendenz, nach einer Freisetzung in Bodennähe zu verweilen. Die Zündgrenzen liegen für Propan bei 2.1 und 9.5 Vol.%, d.h. dass Luftgemische nur innerhalb dieser Grenzen brennbar sind [72].

3.3.5.2.2 Massgebende Störfallszenarien

Die Auswirkungen von Störfällen bei Flüssiggas-Tankanlagen sind in [72] beschrieben. Störfälle bei Propan-Transporten auf Schiene und Strasse können vereinfacht als mobile, freistehende Tanks beurteilt werden. Auf der Schiene haben diese einen Inhalt von 46 t und auf der Strasse von 20 t Flüssig-Propangas.

Je nach Ursache, Leck, Austrittsrate und -richtung, vorhandenen Zündquellen und atmosphärischen Bedingungen sind bei einem Störfall verschiedene Brand- und Explosionsszenarien möglich.

Bei freistehenden Tanks wird die schlimmstmögliche Schädigung in der Regel durch einen "BLEVE" (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion) verursacht. In Ausnahmefällen muss eine abdriftende und verzögert gezündete Gaswolke berücksichtigt werden [72].

Szenario fehlgeleiteter Zug

Die Bahnlinie Döttingen–Brugg befindet sich in einer minimalen Entfernung zum Standort EKKB von ca. 1.2 km. Von dieser Bahnlinie führt heute ein Industriegleis auf die Insel Beznau. Dieses Zubringer-Gleis verfügt über keine Fahrleitung, d.h. der Transport erfolgt mittels Umhängen an eine Diesel-Lokomotive.

Eine unbeabsichtigte Fehlleitung eines Zuges auf der Linie Döttingen–Brugg mit der Folge einer Einfahrt in das Betriebsgelände des EKKB ist deshalb auf dem jetzigen Industriegleis nicht möglich. Hingegen ist eine beabsichtige Fehlleitung (Sabotage) möglich, welche nicht Bestandteil dieses Berichts ist. Unbefugte Einwirkungen (UEW) werden im separaten Sicherungsbericht behandelt (vgl. Kapitel 3.9).

Bei einem zukünftigen Umbau des Zubringer-Gleises zur Insel Beznau ist dieses Szenario zu berücksichtigen.

3.3.5.2.3 Auswirkungen

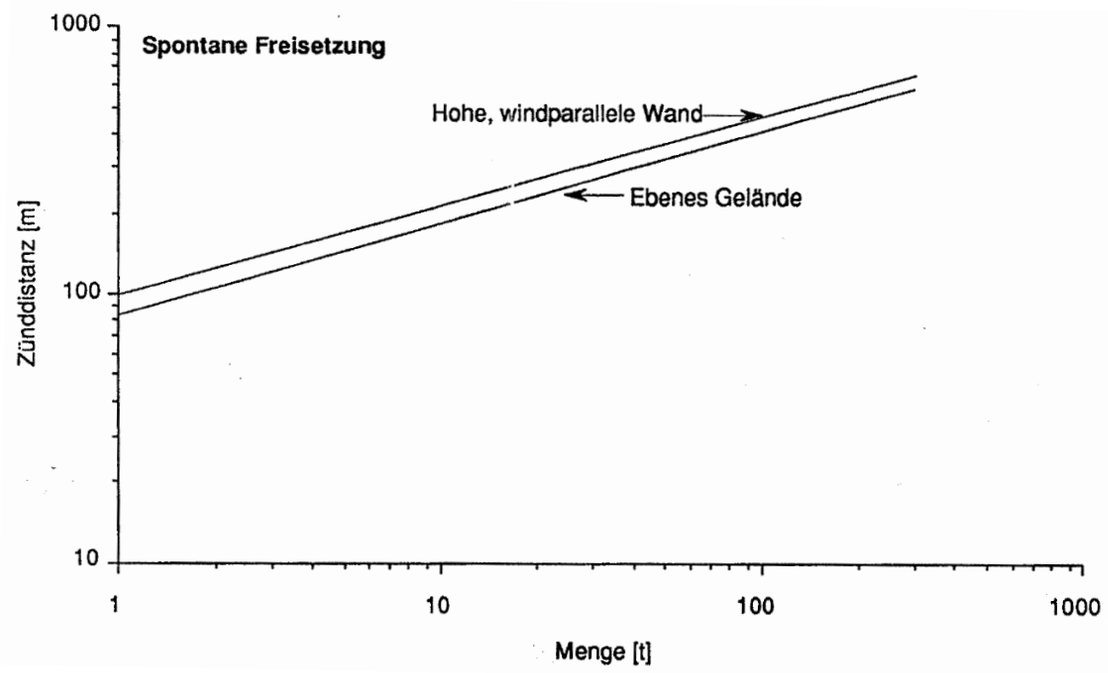
Ausbreitung

Wird brennbares Flüssiggas in grossen Mengen (Tonnenbereich) in kurzer Zeit freigesetzt, so entsteht eine Gaswolke, welche im Innern eine Brennstoffkonzentration über der oberen Explosionsgrenze aufweist. Der auftretende Maximaldruck beträgt im Freien 0.05 bar.

Bei einer spontanen Freisetzung von 46 t Propan muss gemäss Abbildung 3.3-3 in ebenem Gelände mit einer Distanz der unteren Explosionsgrenze (Zünddistanz) von gut 300 m gerechnet werden. Bei 20 t Propan beträgt die Zünddistanz etwa 250 m (vgl. Abbildung 3.3-3).

Für das Diagramm (Abbildung 3.3-3) wurde ein vom VDI entwickeltes und auf Windkanalmessungen basierendes Programm [73] eingesetzt. Die Windkanalversuche wurden mit druckloser Freisetzung durchgeführt, d.h. das Diagramm ist nur für derartige Freisetzungsarten einsetzbar.

Abbildung 3.3-3: Distanz der unteren Explosionsgrenze in Abhängigkeit von der plötzlich freigesetzten Menge ([72])



In ebenem Gelände erfolgt die Ausbreitung in Windrichtung und in geneigtem Gelände (Hangneigung > 10%) talwärts.

Durch die Bahn zwischen Döttingen und Brugg transportiertes Propan (46 t) würde sich bei einem Störfall in Windrichtung ausbreiten, da das Gelände dort flach ist. Gleiches gilt für die Kantonsstrasse Nr. 5.

Auf der Hauptstrasse Böttstein–Villigen werden keine Propan-Transporte angenommen.

Brand

a) Gaswolkenbrand ("Flash-Fire") und Feuerball

Wird die Wolke gezündet und durch den thermischen Auftrieb in die Höhe gehoben, bildet sich ein Feuerball. Ist die Ausdünnung schon vor der Zündung fortgeschritten, resultiert ein grossflächiger Abbrand.

Die schlimmstmögliche Schädigung wird durch einen **"BLEVE"** (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion) verursacht. Aufgrund einer starken thermischen oder mechanischen Wirkung kommt es zu einem Behälterbersten. Das Flüssiggas wird schlagartig freigesetzt und gezündet [72]. Der Feuerballradius kann mit der Formel nach Marshall (1987) berechnet werden ($R[m] = 27.5 \cdot M^{0.333}$, mit M = Masse des freigesetzten Flüssiggases in [t]):

Tabelle 3.3-6: Berechnete Feuerballradien für 46 t und 20 t freigesetztes Flüssig-Propangas

Störfallszenario bei Flüssig-Propangas-Transport auf:	Freigesetzte Menge Flüssig-Propangas [t]	Feuerballradius [m]	3-facher Feuerballradius [m]
Schiene	46	98	294
Strasse	20	75	225

b) Lachenbrand und Freistrahlbrand

Die Bildung einer Propanlache bei grossen Austrittsgeschwindigkeiten kann praktisch ausgeschlossen werden. Eine allfällige Lache durch Flüssigkeitsaustritt nach unten ist nicht risikorelevant. Somit muss der Lachenbrand nicht weiter berücksichtigt werden.

Kommt es zur Zündung eines Freistrahls, sind Flammenlängen von mehreren 10 m denkbar. Diese Stichflammen gefährden primär die direkte Nachbarschaft [72].

Gaswolkenexplosionen

Propangas verfügt über ein höheres Molekulargewicht als Luft, was dazu führt, dass sich das Gas bei einer grösseren Freisetzung dem Boden entlang als Schwergas ausbreitet. Das hat zur Folge, dass eine Verdünnung mit Luft nur langsam stattfindet, so dass noch in grösserem Abstand vom Freisetzungsort für eine beschränkte Zeit ein zündfähiges Gemisch vorliegen kann.

In Abwesenheit von Hindernissen bleibt die Druckwirkung sehr bescheiden. Die Druckwirkung unverdämmter Gasexplosionen wird allgemein 50 mbar nicht überschreiten. Nur wenn Strukturen wie z.B. Häuserschluchten vorliegen, die eine Verdämmung in grösserem Massstab erlauben, muss von höheren Explosionsdrücken ausgegangen werden [72].

Die Gefährdung durch freigesetztes Propangas liegt in seiner flächigen, bodennahen Ausbreitung. Dabei ist mit vorhandenen Zündquellen zu rechnen. Die kleine Menge möglichen Entweichens in die Kanalisation spielt dabei eine untergeordnete Rolle.

3.3.5.2.4 Folgen für die Bevölkerung und Umwelt

Auswirkungen eines BLEVE

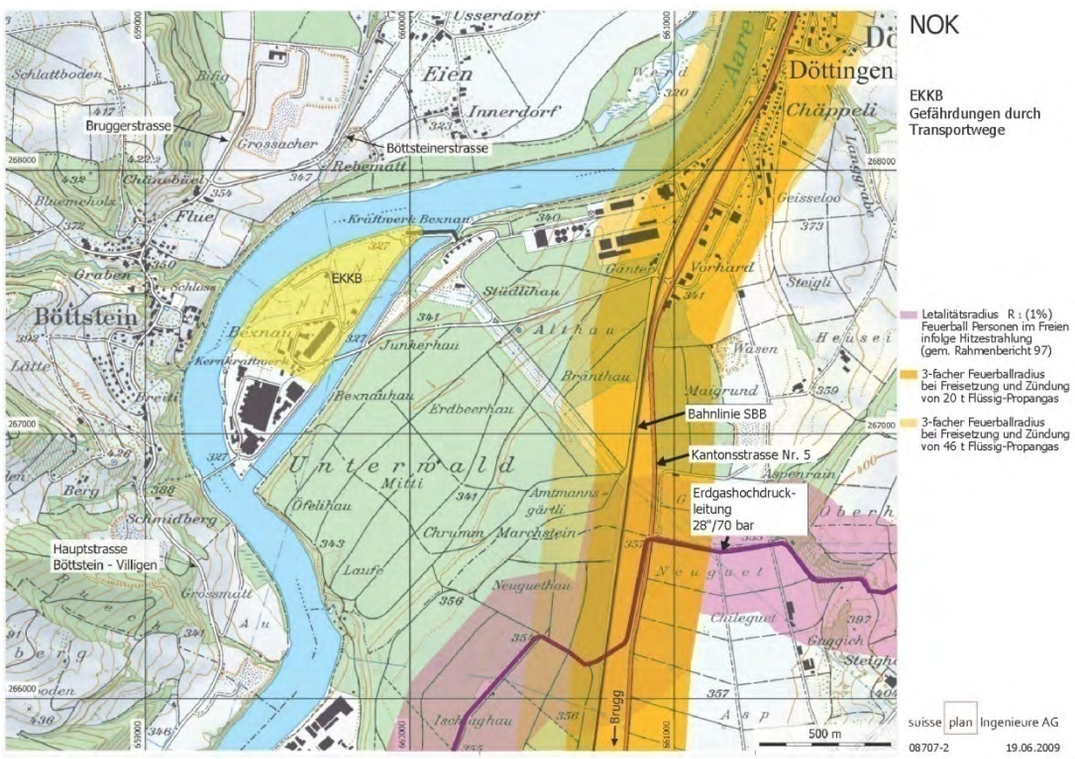
Ausgewertete Ereignisse (u.a. Unfall von San Carlos, Spanien) zeigen, dass Personen im Freien etwa innerhalb des dreifachen Feuerballradius durch die Hitzestrahlung gefährdet sind [72]. Bei einer spontanen Freisetzung und Zündung von 46 t Flüssig-Propangas beträgt der dreifache Feuerballradius und entsprechend die Gefährdungsdistanz für Personen etwa 300 m (vgl. Tabelle 3.3-6). Eine spontane Freisetzung und Zündung von 20 t Flüssig-Propangas ergibt eine Gefährdungsdistanz für Personen im Freien von rund 225 m (vgl. Tabelle 3.3-6).

3.3.5.2.5 Beurteilung für den Standort EKKB

Der Standort EKKB liegt ausserhalb der Gefährdungsdistanzen für Personen im Freien aufgrund Hitzestrahlung verursacht durch einen BLEVE (vgl. Abbildung 3.3-4).

Gefahren durch Gaswolkenausbreitungen mit verzögerter Zündung sowie potentiell mögliche Verdämmungen durch beispielsweise Bauwerke, sollten bei Vorliegen des Bauprojektes nochmals überprüft werden.

Abbildung 3.3-4: Gefährdungen durch Transportwege



3.3.5.3 Benzintransporte

Es sind nur Dieselöl- aber keine Benzintransporte auf das Gelände des EKKB vorgesehen.

3.3.5.3.1 Massgebende Störfallszenarien

Das Gefahrenpotential von auslaufendem Benzin besteht in der Grösse der benetzten Fläche, da nur der verdampfende Teil brennbar ist. Als Faustregel gilt, dass etwa 5% einer spontan auslaufenden Benzinmenge gleichzeitig brennen, abhängig von der Beschaffenheit der Bodenoberfläche. Für eine Explosion braucht es eine starke Verdämmung (z.B. Kanalisationsleitung). Die Auswirkungen von Störfällen bei Benzintransporten beschränken sich auf die Grösse der ausgelaufenen Fläche und allenfalls dabei tangierten in Brand gesetzter Folgeobjekte. Detaillierte Beschreibungen der möglichen Szenarien und Auswirkungen sind im Rahmenbericht über die Sicherheit von Stehtankanlagen für flüssige Treib- und Brennstoffe [74] zu finden.

3.3.5.3.2 Explosion in Kanalisation

Eine Explosion in der Kanalisation kann bei Vorhandensein von dichten Nutzungen oder wichtigen Infrastrukturen in der Nähe zu grösseren Schäden in der Umgebung führen.

Wegen seines tiefen Flammpunktes und seiner hohen Flüchtigkeit entwickelt vorwiegend Benzin mit Luft explosible Gas-Gemische in der Kanalisation oder anderen geschlossenen Hohlräumen wie z.B. Leitungsstollen. Bei einer Zündung des Benzin-Luft-Gasgemisches, z.B. durch elektrische Funken, können in unmittelbarer Umgebung des Explosionsortes grosse Explosionsdrücke entstehen. Je nach Lage der betroffenen Kanalisation sind bei dichter Bebauung oder Nutzung grosse Schäden möglich [74].

3.3.5.3.3 Beurteilung für den Standort EKKB

Es sind keine Benzintransporte auf das Gelände vorgesehen. Deshalb sind keine Gefährdungen durch Benzintransporte für den Standort EKKB auszumachen.

3.3.5.4 Chlortransporte

Auf der Bahnstrecke Döttingen-Brugg können Chlortransporte nicht ausgeschlossen werden, wobei nach der Schliessung der Fa. Solvay in dieser Gegend kein Produzent mehr vorhanden ist. Laut Bundesamt für Umwelt (BAFU) gibt es keine verbindlich vorgeschriebenen Routen, auf welchen die Transporte durchgeführt werden müssen. Die Massnahme der Berücksichtigung von optimierten Transportwegen zielt auf die Eigenverantwortung der Industrie ab, welche sich mit der "Gemeinsamen Erklärung" bereit erklärt hat, die Risiken beim Transport mit der Bahn zu minimieren. Die SBB unterstützt die Industrie bei der Organisation dieser Transportwege. Zur Kontrolle stellen die SBB dem Bundesamt für Verkehr (BAV) halbjährlich Monitorberichte zu.

Die normativen Vorgaben (internationale und nationale Regelwerke) sind für die verbesserte Ausgestaltung der Kesselwagen angepasst. Im 3. Quartal 2007 sind etwa die Hälfte der Chlortransporte in verbesserten Kesselwagen durchgeführt worden. Ab dem 2. Quartal 2008 sollte die Massnahme gemäss BAFU umgesetzt sein.

3.3.5.4.1 Massgebende Störfallszenarien

Die schwerste mechanische Einwirkung auf einen vollen Kesselwagen würde 55 t druckverflüssigtes Chlor freisetzen. Für eine solche Havarie kann fast nur ein Frontalzusammenstoss oder Flugzeugabsturz in Frage kommen. Zu einer grossen Spontanverdampfung braucht es eine möglichst grosse und (z.B. sommerlich) heisse Ausdampffläche. Ein Versprühen in Schotter und bewachsene Böschungen reduziert die Menge entsprechend. Die Ausbreitung kann mehrere km^2 erreichen. Form und Ausrichtung hängen vom Wind und der Topografie ab.

Die Wirkung von Chlordämpfen sind schwere Ätzungen von Atemwegen, Schleimhaut und Augen.

3.3.5.4.2 Beurteilung für den Standort EKKB

Die Wahrscheinlichkeit einer Spontanverdampfung mit einer grossen Menge Chlor ist sehr klein. Sie ist zudem für Menschen im Freien, bzw. in von aussen belüfteten Räume gefährlich (vgl. auch Kapitel 3.3.6.2), nicht jedoch für Bauten und Anlagen. Auf Grund der Distanz zur Bahnlinie kann zudem von einer gewissen Warn- und Reaktionszeit am Standort ausgegangen werden.

Das Szenario ist für eine Standortevaluation nicht massgebend. Jedoch sollte für die Bauphase und den Betrieb die Relevanz von Gefährdungen durch Chlorgas nochmals überprüft werden.

3.3.6 Weitere Ereignisse

3.3.6.1 Verschmutzung des Fluss- und Grundwassers

Für das EKKB ist ein Hauptkühlkreislauf mit Hybridkühlturm geplant (vgl. auch Kapitel 2.3.3). Das Kühlwasser kommt vom Oberlauf der Aare und wird durch eine Wasseraufbereitung gereinigt, (entcarbonisiert) und in den Hauptkühlkreislauf eingespiesen. Eine potentielle Verschmutzung des Flusswassers hat entsprechend keine unmittelbaren Auswirkungen auf die Kühlleistung.

Im Einlaufbauwerk des Nebenkühlwasserkreislaufs wird das Aarewasser von gröberen Verunreinigungen sowie von Schwebstoffen mittels Rechen und Feinfiltern gereinigt. Aufgrund der Verdünnung der Chemikalien im Wasser, der Vorwarnzeit sowie der kurzen Aufenthaltsdauer des potenziell verschmutzten Wassers in den entsprechenden Systemen, ist nicht mit spontanen Schädigungen an Komponenten zu rechnen. Mögliche Schädigungen von Komponenten durch Langzeitwirkungen oder sich langsam entwickelnde Schädigungen aufgrund einer Änderung der Flusswasserchemie müssten durch die Alterungsüberwachung bzw. durch Routineprüfungen erkannt und entsprechende Gegenmassnahmen eingeleitet werden.

Eine mögliche Verstopfung der Kühlwassereinläufe oder eine Beeinträchtigung der Kühlleistung durch Chemikalien, ist durch das Ereignis Beinträchtigung oder Verlust der Externen Kühlwasserzufuhr (vgl. Kapitel 3.5.10) abgedeckt.

Bei einer Freisetzung von Chemikalien ins Grundwasser kann aufgrund der geringeren Ausbreitungsgeschwindigkeit im Grundwasser mit einer längeren Vorwarnzeit gerechnet werden. In dieser Zeit können, falls nötig, geeignete Gegenmassnahmen eingeleitet werden. Die grundwasserführenden Systeme werden den örtlichen Grundwassereigenschaften (vgl. Kapitel 3.6) angepasst und mit gewissen Auslegungsmargen behaftet. Es ist daher selbst bei einer geringen Vorwarnzeit nicht mit spontan auftretenden Fehlfunktionen oder Korrosion zu rechnen, welche zum Ausfall des Systems oder zur Reduktion der Kühlleistung führen könnten.

Kontaminationen vom Grundwasser, welche zu einer Beeinträchtigung der Kühlwasserzufuhr führen könnten, sind aufgrund der filtrierenden Eigenschaften der Grundwasser führenden Schichten auszuschliessen

Eine mögliche Schädigung der Fundamente ist nicht als Ereignis einzustufen, wird aber im Rahmen der Alterungsüberwachung berücksichtigt. Das Konzept zur Alterungsüberwachung der Anlage wird im Rahmen der Erstellung der Baubewilligungsunterlagen erarbeitet und eingereicht.

3.3.6.2 Toxische Gase

Toxische bzw. ätzende Gase könnten eine Gefährdung darstellen, wenn sie in hinreichend grossen Konzentrationen durch die Lüftungssysteme z.B. in den Kommandoraum oder in Gebäude, in denen sich Sicherheitssysteme befinden, gesaugt würden.

Die für den Betrieb der Anlage benötigten Chemikalien werden nicht in der Nähe der Ansaugöffnungen der Lüftungsanlagen gelagert. Dies wird durch entsprechende Verfahrensvorschriften sichergestellt. Im Falle einer Chemikalienfreisetzung ist daher mit einer Verdünnung der freigesetzten Stoffe zu rechnen, bis sie in die Nähe der Ansaugöffnungen gelangen.

Eine plausible Quelle für toxische Gase in der Umgebung von EKKB ist nicht vorhanden. Im Falle von externen Gaswolken kann ebenfalls von einer Verdünnung der giftigen Stoffe bis zum Erreichen der Ansaugöffnungen ausgegangen werden.

Des Weiteren wird in der neuen Anlage wie üblich die angesaugte Luft in den Lüftungsanlagen zunächst gefiltert und kann über Aktivkohlefilter weiter gereinigt werden (diese Filter können im Falle einer sich abzeichnenden Gefahr aktiviert werden).

Zusammenfassend richtet sich die von toxischen Gasen ausgehende Gefährdung in erster Linie gegen das Personal und nicht gegen die Sicherheit der Anlage; es stehen genügend Mittel zur Verfügung, um der Gefährdung des Personals entgegenzuwirken.

3.3.7 Luftverkehr

Der Standort liegt 24 km vom internationalen Flughafen Zürich-Kloten und ca. 56 km westlich vom Flughafen Basel-Mülhausen. Die nach der unter Kapitel 3.3.11 beschriebenen Methodik, durchgeführten Berechnungen ergeben für das Jahr 2007 eine unfallbedingte Absturzhäufigkeit für Zivilflugzeuge am Standort EKKB von ca. $1x10^{-5}$ pro Jahr und km^2. Für die Prognose der unfallbedingten Absturzhäufigkeit im Jahr 2030 von ungefähr $2x10^{-5}$ pro Jahr und km^2 wurde gemäss einer Studie des Bundesamtes für Zivilluftfahrt (BAZL) [10] davon ausgegangen, dass die An-und Abflugbewegungen bzw. die Transitflugbewegungen bis 2030 verglichen mit den Flugbewegungen im Jahr 2007 auf 160% bzw. 198% ansteigen. Die unfallbedingte Absturzhäufigkeit von Zivilflugzeugen kann weiter in die Gewichtsklassen 5.7-20 t (relativer Anteil ~ 27%) und > 20 t (relativer Anteil ~73%) eingeteilt werden. Die relative Präsenz der Flugzeuge für die Einteilung in die Gewichtsklassen wurde anhand der Angaben in [7] ermittelt. In Tabelle 3.3-7 sind die genauen Resultate der Berechnung für 2007 bzw. 2030 wiedergegeben.

Der Einfluss des gekröpften Nordanflugs auf zufällige Flugzeugabstürze am Standort EKKB ist gering (ca. 1%). Der Grund dafür ist die Tatsache, dass nur gerade 2% der Flüge dieses Anflugverfahren nutzen würden, da das Gesuch der Flughafen Zürich AG den gekröpften Nordanflug nur in den ersten Betriebsstunden zwischen 06.00-07.00 Uhr vorsieht und dieser recht gute Sichtverhältnisse erfordert. Der Einfluss auf das Gesamtresultat ist daher klein, obwohl der gekröpfte Nordanflug ein höheres Risiko pro Anflug aufweist als andere Anflugverfahren. Am 03.07.08 hat das Bundesamt für Zivilluftfahrt BAZL das Gesuch für den gekröpften Nordanflug abgelehnt. In der Stellungnahme des BAZL ist nachzulesen, dass das Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL) aus Sicherheitsüberlegungen nicht bereit ist, den gekröpften Nordanflug auf den Flughafen Zürich zu genehmigen. Das zusätzliche Risiko durch den gekröpften Nordanflug ist also

momentan ausgeräumt. Dennoch ist nicht auszuschliessen, dass zu einem späteren Zeitpunkt ein ähnliches Anflugverfahren mit Satellitennavigation genehmigt wird, dessen Sicherheitsniveau mit demjenigen eines Instrumentenverfahrens vergleichbar ist. Der Einfluss auf die Erhöhung der Flugzeugabsturzhäufigkeit am Standort EKKB durch ein solches Anflugverfahren kann zum heutigen Zeitpunkt nicht abschliessend bewertet werden, wäre jedoch aus folgenden Überlegungen vergleichbar mit der Erhöhung der Absturzhäufigkeit des für die Rahmenbewilligung betrachteten gekröpften Nordanflugverfahrens:

- Das "neue" Anflugverfahren würde ein höheres Sicherheitsniveau aufweisen. Dies führt zu einer Verringerung der Gefährdung.
- Das höhere Sicherheitsniveau des satellitengestützten Anflugverfahrens hätte wahrscheinlich eine Erhöhung der Kapazität zur Folge. Dies würde die Gefährdung aufgrund der grösseren Anzahl von Flugbewegungen erhöhen. Allerdings würde die Kapazität sicher nicht so weit erhöht, dass daraus eine Erhöhung der Gefährdung durch das Anflugverfahren gegenüber dem "alten", nicht genehmigten Anflugverfahren entstehen würde.

Insgesamt ist also mit einer ähnlichen oder geringeren Risikoerhöhung durch ein genehmigungsfähiges gekröpftes Nordanflugkonzept zu rechnen, wie durch das am 03.07.2008 vom BAZL abgelehnte gekröpfte Nordanflugverfahren.

Der Überflug einer Kernanlage durch Militärflugzeuge ohne ausreichenden vertikalen und horizontalen Sicherheitsabstand ist behördlich untersagt. Ebenso ist der ehemalige Tiefflugkorridor für Militärflugzeuge entlang des Rheins heute gesperrt. Seit Mai 1992 sind Luftkampfübungen in den Nahkontrollbezirken der schweizerischen Grossflughäfen verboten. Ohne zu berücksichtigen, dass die militärischen Übungsgebiete weitgehend im Alpen- und im Juragebiet liegen, was das Absturzrisiko im unteren Aaretal verringert, ergibt sich am Standort (0.15 km^2) EKKB für Militärflugzeuge eine Absturzhäufigkeit von 8.67×10^{-6} pro Jahr. Der unter Kapitel 0 beschriebene Ansatz zur Berechnung der unfallbedingten Absturzhäufigkeit von Militärflugzeugen ist konservativ. Ergebnisse aus Berechnungen, welche detaillierte Informationen über die Anzahl der in der Umgebung eines Standortes stattfindenden Militärflugbewegungen verwenden, können daher von den hier gemachten Angaben abweichen. Im Rahmen der Baubewilligung könnte, falls nötig, eine solche Betrachtung der Militärflugbewegungen in der Umgebung des Standortes gemacht werden, sofern die Luftwaffe Informationen über diese Militärflugbewegungen zur Verfügung stellt.

Etwas mehr als 2 km südöstlich vom EKKB liegt ein kleiner Heliport auf dem Werkareal der Firma Granella AG. Der Heliport hat eine Lizenz für 300 Flugbewegungen pro Jahr. Die benutzten An- und Abflugrouten führen in Richtung Norden und Süden entlang der Bahnlinie mit genügendem Abstand am EKKB vorbei. Nach Aussagen des Flugfeldleiters fliegen die Piloten nach einem Start in Richtung Norden keinesfalls zwischen ZWILAG und Beznau in Richtung Westen. Die Gegend von PSI, ZWILAG und KKB 1 und 2 wird von den Piloten grundsätzlich gemieden. Viel wahrscheinlicher ist ein Flug in Richtung Tegerfelden, Zurzach oder aber ein Flug in Richtung Süden. Vom Heliport in Würenlingen geht also keine Gefahr für das EKKB durch Start- und Landebewegungen aus. Diese können deshalb für die Absturzhäufigkeit am Standort des EKKB ausgeschlossen werden. Berücksichtigt man die Abstürze während der Reiseflugphase im Zeitraum von 1998 bis 2006, wird die Helikopter-Absturzhäufigkeit am Standort EKKB (0.15 km^2) zu 8.48×10^{-6} pro Jahr berechnet (vgl. Kapitel 3.3.11.4).

Das Risiko durch Abstürze von Kleinflugzeugen der Gewichtsklasse < 5.7 t ist aufgrund der geringen Grösse, des geringeren Tankinhaltes und der geringeren Anzahl an Flugbewegungen vernachlässigbar (vgl. auch Kapitel 3.3.11.3).

In Zukunft ist in der zivilen Luftfahrt bei konstanter Absturzrate mit einer Erhöhung der Absturzhäufigkeit aufgrund der Zunahme der Flugbewegungen und der dadurch zunehmenden Flugverkehrsdichte zu rechnen. Um das zunehmende Passagieraufkommen zu bewältigen, muss man davon ausgehen, dass in Zukunft der Anteil an Flugzeugen mit grösserem Passagiervolumen (z.B. Airbus A380) zunehmen wird.

Die Absturzhäufigkeit militärischer Flugzeuge, Kleinflugzeuge sowie Helikopter wird sich nach heutigem Wissensstand nicht stark verändern.

Nach Aussage des BAZL nimmt die Absturzwahrscheinlichkeit eines Flugzeuges auf einen bestimmten Ort bezogen statistisch gesehen mit der Verkehrsdichte zu, bleibt aber dennoch sehr klein. Mit technisch besser ausgerüsteten Flugzeugen, neuen Navigations- und Anflughilfen wird jedoch angestrebt, diese statistische Zunahme zu verhindern, das heisst, relativ gesehen zu verkleinern. Grundsätzlich ist am Standort EKKB also mit keiner markanten Erhöhung der unfallbedingten Absturzhäufigkeit zu rechnen.

Tabelle 3.3-7: Absturzhäufigkeiten von zivilen Flugzeugen, Militärflugzeugen und Helikoptern

Bereich	Stand 2007	Stand 2030
Nahbereich zivile Flugzeuge (pro Jahr und km^2)	7.70E-06 (7.82E-06)	1.23E-05 (1.25E-05)
Transit zivile Flugzeuge (pro Jahr und km^2)	2.40E-06	4.76E-06
Total zivile Flugzeuge (pro Jahr und km^2)	1.01E-05 (1.02E-05)	1.71E-05 (1.73E-05)
Total zivile Flugzeuge der Gewichtsklasse 5.7-20 t	2.73E-06 (2.75E-06)	4.62E-06 (4.67E-06)
Total zivile Flugzeuge der Gewichtsklasse > 20 t	7.37E-06 (7.45E-06)	1.25E-05 (1.26E-05)
Kleinflugzeuge < 5.7 t (pro Jahr am Standort)	2.09E-05	
Militärflugzeuge (pro Jahr am Standort)	8.67E-06	
Helikopter (pro Jahr am Standort)	8.48E-06	

In Klammern sind jeweils die entsprechenden Ergebnisse des Modells mit gekröpftem Nordanflug angegeben

3.3.8 Externe Ereignisse

Entsprechend den Anforderungen der KEV Artikel 8 wird die Anlage gegen Auslegungsstörfälle mit Ursprung ausserhalb der Anlage geschützt. Dies schliesst jene Störfälle mit ein, welche durch Flugzeugabsturz oder durch Ereignisse in Industrieanlagen / Verkehrswegen verursacht werden könnten. Dabei werden folgende Ereignisse berücksichtigt:

- Explosion / Druckwelle inkl. Geschosseinwirkung
- Turbinenhavarie
- Brand
- Freisetzung gefährlicher Gase oder Dämpfe
- Unfallbedingter Absturz von zivilen und militärischen Flugzeugen.

Durch Druckwellen, Brände oder Absturz von Flugzeugen könnten auch die folgenden Ereignisse ausgelöst werden:

- Unterbruch oder Beeinträchtigung der Kühlwasserversorgung
- Verlust der externen Stromversorgung
- Kontamination der Innenluft durch toxische Gase.

Die sicherheitstechnisch relevanten Bauten und Ausrüstungen werden so ausgelegt, dass für den Fall eines Eintretens solcher Ereignisse und deren Folgeereignissen (vgl. Tabelle 2.4-2), die Anlage in einen sicheren Zustand gebracht wird, unter Einhaltung aller Schutzziele und Limiten. Die entsprechenden Nachweise werden beim Gesuch zur Baubewilligung erbracht, wie in Anhang 4 der KEV gefordert.

3.3.9 Beurteilung des Standorts im Hinblick auf Gefahren von Industrieanlagen und Verkehrswegen

Es sind keine Industrieanlagen in der Standortnähe, welche eine Gefährdung für die Anlage darstellen. Das gleiche gilt für die Benutzung der Strassen bzw. Bahnlinien. Die Distanzen zum Standort sind gross genug, sodass allfällige unfallbedingte Explosionen, Freisetzung von für Menschen gefährlichen Gasen oder Brände keine Konsequenzen hätten.

Die Raumplanung bezeichnet die Region Döttingen als wirtschaftlichen Entwicklungsschwerpunkt von regionaler Bedeutung. Dies sind Arbeitsplatzgebiete an gut erschlossenen Standorten in zentralen und ländlichen Entwicklungsachsen. Die Voraussetzungen für wettbewerbsfähige Arbeitsplätze sind durch eine aktive Bewirtschaftung flexibel zu gestalten und zu verbessern.

Die Nutzungsprioritäten sind auf ihre Lage abzustimmen. Die Verfügbarkeit des Baulandes ist zu erhöhen. Dies bedeutet jedoch nicht, dass in Zukunft mit grossen Veränderungen in der Situation bezüglich Risiken ausgehend von Industrieanlagen zu rechnen ist. Falls weitere Industrieanlagen in der Umgebung vorgesehen würden, müsste eine entsprechende Risikobetrachtung mit allfällig notwendigen Gegenmassnahmen durchgeführt werden.

Die in Kapitel 3.3.4 erwähnte 28"/70 bar Erdgashochdruckleitung liegt im Minimum in einer Entfernung von 1.4 km vom Standort und ist unterirdisch verlegt. Auch im unwahrscheinlichen Fall eines Versagens stellt diese Leitung keine Gefahr für das EKKB dar.

Eine Veränderung des Risikos ausgehend von den Verkehrswegen (Strassen, Bahnen und Schifffahrt) ist nicht zu erwarten. Der Abstand der Strassen ist gross genug, sodass Risiken vom Gefahrenguttransport ausgeschlossen werden können. Die Bahnlinie ist nicht stark mit Güterverkehr belastet. Falls hier signifikante Veränderungen entstehen würden, wäre das Risiko neu zu beurteilen. Dies wäre im Rahmen der Gesuche zur Bau- oder Betriebsbewilligung durchzuführen, bzw. bei der periodischen Sicherheitsbeurteilung im Betrieb.

Wie in Kapitel 3.3.7 erwähnt, liegt der Standort 24 km vom Flughafen Zürich-Kloten sowie ca. 56 km vom Flughafen Basel-Mülhausen entfernt. Die max. Distanz eines Gebietes mit erhöhtem Risiko zur Pistenschwelle beträgt jedoch nur 5-8 Kilometer. Die rechnerisch ermittelte Häufigkeit eines Flugzeug- oder Helikopterabsturzes im Zeitraum 2007 und 2030 ist gering. Sie stellt die Standorteignung heute und in Zukunft nicht in Frage.

Die beschriebenen industriellen Gefährdungen könnten den Zugang zum Standort eventuell erschweren, jedoch aufgrund der unterschiedlichen und räumlich getrennten Zugangsmöglichkeiten keinesfalls vollständig unterbrechen. Dies gilt auch bei anderen Gefahren, z.B. bei einem unfallbedingten oder durch hohe Sommertemperaturen und Trockenheit ausgelösten Waldbrand. Somit belegen die verschiedenen redundanten und diversitären Zugangsmöglichkeiten die Standorteignung auch im Notfall.

3.3.10 Umsetzung bei der Auslegung

Bei der Vorbereitung zum Gesuch der Baubewilligung werden die Angaben zu Industrie und Verkehrswegen aktualisiert und im Sicherheitsbericht dokumentiert und bewertet.

Für das Gesuch zur Baubewilligung werden die Gefährdungen ausgehend von Industrieanlagen und Transportwegen beschrieben und kategorisiert (Reaktortechnik R1). Daraus werden die Gefährdungsspezifikationen vorbereitet (Gesamtanlage G1) und in Ingenieurkenngrössen umgesetzt (Bautechnik B1). Die Ausrüstungen und Bauwerke werden klassiert (Systemtechnik S1; Bautechnik B1). Die vorläufigen Störfallanalysen werden durchgeführt (Reaktortechnik R2).

Die Festlegung der Nachweismethode für Bauten erfolgt im Rahmen der ersten Baufreigabe (KEV Anhang 4 B2). In diesem Zusammenhang werden auch Auslegungsspezifikationen, Bemessungskriterien, Belastungsannahmen, Tragwerksmodellierung, Befestigungskonzept und Etagenverhaltensspektren definiert. Für die mechanischen und elektrischen Ausrüstungen werden Auslegungsspezifikationen und Qualifikationsvorschriften vorbereitet und eingereicht (M2; E2). Die Spannungs- bzw. Tragfähigkeits- und Gebrauchsfähigkeitsnachweise für Bauten werden für die Baufreigabe (B3) eingereicht. Gleiches gilt für die entsprechenden Nachweise für Ausrüstungen im Hinblick auf eine Freigabe vor der Inbetriebnahme.

Die Auswirkungen eines Flugzeugabsturzes auf die Gebäude können untersucht werden, sobald die Konzeption zur Auslegung festgelegt ist. Die genaue Definition der Auslegungsanforderungen zum Schutz des EKKB gegen einen Flugzeugabsturz, unter Berücksichtigung der geltenden Regelwerke, ist Teil der Bau- und Betriebsbewilligung. Unter den oben erwähnten Bedingungen am Standort kann davon ausgegangen werden, dass eine heutige Anlage am Standort EKKB durch in der Auslegung getroffene Massnahmen nach Stand von Wissenschaft und Technik gegen den Aufprall und die Folgen (Treibstoffbrand, Trümmereinwirkung, Explosion) eines Flugzeugabsturzes hinreichend geschützt werden kann.

3.3.11 Anhang 6: Berechnungsmethodik der Flugzeugabsturzhäufigkeit für zivile Flugzeuge, Militärflugzeuge und Helikopter

Die Absturzhäufigkeiten durch die verschiedenen Flugphasen am Standort werden getrennt berechnet. Dabei sind nur die Flugphasen, von welchen nachweislich eine potentielle Gefährdung für den Standort ausgeht, zu betrachten.

3.3.11.1 Transit

Zur Bestimmung der Absturzhäufigkeit durch Transitbewegungen pro Jahr und km² wird der folgende Ansatz gewählt:

$$F_T = \sum_i \frac{N_i \cdot d_i \cdot C}{A_i}; \quad mit\ d_i = \sqrt{g^2 h^2 - b_i^2} - \frac{b_i}{\tan \vartheta}$$

wobei $A_i = \pi g^2 h^2 2\vartheta / 360°$

Die Parameter haben folgende Bedeutung:

- F_T: Absturzhäufigkeit pro Jahr und km² in der Flugphase Transit
- i: Flugkorridorindex
- N_i: Anzahl Flugbewegungen pro Jahr und Korridor
- d_i: Flugstrecke im Korridor, aus der das EKKB erreichbar ist [km]
- C_T: Absturzrate pro km Flugstrecke für die Flugphase Transit: $C_T = 7.20 \cdot 10^{-10}$ km^{-1}
- A_i: Mögliche Absturzfläche (Fläche des Gebietes, in welchem der Absturz erfolgen könnte: Fläche eines Kreissegmentes mit $\vartheta = 45°$ und Radius r = g*h
- g: Maximale Gleitzahl (g = 17)
- h: Mittlere Flughöhe (h = 8 km)
- b_i: Horizontale Komponente des Minimalabstandes zwischen Flugkorridor und EKKB
- ϑ: Winkel, der vom Unfallort im Korridor aus beidseits der ursprünglichen Flugrichtung die mögliche Absturzfläche aufspannt (Dispersionswinkel)

Für die Bestimmung der Absturzrate C_T pro km Flugstrecke für die Flugphase Transit wurde die Unfallstatistik vom US National Transportation Safety Board (NTSB, [75]) verwendet unter der Annahme, dass ~20% der Unfälle in der Flugphase Transit passieren [76]. Daraus ergibt sich eine Absturzrate pro km Flugstrecke für die Flugphase Transit von $C_T = 7.20 \times 10^{-10}$ km^{-1}.

Flug-Korridore sind normalerweise ungefähr 15 km breit. Nach Abklärungen mit Skyguide bringen folgende Korridore (vgl. Tabelle 3.3-8) Flugzeuge in eine Überflugnähe, von welcher das EKKB bei einem Absturz erreichbar wäre.

Tabelle 3.3-8: Betrachtete Flug-Korridore und Anzahl Flüge

Flugkorridor	Anzahl Flüge in Flug-Korridor pro Jahr[11]
HOC-TRA (b = 8 km)	2.83E+04
HOC-WIL (b = 42 km südlich)	2.03E+02
WIL-TRA (4 km)	4.47E+03
TRA-ROTOS (b = 1 km)	7.61E+02
TRA-OLBEN (b = 4 km)	5.81E+04
TRA-RIPUS (40 km)	7.53E+04
TRA-ZUE (b = ca. 15 km)	4.06E+02
HOC-ELMUR (b = ca. 20 km)	4.98E+04
SUREP-DITON (b = ca. 20 km)	6.56E+04
HOC-DITON (b = ca. 15 km)	6.09E+02
SUREP-KUDES (b = ca. 20 km)	1.47E+03

Ein konservativer Dispersionswinkel von 45° und eine durchschnittliche Flughöhe von 8'000 m werden angenommen. Mit der Annahme einer max. Gleitzahl von 17 (17 m Vorwärtsbewegung auf 1 m Höhenverlust), kann ein verunfalltes Flugzeug höchstens einen 136 km (g*h) entfernten Punkt erreichen.

Zusätzlich wird davon ausgegangen, dass 37% der Flüge von und nach Basel bzw. Zürich (vgl. Tabelle 3.3-9) den Standort in einer durchschnittlichen horizontalen Entfernung von 10 km und einer Flughöhe von 8 km passieren. Deren Einfluss auf die Gesamtabsturzhäufigkeit ist allerdings gering.

Mit den in Zusammenarbeit mit Skyguide ermittelten Transitflugbewegungen, welche repräsentativ für das Jahr 2007 sind (vgl. Tabelle 3.3-8 bzw. Tabelle 3.3-9), ergibt sich eine Flugzeugabsturzhäufigkeit für den Transitverkehr von $F_T = 2.40 \cdot 10^{-6}$ pro Jahr und km^2.

3.3.11.2 Absturzhäufigkeit im Nahbereich von Flughäfen

Unter Nahbereich versteht man die Flugphasen Initial Climb, Climb, Descent, Initial Approach und Final Approach.

Es werden prinzipiell alle Flugbewegungen im Nahbereich (ca. 10–50 km) der Flughäfen Zürich-Kloten und Basel-Mülhausen berücksichtigt. Dabei geht man davon aus, dass sich ein Flugzeug bei Start- und Landeanflügen durchschnittlich in einer Höhe von 3'000 m befindet und somit nach einem Schaden höchstens 51 km (glide reach distance, Kapitel 3.3.11.1 Transit) entfernte Punkte erreichen kann.

[11] Die Anzahl Flüge in den einzelnen Flugkorridoren wurden in Zusammenarbeit mit Skyguide ermittelt und sind repräsentativ für das Jahr 2007.

Flughafen Basel-Mülhausen: Das EKKB liegt ca. 56 km östlich vom internationalen Flughafen Basel-Mülhausen.

- Die Flugphasen Descent und Climb zum Flughafen Basel-Mülhausen werden berücksichtigt. Viele dieser Flugbewegungen sind ausserhalb der max. Reichweite von 51 km. Dies ist somit eine konservative Annahme.
- Durch die grosse Distanz vom Flughafen zum Standort stellt die Flugphase Final Approach in Basel-Mülhausen für das EKKB keine Gefahr dar.

Flughafen Zürich-Kloten: Das EKKB liegt ca. 26 km nordwestlich des internationalen Flughafens Zürich-Kloten.

- Für die Flugphasen Descent, Initial Climb und Climb wird kein Dispersionswinkel berücksichtigt.
- Die Flugphase Final Approach wird hier nicht weiter berücksichtigt, weil der Einfluss dieser Flugphase auf die Absturzhäufigkeit am Ort des EKKB vernachlässigbar ist.

Zur Berechnung der jährlichen, flächenbezogenen Absturzhäufigkeit im Nahbereich vom Flughafen Basel-Mülhausen und der Flugphasen Initial Climb, Climb sowie Descent vom Flughafen Zürich Kloten wird folgendes Modell verwendet:

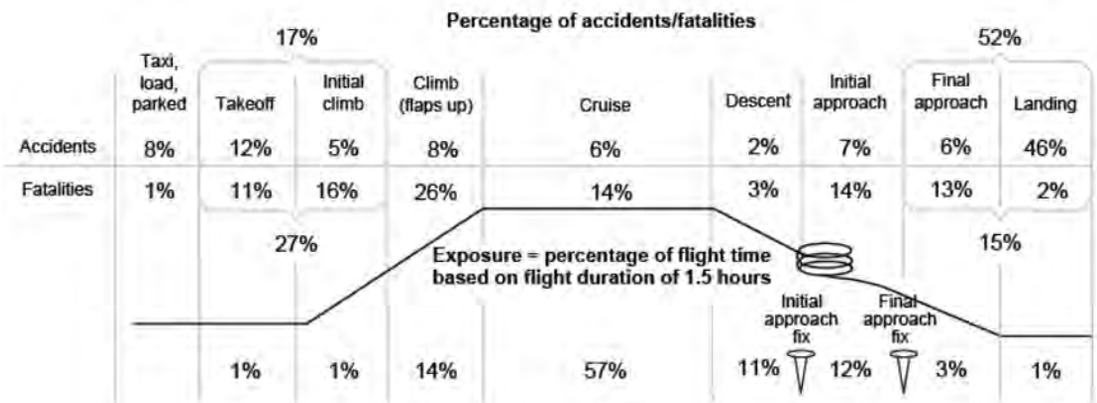
$$F_{Nah} = \sum_{j} \frac{N_j \cdot C_j}{A_j}$$

wobei:

F_{Nah}:	Absturzhäufigkeit pro Jahr und km² im Nahbereich
j:	Index für die verschiedenen Flugphasen (Descent, Final Approach, Climb)
N_j:	Anzahl Flugbewegungen pro Jahr
C_j:	Absturzrate pro Flugbewegung für eine bestimmte Flugphase
A_j:	Mögliche Absturzfläche (Fläche des Gebietes, in welchem der Absturz erfolgen könnte). Kreisfläche mit Radius 51 km um den Flughafen (dabei wird angenommen, dass die bedingte Absturzwahrscheinlichkeit über diese Fläche gleichverteilt ist).

C_j wird unter der Annahme einer jeweils totalen Absturzrate pro Flugbewegung C_{tot} berechnet und mit dem prozentualen Anteil der Abstürze in dieser Flugphase, gemäss Abbildung 3.3-5, multipliziert. Die Boeing-Studie [77] weist für den Zeitraum 1997-2006 eine Unfallrate pro Flugbewegung von $C_{tot} = 9.0 \times 10^{-7}$ aus ("hull loss accidents for scheduled commercial passenger operations").

Abbildung 3.3-5: Flugphasen und prozentualer Anteil an den Unfällen 1996-2005. Hier wurde die Grafik aus [8] verwendet.



Die Flugphase Initial Approach des Flughafens Zürich-Kloten wird anhand des folgenden Ansatzes betrachtet. Der gewählte Ansatz lässt eine Unterscheidung in verschiedene Flugrouten mit einer gewissen Streubreite zu. Es werden folgende Flugrouten unterschieden:

- Nordanflug Ost
- Nordanflug West
- Südanflug Ost
- Südanflug West
- Ostanflug
- Gekröpfter Nordanflug.

Die Absturzhäufigkeit wird dabei unter Berücksichtigung der verschiedenen Anflugrouten und deren Streubreiten wie folgt berechnet:[12]

$$F_{IA} = \sum_i N_i \cdot C_{IA} \cdot S(k)$$

wobei

F_{IA}: Absturzhäufigkeit pro Jahr und km^2 während der Flugphase Initial Approach

N_i: Anzahl Flugbewegungen pro Flugroute und Jahr

C_{IA}: Absturzrate pro Flugbewegung in der Flugphase Initial Approach (IA)

($C_{IA} = 9.0 \cdot 10^{-7} \cdot 7\% = 6.3 \cdot 10^{-8}$)

S(k): Trefferwahrscheinlichkeit pro km^2 an der Stelle k

s(x): Wahrscheinlichkeitsdichte

[12] Die Funktion S(k) ermöglicht eine realistische Abschätzung, da man die Flugzeuge nur bis zu einer Flughöhe h von ca. 2 km betrachtet, die Streubreiten w der Anflugrouten grösser gleich 1 sind, die Gleitzahl g = 17 konstant ist, die Länge l der Flugphase IA der verschiedenen Anflugrouten alle länger als 1 km sind und daher die Funktion S(k) in dieser Anwendung kleiner gleich 1 ist. Für den Fall, dass h sehr klein ist, bzw. gegen Null geht, ist es sicher realistisch, wenn die Trefferwahrscheinlichkeit, an einem zur Flugroute sehr nahen Ort, nahe bei 100% liegt.

Auswertungen realer Daten zeigen, dass die Absturzhäufigkeit an der Stelle k sinkt, je weiter k von der Flugroute entfernt ist und nicht gleichmässig über die gesamte Fläche verteilt ist. Im Folgenden wird angenommen, dass innerhalb der Flugroute (mit Streuung w bzw. Breite der Flugroute = 2 w) die Wahrscheinlichkeit pro Fläche eines Absturzes gleich verteilt ist und ausserhalb der Flugroute bis hin zum Rand der möglichen Absturzfläche A linear abnimmt.

Nimmt man an, dass die Trefferwahrscheinlichkeit pro Fläche entlang der Flugroute für die Flugphase Initial Approach konstant ist, ergibt sich ohne weitere Annahmen folgende Beziehung für S(k) innerhalb des Flugroutenstreubereichs:

$$S(k) = \frac{1}{A} \cdot \frac{w + g\bar{h}}{w + \frac{1}{2} gh}$$

für k ≤ w

und die folgende Gleichung für S(k) ausserhalb des Streubereichs der Flugroute:

$$S(k) = \frac{1}{A} \cdot \frac{w + g\bar{h}}{\left(w + \frac{1}{2} gh\right) \cdot gh} \cdot \left(w + gh - k\right)$$

für w ≤ k ≤ w + gh

wobei:

w:	Flugrouten-Streubreite
g:	Gleitzahl
h:	Flughöhe für die betrachtete Flugroute an der Stelle, welche am nächsten zu k ist
$\bar{h}$:	mittlere Flughöhe für die betrachtete Flugroute
A:	Mögliche Absturzfläche $2 \cdot (w+gh) \cdot l$
l:	Länge Initial Approach

Verwendet man die in Tabelle 3.3-9 angegebenen Daten über An- und Abflugbewegungen der beiden Flughäfen Basel-Mülhausen und Zürich-Kloten, welche von der Flughafen Zürich AG stammen [7], berechnet sich die Absturzhäufigkeit von zivilen Flugzeugen im Nahbereich zu 7.70×10^{-6} pro Jahr und km^2.

Tabelle 3.3-9: Flugbewegungen im Jahr 2007

Anzahl Flugbewegungen Stand 2007	
Transitflugbewegungen	4.13E+05
Anflüge Flughafen Zürich pro Jahr	1.32E+05
Abflüge Flughafen Zürich pro Jahr	1.32E+05
Flugbewegungen Flughafen Basel pro Jahr (je zur Hälfte An- und Abflüge)	8.20E+04

Für die Berechnungen der Prognose der Absturzhäufigkeit im Jahre 2030 wurde anhand der Aussagen in [10] angenommen, dass der Flugverkehr auf den Flughäfen bis 2030, bezogen auf die Flugbewegungen im Jahr 2007, auf ca. 160% und der Transit-Verkehr auf ca. 198% ansteigt. Allerdings wurde nicht betrachtet, dass sich die Absturzhäufigkeit pro Flugbewegung bzw. pro km aufgrund von Verbesserungen in der Technik verringern könnte.

Die Abstände k der Anflugverfahren zum Standort EKKB sowie die Längen l der Flugphasen Initial Approach (IA) und die Streubreiten w der einzelnen Anflugverfahren sowie die anderen Inputparameter (vgl. Tabelle 3.3-10 und Tabelle 3.3-11) wurden mit Hilfe von Flugspurkarten der verschiedenen Anflugverfahren[13] einer schematischen Darstellung der Anflugrouten[14] und mit Hilfe von Skyguide bestimmt. Die Anzahl der Anflüge (vgl. Tabelle 3.3-5) wurden gemäss den Angaben in [7] auf die einzelnen Anflugrouten aufgeteilt.

[13] www.unique.ch

[14] www.skyguide.ch

Tabelle 3.3-10: Inputdaten und Ergebnisse für das Modell ohne gekröpften Nordanflug

Bereich / Route	Abflug Basel	Anflug Basel	Abflug ZH	Descent ZH	IA ZH N-W	IA ZH N-O	IA ZH S-W	IA ZH S-O	IA ZH Ost
Anzahl Flugbewegungen N	41012	41012	132078	132117	47531	47531	5988	5988	25079
Absturzrate pro Flugbewegung C	1.17E-7	8.10E-8	1.17E-7	1.80E-8	6.30E-8	6.30E-8	6.30E-8	6.30E-8	6.30E-8
Gleitzahl g					17	17	17	17	17
Flughöhe Anfang IA [km]					2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Flughöhe Ende IA [km]					1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Mittl. Flughöhe [km]	3.00	3.00	3.00	3.00	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
Streubreite w [km]					7	7	6	8	1
Länge IA [km]					40	60	70	67	65
Mögliche Absturzfläche A [km^2]	8167	8167	8167	8167	2192	2880	4886	4945	3666
Flughöhe bei KKB h [km]					1.2	1.0	1.7	1.7	1.6
Abstand k [km]					5	12	3	25	20
Absturzhäufigkeit pro Jahr und km^2	5.88E-7	4.07E-7	1.89E-6	2.91E-7	2.58E-6	1.54E-6	1.19E-7	4.69E-8	2.36E-7

Tabelle 3.3-11: Inputdaten und Ergebnisse für das Modell mit gekröpftem Nordanflug

Bereich / Route	Abflug Basel	Anflug Basel	Abflug ZH	Descent ZH	IA ZH N-W	IA ZH N-O	IA ZH Süd	Gekr. NA	IA ZH Ost
Anzahl Flugbewegungen N	41012	41012	132078	132117	46210	46210		2642	25079
Absturzrate pro Flugbewegung C	1.17E-7	8.10E-8	1.17E-7	1.80E-8	6.30E-8	6.30E-8		6.30E-8	6.30E-8
Gleitzahl g					17	17		17	17
Flughöhe Anfang IA [km]					2.0	2.0		2.0	2.0
Flughöhe Ende IA [km]					1.0	1.0		0.9	1.0
Mittl. Flughöhe [km]	3.00	3.00	3.00	3.00	1.50	1.50		1.45	1.50
Streubreite w [km]					7	7		5	1
Länge l IA [km]					40	60		35	65
Mögliche Absturzfläche A [km^2]	8167	8167	8167	8167	2192	2880		1540	3666
Flughöhe bei KKB h [km]					1.2	1.0		1.0	1.6
Abstand k [km]					5	12		3	20
Absturzhäufigkeit pro Jahr und km^2	5.88E-7	4.07E-7	1.89E-6	2.91E-7	2.51E-6	1.50E-6	1.66E-7[15]	2.37E-7	2.36E-7

[15] Summe aus IA ZH-S-W und IA ZH-S-O; siehe Tabelle 3.3-10

3.3.11.3 Kleinflugzeuge der Gewichtsklasse < 5.7 t (General Aviation)

Der nächste Flughafen, von welchem Kleinflugzeuge starten, liegt in Birrfeld (ungefähr 20 km südlich von Beznau) und in Fricktal-Schupfart (ungefähr 23 km südwestlich). Private Kleinflugzeuge von diesen Flughäfen sind ausserhalb der Start- und Landephasen, wenn diese in die Nähe von Beznau kommen.

Eine "Best-Estimate"-Absturzhäufigkeit für Kleinflugzeuge (ohne Militärflugzeuge) der Gewichtsklasse < 5.7 t wird nachfolgend hergeleitet. Die Statistik über Unfälle von privaten Kleinflugzeugen ist aus den Statistiken des Büros für Flugunfalluntersuchungen (BFU) ersichtlich. In den Jahren 2004-2007 sind total 51 Unfälle mit privaten Kleinflugzeugen zu vermelden. 28 davon sind Unfälle auf dem Flughafengelände oder erfolgreiche Notlandungen und wurden deshalb für diese Analyse nicht weiter berücksichtigt. Die Statistik beinhaltet also in der Zeitperiode von 2004-2007 (4 Jahre) 23 Unfälle von Kleinflugzeugen, welche für die Berechnung der Absturzhäufigkeit von Kleinflugzeugen am Standort Beznau relevant sind. Segelflugzeuge sind in dieser Statistik nicht enthalten. Die Region um Beznau ist keine Segelflugregion.

Daraus ergibt sich eine Absturzrate von Kleinflugzügen ausserhalb der Start- und Landephasen von 5.8 pro Jahr. Am Standort Beznau (Fläche des Standortes wird auf 0.15 km^2 geschätzt) resultiert daraus eine totale Absturzhäufigkeit von Kleinflugzeugen von:

$F_{GA} = (23/4) \cdot (A_{EKKB}/A_{Schweiz}) = 2.09 \cdot 10^{-5}$ pro Jahr

Aus den folgenden Gründen ist jedoch das Risiko durch einen Absturz eines Kleinflugzeuges vernachlässigbar:

- Kleinflugzeuge haben im Vergleich zu Grossflugzeugen eine geringe Masse
- einen geringeren Tankinhalt
- und die Anzahl der Flüge ist gegenüber der Anzahl Flüge von Grossflugzeugen vernachlässigbar.

Bei der Auslegung der sicherheitsrelevanten Bauwerke gegen die Einwirkungen eines Flugzeugabsturzes wird zudem ein abdeckender Flugzeugtyp aus der Kategorie der Grossflugzeuge herangezogen (> 20 t); darüber hinaus wird die Bemessung auch die grösseren Geschwindigkeiten und grössere Massendichte von Militärflugzeugen mitberücksichtigen.

3.3.11.4 Helikopter-Absturzhäufigkeit

Nach [9] sind zwischen 1998 und 2006 (ohne Start- und Landeunfälle) insgesamt 21 Unfälle von Helikoptern registriert. Daraus resultiert am Standort EKKB pro Jahr (Fläche des Standorts wird auf 0.15 km^2 geschätzt) eine totale Helikopter-Absturzhäufigkeit von:

$F_{Helikopter} = (21/9) \cdot (A_{EKKB}/A_{Schweiz}) = 8.48 \cdot 10^{-6}$ pro Jahr

3.3.11.5 Militärflugzeuge

Nachforschungen haben ergeben, dass zwischen 1975 und 2005 total 74 Unfälle mit Militärflugzeugen passiert sind. Diese Statistik beinhaltet sowohl Militärflugzeuge als auch Militärhelikopter.

Daraus ergibt sich am Standort des EKKB (A_{EKKB} = 0.15 km^2) die Absturzhäufigkeit von Militärflugzeugen:

$F_{Militär} = (74/31) \cdot (A_{EKKB}/A_{Schweiz}) = 8.67 \cdot 10^{-6}$ pro Jahr

Dieser Ansatz ist konservativ. Er geht davon aus, dass sich die Absturzhäufigkeit von Militärflugzeugen gleichmässig auf die gesamte Fläche der Schweiz verteilt. Die Flugräume der CH-Luftwaffe liegen aber hauptsächlich im Gebiet der Alpen und dem Jura im Nordwesten der Schweiz. Somit ergibt sich am Standort EKKB tatsächlich eine geringere Absturzhäufigkeit als oben berechnet.

3.4 Meteorologie und Klima

Die für den Standort relevanten meteorologischen Daten wurden zusammengestellt und analysiert. Daraus wurden die klimatologischen Parameter, welche den Standort charakterisieren, abgeleitet. Diese klimatologischen Parameter werden bei der Beschreibung von Ereignissen, welche zu Störfällen führen könnten, angewendet. Es wurden auch Standortparameter, welche für die Auslegung von sicherheitsrelevanten Bauten und Komponenten notwendig sind, abgeleitet.

In Kapitel 3.4.1 wird der Umfang der Daten beschrieben; in Kapitel 3.4.2 die Methodik zur Ableitung von mehrjährigen Ereignissen. In Kapitel 3.4.4 werden die Datenreihen der verschiedenen Standorte verglichen, mit dem Ziel, die Datenreihen vom Standort Beznau zu verlängern. In Kapitel 3.4.5 werden die meteorologischen Daten präsentiert, zusammen mit den abgeleiteten klimatologischen Parametern. Es folgt die Behandlung der externen Ereignisse, die Beurteilung der Standorteigenschaften und die Folgen für die Auslegung der Anlage.

3.4.1 Erfassung der meteorologischen Daten

Zur Abklärung der meteorologischen Verhältnisse am Standort und in der Region wurden die klimatologischen und meteorologischen Daten einer Reihe von Messstationen durch MeteoSchweiz zusammengestellt und qualitätsgesichert. Die relevanten Stationen wurden zusammen mit MeteoSchweiz festgelegt. Die Daten wurden von der MeteoSchweiz bereitgestellt und auf ihre Qualität kontrolliert. Die meteorologischen Daten wurden durch Meteotest analysiert und die entsprechenden klimatologischen Parameter berechnet.

Die folgenden Stationen wurden berücksichtigt:

- Kernkraftwerk Beznau (KKB)
- Kernkraftwerk Leibstadt (KKL)
- Paul Scherrer Institut (PSI)
- Buchs (Kanton AG)
- Basel.

Die Tabelle 3.4-1 gibt einen Überblick über die verwendeten Daten. Die zur Verfügung stehenden Daten sind mit Startdatum der Datenreihe aufgelistet. Die Datenreihen wurden, wo nichts anderes vermerkt, bis Ende 2007 analysiert.

Von Basel lagen zudem folgende langjährigen Daten von 1865-1980 in Tages-, Monats- und Jahresauflösung vor:

- Tagesmittel, -minima und -extrema der Lufttemperatur, Tagesmittel des Niederschlags, der relativen Feuchte, des Luftdrucks und der Windgeschwindigkeit
- Von Basel 1981-2007 lagen zusätzlich die Tagesminima und -maxima der Lufttemperatur vor
- Daten der jährlichen und monatlichen Blitzdichte lagen von 2000–2007 vor, diese stammen von Meteorage
- Daten von Hagelhäufigkeiten der letzten 50 Jahre sind bei der schweizerischen Hagel-Versicherungs-Gesellschaft zu finden
- Daten über Tornadoereignisse und schwere Stürme können auf den Webseiten http://de.wikipedia.org/wiki/Liste_von_Wetterereignissen_in_Europa; http://www.tordach.org/ch/ und http://www.sturmarchiv.ch/ gefunden werden.

Tabelle 3.4-1: Verwendete Stationen und Parameter

	Beznau	Leibstadt	PSI	Buchs	Basel
Zeitliche Auflösung	10 min	10 min	10 min	1 h	1 h
Temperatur 2 m 10 m 40 m 60 m 70 m 110 m	 NA 01.02.1987 01.02.1987 NA 01.02.1987 NA	 NA 01.02.1987 NA 01.02.1987 NA 01.02.1987	 15.01.1992 NA NA NA 15.01.1992 NA	 23.05.1984 NA NA NA NA NA	 01.01.1981 NA NA NA NA NA
Feuchtkugeltemperatur 2 m 10 m 40 m 60 m 70 m 110 m	 NA NA NA NA NA NA	 NA NA NA NA NA NA	 NA NA NA NA NA NA	 23.05.1984 NA NA NA NA NA	 01.01.1981 NA NA NA NA NA
Relative Feuchte	NA	2002-2006	NA	23.05.1984	01.01.1981
Luftdruck	NA	NA	NA	23.05.1984	01.01.1981
Windgeschwindigkeit und -richtung 10 m 16 m 40 m 60 m 70 m 110 m	 01.02.1987 NA NA NA 01.02.1987 NA	 01.02.1987 NA NA NA NA 01.02.1987	 NA NA NA NA 15.01.1992 NA	 23.05.1984 NA NA NA NA NA	 NA 01.01.1981 NA NA NA NA
Windböen 10 m 16 m 40 m 60 m 70 m 110 m	 NA NA NA NA NA NA	 01.02.1987 NA NA NA NA 01.02.1987	 NA NA NA NA 15.01.1992 NA	 23.05.1984 NA NA NA NA NA	 NA 01.01.1981 NA NA NA NA
Niederschlag	12.10.1988	11.10.1988	15.01.1992	23.05.1984	01.01.1981
Schnee	NA	NA	NA	01.07.1984	01.01.1931
Solarstrahlung	NA	NA	NA	01.06.1984	01.01.1981

NA bedeutet Messparameter nicht aufgenommen bzw. nicht angewendet.

In Leibstadt wird die Temperatur jeweils von zwei Sensoren erfasst. Da die Datenreihen der beiden Sensoren keine signifikanten Differenzen enthalten, wurde in den Statistiken S1–S10 nur Sensor 1 ausgewertet.

In Tabelle 3.4-71 werden die ausgewerteten Parameter aufgelistet, welche zur Beschreibung und Bewertung der klimatologischen Standorteigenschaften und externen Störfälle dienen. Diese Parameter wurden in Zusammenarbeit mit MeteoSchweiz festgelegt.

3.4.2 Methoden

Die Methoden zum Standortvergleich und zur Bestimmung von mehrjährigen Ereignissen (z.B. 100-jährig; 200-jährig) sind in Kapitel 3.4.10 zusammengefasst.

Das Ziel des Standortvergleichs ist es, die Datenreihe von Beznau mit Hilfe längerer Datenreihen anderer Standorte zu verlängern. Der Vergleich wurde mit einer Korrelationsanalyse und einer linearen Regression durchgeführt.

Die Bestimmung der mehrjährigen Ereignisse (50-jährig, 100-jährig, 200-jährig) wurden mit Hilfe der Extremwertverteilung GEV (Generalized Extreme Value Distribution) durchgeführt.

3.4.3 Zeitreihen

Die in diesem Bericht analysierten Datenreihen sind in Tabelle 3.4-1 aufgelistet. Die zeitliche Auflösung für die Zeitreihen am Standort Beznau, wie auch an den Standorten PSI und Leibstadt beträgt 10-Minuten. Auf Grund dieser Basis wurden die Stundenmittelwerte für die Parameter Wind und Temperatur, sowie Stundensummen des Niederschlags berechnet. Die Stundenwerte wurden aus den 10-Minutenwerten *:10 bis *:00 gebildet, so dass das Mittel resp. die Summe von voller Stunde zu voller Stunde errechnet werden konnte. Beim Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz wird der Stundenwert aus den Werten von *:50 bis *:40 gebildet. Beide Vorgehensweisen sind äquivalent, liefern aber unterschiedliche Werte bei der Bestimmung von Rekordwerten. Dieser Sachverhalt ist in Tabelle 3.4-2 anhand der Winddaten von Beznau genauer ersichtlich, wo die höchsten Stundenmittelwerte pro Monat für drei Varianten der Stundenwertbildung dargestellt sind.

Tabelle 3.4-2: Höchste Stundenwerte der Windgeschwindigkeit pro Monat. Stundenwertbildung zu unterschiedlichen Zeitabschnitten am Beispiel des Standortes Beznau 10 m ü.B. für den Zeitraum von 1988-2007 (Einheit: [m/s])

Zeitspanne	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
:10-:00	7.8	7.5	7.9	7.7	7.8	7.5	7.2	6.8	6.6	7.8	5.9	6.8	7.9
:30-:20	7.9	7.6	7.8	7.5	8.2	6.9	7.3	7.0	6.9	8.1	6.1	7.4	8.2
:50-:40	8.0	7.4	7.5	7.5	8.0	7.1	7.2	6.6	6.8	8.4	5.9	7.3	8.4

Im Falle von Niederschlag wurde aus den Stundenwerten von 1:00 bis 00:00 UTC Tagessummen gebildet, was der Summe von Mitternacht zu Mitternacht entspricht. Aus letzteren wurden wiederum 5-Tagessummen, aus fünf aufeinander folgenden Tageswerten errechnet.

Für die Analyse der Zeitreihen von Basel und Buchs standen die Stundenwerte im Zeitsystem der MeteoSchweiz (*:50-*:40) zur Verfügung, welche für die Analysen verwendet wurden.

3.4.4 Vergleich der verschiedenen Standorte

Die Tageswerte der verschiedenen Standorte wurden verglichen, falls zeitlich parallele Messreihen vorliegen, mit dem Ziel, die Datenreihe von Beznau zu verlängern. Dies erhöht die Aussagefähigkeit der durchgeführten Extremwertanalysen.

Die folgenden Parameter des Vergleiches Ort_1 - Ort_2 wurden dabei berechnet und in den folgenden Tabellen aufgelistet:

a Mittel: Mittlere Abweichung Ort_1 - Ort_2.

b Std: Standardabweichung (Ort_1 - Ort_2)

c R^2: Bestimmtheitsmass (Quadrat des Korrelationskoeffizienten)

d A, B: Parameter aus der linearen Regression. Diese können verwendet werden in der Gleichung $Ort_2 = A+B \cdot Ort_1$

e N: Anzahl verwendeter Werte

Dabei bedeutet Ort_1 - $Ort_2 > 0$, dass Ort_1 höhere Werte hat.

Tabelle 3.4-3 : Abweichungen Basel-Buchs, 1984-2005

Parameter	Mittel	Std.	R^2	A	B	N
Temperatur	0.84 °C	1.00 °C	0.981	-0.803	0.997	7893
Feuchtkugel-Temperatur	0.55 °C	0.70 °C	0.989	-0.636	1.010	7893
Windgeschwindigkeit	0.93 m/s	0.77 m/s	0.566	0.023	0.611	7890
Niederschlag	-0.55 mm	4.56 mm	0.468	0.961	0.820	7893
Relative Feuchte	-2.75%	5.63%	0.723	18.853	0.786	7893

Tabelle 3.4-4: Abweichung der Temperatur pro Monat, Basel-Buchs, 1984-2005

Monat	Mittel	Std.	A	B
Januar	1.05 °C	1.29 °C	-0.836	0.872
Februar	1.28 °C	1.25 °C	-0.918	0.873
März	1.16 °C	0.91 °C	-0.665	0.928
April	0.87 °C	0.91 °C	-0.018	0.913
Mai	0.43 °C	0.84 °C	0.516	0.934
Juni	0.50 °C	0.70 °C	-0.041	0.973
Juli	0.59 °C	0.76 °C	1.082	0.914
August	0.79 °C	0.75 °C	0.976	0.909
September	0.76 °C	0.87 °C	0.625	0.908
Oktober	0.91 °C	0.98 °C	-0.135	0.930
November	0.90 °C	0.98 °C	-0.460	0.918
Dezember	0.89 °C	1.27 °C	-0.495	0.857

Tabelle 3.4-5: Abweichung der Feuchtkugel-Temperatur pro Monat. Basel-Buchs, 1984-2005

Monat	Mittel	Std.	A	B
Januar	0.46 °C	0.95 °C	-0.515	0.964
Februar	0.52 °C	0.85 °C	-0.574	0.945
März	0.23 °C	0.79 °C	-0.202	0.980
April	0.21 °C	0.85 °C	0.052	0.931
Mai	0.32 °C	0.81 °C	0.011	0.962
Juni	0.21 °C	0.83 °C	0.700	0.921
Juli	0.22 °C	0.78 °C	0.489	0.947
August	0.11 °C	0.78 °C	0.808	0.932
September	0.29 °C	0.66 °C	0.142	0.961
Oktober	0.36 °C	0.63 °C	-0.068	0.963
November	0.45 °C	0.72 °C	-0.388	0.975
Dezember	0.41 °C	0.83 °C	-0.418	0.957

Tabelle 3.4-6: Abweichungen Basel-Beznau, 1987-2005

Parameter	Mittel	Std.	R^2	A	B	N
Temperatur	0.67 °C	0.98 °C	0.982	-0.473	0.982	6895
Windgeschwindigkeit	1.16 m/s	0.84 m/s	0.482	0.400	0.358	6791
Niederschlag	-0.39 mm	4.45 mm	0.445	1.012	0.729	6292

Tabelle 3.4-7: Abweichungen Buchs-Beznau, 1987-2005

Parameter	Mittel	Std.	R^2	A	B	N
Temperatur	-0.20 °C	0.56 °C	0.994	0.395	0.980	6895
Windgeschwindigkeit	0.25 m/s	0.56 m/s	0.678	0.477	0.520	6791
Niederschlag	0.14 mm	3.61 mm	0.666	0.551	0.754	6292

Tabelle 3.4-8: Abweichungen Buchs-Leibstadt, 2002-2006

Parameter	Mittel	Std.	R^2	A	B	N
Temperatur	-0.10 °C	0.67 °C	0.991	0.145	0.996	6892
Windgeschwindigkeit	-0.29 m/s	0.74 m/s	0.550	0.503	0.863	6892
Niederschlag	0.33 mm	4.36 mm	0.540	0.555	0.691	6909

Tabelle 3.4-9: Abweichungen PSI-Beznau, 1992-2005

Parameter	Mittel	Std.	R^2	A	B	N
Temperatur	-0.26 °C	0.30 °C	0.998	0.181	1.008	5100
Windgeschwindigkeit 70 m ü.B.	0.25 m/s	0.65 m/s	0.809	0.513	0.684	4974
Niederschlag	0.15 mm	1.63 mm	0.926	0.082	0.920	5100

Für die Temperatur und die Feuchtkugel-Temperatur zeigt der Vergleich zwischen allen Standorten einen eindeutigen linearen Zusammenhang und hohe Bestimmtheitsmasse. Für die Windgeschwindigkeit und den Niederschlag sind diese Werte tiefer. Deshalb wurden die Datenreihen der Temperatur und der Feuchtkugel-Temperatur zwischen den Stationen mit den linearen Gleichungen $Ort_2 = A+B \cdot Ort_1$ erweitert. Für die Windgeschwindigkeit und den Niederschlag wurde dieses Vorgehen nicht angewendet. Eine Ausnahme bildet der Vergleich PSI-Beznau mit einer hohen Korrelation im Niederschlag.

3.4.5 Klimatologische Datenanalyse

Die Daten wurden entsprechend der Auflistung der Parameter in Kapitel 3.4.9 ausgewertet.

3.4.5.1 Lufttemperatur

Historische Maxima und Minima (Statistik S1)

Tabelle 3.4-10: Historische Maxima der Temperaturen

Ort	Zeitperiode	Maximum (Jahr)
Basel	1865 - 1980	39.0 °C (1952)
Basel	1981 - 2007	10-min Mittel
Beznau 10 m ü. B.	1987 - 2007	37.5 °C (2003)
Beznau 70 m ü. B.	1987 - 2007	36.9 °C (2003)
Leibstadt Sensor 1	1987 - 2007	37.8 °C (2003)

Tabelle 3.4-11: Historische Minima der Temperaturen

Ort	Zeitperiode	Minimum (Jahr)
Basel	1865 - 1980	-24.1 °C (1942)
Basel	1981 - 2007	10-min Mittel
Beznau 10 m ü. B.	1987 - 2007	-13.4 °C (2005)
Beznau 70 m ü. B.	1987 - 2007	-13.6 °C (2005)
Leibstadt Sensor 1	1987 - 2007	-13.3 °C (1991)

In Basel wurden bis zur Einführung der automatischen Messungen 1978 effektive Minima / Maxima Temperaturen gemessen, danach gilt für die Extrema höchstes / niedrigstes 10-min Mittel. Es wird angenommen, dass sich die 10-min Mittel nur wenig von den absoluten Minima / Maxima unterscheiden. Ein Vergleich mit Statistik S3 zeigt, dass es vom Stundenmittelwert zum absoluten Extremum eine Differenz von maximal 1.2 °C gegeben hat. Deshalb werden hier keine Extremtemperatur-Daten von Buchs angegeben.

Anmerkung zur Statistik S1, Tabelle 3.4-11. Die unterschiedlichen absoluten Minimum-Temperaturen zwischen Beznau (1987-2007) und Basel (1981-2007), mit einer Differenz von 10 °C, trügen. Die Beznauer Datenreihe startet am 1.2.1987. In der Basler Datenreihe sind ab diesem Datum auch nur noch -15.0 °C minimal gemessen worden. Aber z.B. im vorherigen Monat (Januar 1987) waren es in Basel unter -23 °C.

Höchste / tiefste Werte der einzelnen Monate (Statistik S2)

Tabelle 3.4-12: Basel 1865-1980 max / min Temperatur [°C]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Min	-24.1	-23.8	-14.8	-6.3	-2.7	1.1	5.1	3.6	-1.3	-5.6	-11.0	-24.0	-24.1
Max	18.7	22.0	24.5	30.5	33.5	38.4	39.0	38.7	35.0	29.2	22.0	20.6	39.0

Tabelle 3.4-13: Basel 1981-2007 max / min 10-Minuten Mittel Temperatur [°C]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Min	-23.3	-15.8	-14.7	-4.3	-0.3	3.7	7.4	6.0	2.3	-4.8	-9.4	-15.0	-23.3
Max	19.0	21.4	25.2	27.7	30.8	35.9	38.4	38.6	30.8	29.6	19.8	20.1	38.6

Tabelle 3.4-14: Beznau 10 m ü. B. 1987-2007 max / min 10-Minuten Mittel Temperatur [°C]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Min	-12.4	-13.3	-13.4	-2.7	0.9	3.4	7.5	6.0	1.6	-4.7	-9.8	-12.5	-13.4
Max	19.1	18.6	24.1	27.2	30.7	35.9	35.8	37.5	29.2	25.5	18.7	17.7	37.5

Tabelle 3.4-15: Beznau 70 m ü. B. 1987-2007 min / max 10-Minuten Mittel Temperatur [°C]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Min	-12.8	-12.9	-13.6	-2.8	0.4	3.4	7.1	5.7	1.3	-4.9	-10.1	-13.1	-13.6
Max	19.0	18.3	23.4	26.5	30.1	34.6	35.4	36.9	29.1	25.0	18.0	17.4	36.9

Tabelle 3.4-16: Leibstadt Sensor 1 110 m ü. B. 1987-2007 max / min 10-Minuten Mittel Temperatur [°C]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Min	-13.2	-13.3	-13.3	-2.4	0.4	3.4	7.5	5.7	-5.8	-4.6	-11.1	-13.2	-13.3
Max	18.5	18.7	24.2	27.8	31.0	35.9	35.9	37.8	29.3	26.1	18.6	19.0	37.8

Höchste / tiefste Stundenmittelwerte (Statistik S3)

Tabelle 3.4-17: Basel 1981-2007 tiefster / höchster stündlicher Mittelwert Temperatur [°C]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Min	-22.1	-14.8	-13.7	-4.1	0.1	4.0	7.9	6.5	2.7	-4.6	-8.9	-14.6	-22.1
Max	18.8	21.0	24.8	27.3	30.5	35.3	37.7	38.0	30.5	29.3	19.5	19.5	38.0

Tabelle 3.4-18: Buchs 1984-2007 tiefster / höchster stündlicher Mittelwert Temperatur [°C]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Min	-23.0	-14.9	-15.2	-5.7	0.4	3.5	6.2	4.1	0.7	-5.6	-10.4	-14.6	-23.0
Max	15.0	17.9	23.4	26.7	31.0	35.8	35.7	36.5	30.9	26.2	18.1	15.2	36.5

Tabelle 3.4-19: Beznau 10 m ü. B. 1987-2007 tiefster / höchster stündlicher Mittelwert Temperatur [°C]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Min	-12.2	-13.0	-13.1	-2.5	1.1	3.6	7.6	6.2	1.8	-4.5	-9.6	-12.4	-13.1
Max	17.9	18.0	23.9	27.0	30.2	35.4	35.6	37.1	29.1	25.3	18.4	17.3	37.1

Tabelle 3.4-20: Beznau 70 m ü. B. 1987-2007 tiefster / höchster stündlicher Mittelwert Temperatur [°C]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Min	-12.5	-12.6	-13.5	-2.6	0.5	3.6	7.2	6.0	1.5	-4.8	-9.8	-13.0	-13.5
Max	17.8	17.6	23.4	26.5	30.0	34.4	35.0	36.5	28.8	24.8	17.9	16.8	36.5

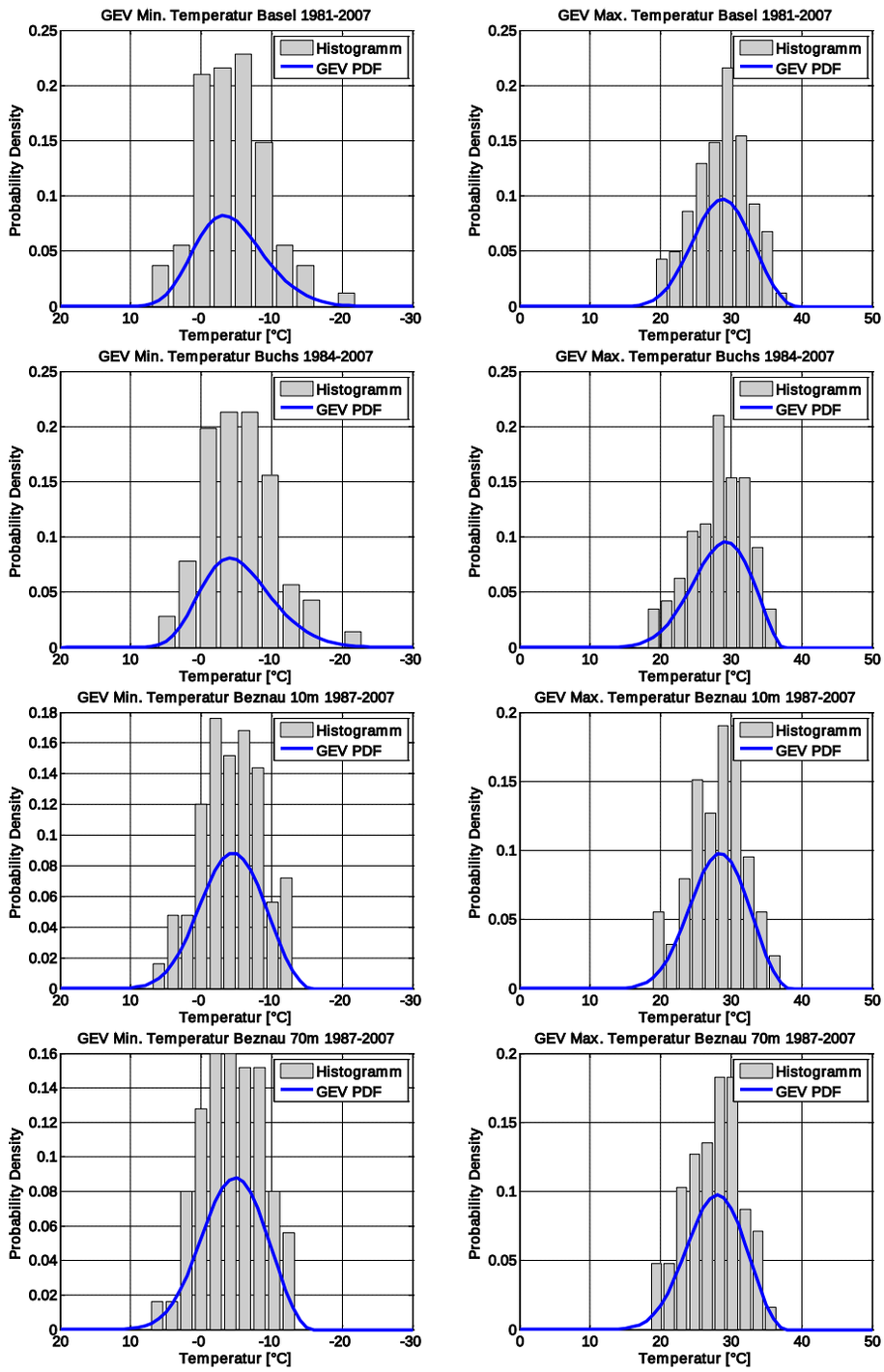
Tabelle 3.4-21: Leibstadt Sensor 11987-2007 tiefster / höchster stündlicher Mittelwert Temperatur [°C]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Min	-12.9	-13.2	-13.1	-2.3	0.7	3.5	7.8	5.9	1.3	-4.4	-10.9	-12.8	-13.2
Max	17.8	18.6	23.8	27.1	30.4	35.4	35.7	37.1	29.1	25.9	18.4	18.6	37.1

Die Tages- und Monatsmittelwerte sowie die Monatsmittelwerte der Temperaturmaxima bzw. Minima werden in Kapitel 3.4.11 zusammengefasst.

GEV der höchsten / tiefsten Stundenmittel mit 100-jährigen Werten (Statistik S10):

Abbildung 3.4-1: GEV-Verteilung der Temperatur für Basel 1981-2007, Buchs 1984-2007 und Beznau 1987-2007 basierend auf tiefsten (links) und höchsten (rechts) Stundenmitteln pro Monat der Temperatur [°C]



Wegen der Kürze der Datenreihen basieren die Extremwertstatistiken von Statistik S10 auf Monatsmaxima der Stundenwerte. Die saisonale Verteilung der Monatsmaxima ist bimodal. Deshalb wurde für die Extremwertstatistik für die Bestimmung der Temperaturminima nur das Winterhalbjahr von Oktober bis März und für die Maxima nur die Sommermonate von April bis September berücksichtigt.

Die Wiederkehrperioden von Tabelle 3.4-23 sind mit Vorsicht zu beurteilen, da sich durch die Erwärmung auf Grund des Klimawandels die Statistik mit Bestimmtheit im Verlauf des 21. Jahrhunderts deutlich verändern wird, siehe dazu auch Kapitel 3.4.5.10.

Hätten die Messungen in Beznau bereits im Januar 1987 begonnen und nicht erst im Februar, würde die Extremwertstatistik für Beznau deutlich anders aussehen. Im Januar 1987 fielen die Temperaturen in der Region auf unter -20 °C.

Tabelle 3.4-22: Parameter der GEV-Verteilung

Parameter	Basel 1981-2007 min	Basel 1981-2007 max	Buchs 1984-2007 min	Buchs 1984-2007 max
k	-0.1587	-0.3277	-0.1448	-0.4239
σ	4.5203	4.0269	4.6009	4.2794
μ	2.4146	27.2643	3.3673	27.1079

Parameter	Beznau 10 m 1987-2007 min	Beznau 10 m 1987-2007 max	Beznau 70 m 1987-2007 min	Beznau 70 m 1987-2007 max
k	-0.3433	-0.3523	-0.3555	-0.3626
σ	4.4430	4.0354	4.4915	4.0641
μ	2.7848	26.8074	3.0244	26.3506

Tabelle 3.4-23: Erwartete tiefste (obere Tabelle) / höchste (untere Tabelle) Stundenmittel der Temperatur [°C] für Basel, Buchs und Beznau für verschiedene Wiederkehrperioden. In eckigen Klammern ist das 95% Konfidenzintervall angegeben.

Wiederkehr-periode	Basel	Buchs	Beznau 10 m	Beznau 70 m
50 J	-19.4 [-14.3;-26.2]	-21.2 [-15.5;-29.2]	-13.9 [-9.6;-20.2]	-14.0 [-9.8;-20.2]
100 J	-20.6 [-15.0;-28.3]	-22.6 [-16.3;-31.6]	-14.3 [-9.8;-21.2]	-14.4 [-10.0;-21.1]
200 J	-21.7 [-15.6;-30.3]	-23.8 [-16.9;-34.0]	-14.6 [-9.9;-22.0]	-14.6 [-10.0;-21.8]
1000 J	-23.7 [-16.6;-34.6]	-26.1 [-18.0;-39.1]	-	-
10000 J	-25.9 [-17.6;-39.7]	-28.7 [-19.0;-45.6]	-	-

Wiederkehr-periode	Basel	Buchs	Beznau 10 m	Beznau 70 m
50 J	37.7 [34.5;41.9]	36.3 [33.3;40.3]	36.7 [33.4;41.3]	36.1 [32.8;40.6]
100 J	38.0 [34.7;42.6]	36.5 [33.4;40.7]	37.1 [33.5;41.9]	36.5 [33.0;41.3]
200 J	38.3 [34.8;43.2]	36.7 [33.5;41.1]	37.3 [33.7;42.5]	36.7 [33.1;41.8]
1000 J	38.8 [35.1;44.2]	37.0 [33.6;41.7]	37.7 [33.8;43.4]	37.1 [33.2;42.7]
10000 J	39.2 [35.2;45.2]	37.1 [33.6;42.1]	38.0 [33.9;44.3]	37.4 [33.3;43.4]

Die längeren Wiederkehrperioden der kalten Temperaturen von Beznau wurden weggelassen. Die 50- bis 200-jährigen Wiederkehrperioden zeigen bereits deutlich höhere Temperatur-Werte als Basel und Buchs. Das kommt daher, dass im Messzeitraum nie mehr so kalte Temperaturen gemessen wurden. Im Monat vor Beginn der Messreihe fielen die Temperaturen auf unter -20 °C in der Region. Dieser Wert würde in der Messreihe von Beznau somit schon als 20-jähriges Ereignis gelten.

Die Werte mit 100-200-jähriger Wiederkehrdauer können bei der Festlegung von Temperaturen, welche für die Auslegung von Bauten, Systemen und Komponenten notwendig sind, berücksichtigt werden. Es sind mögliche Folgen von Klimaveränderungen mit einzubeziehen. Die Werte sind, verglichen mit anderen Ländern, nicht extrem und deshalb werden keine Schwierigkeiten bei der Auslegung erwartet. Die Anwendung der Werte mit längerer Wiederkehrperiode wird im Rahmen des Gesuchs zur Baubewilligung festgelegt. Es ist nicht zu erwarten, dass tiefe bzw. hohe Temperaturen als störfallauslösende Ereignisse betrachtet werden sollten. Bei steigenden (oder sinkenden) Temperaturen besteht genügend Zeit Gegenmassnahmen einzuleiten.

3.4.5.2 Feuchtkugel-Temperatur, relative Feuchte und Vereisungsgefahr

Ganzjahresverteilung (Statistik P4)

Die Feuchtkugel-Temperatur und die relative Feuchte sind für die Beurteilung der Vereisungsgefahr von Relevanz. Die Daten sind nur für die Standorte Basel, Buchs und Leibstadt vorhanden und werden in Abbildung 3.4-2 und Abbildung 3.4-3 zusammengefasst.

Abbildung 3.4-2: Normierte Verteilung der Feuchtkugel-Temperatur in der Periode 1987-2007 für Basel (blau) und Buchs (grün)

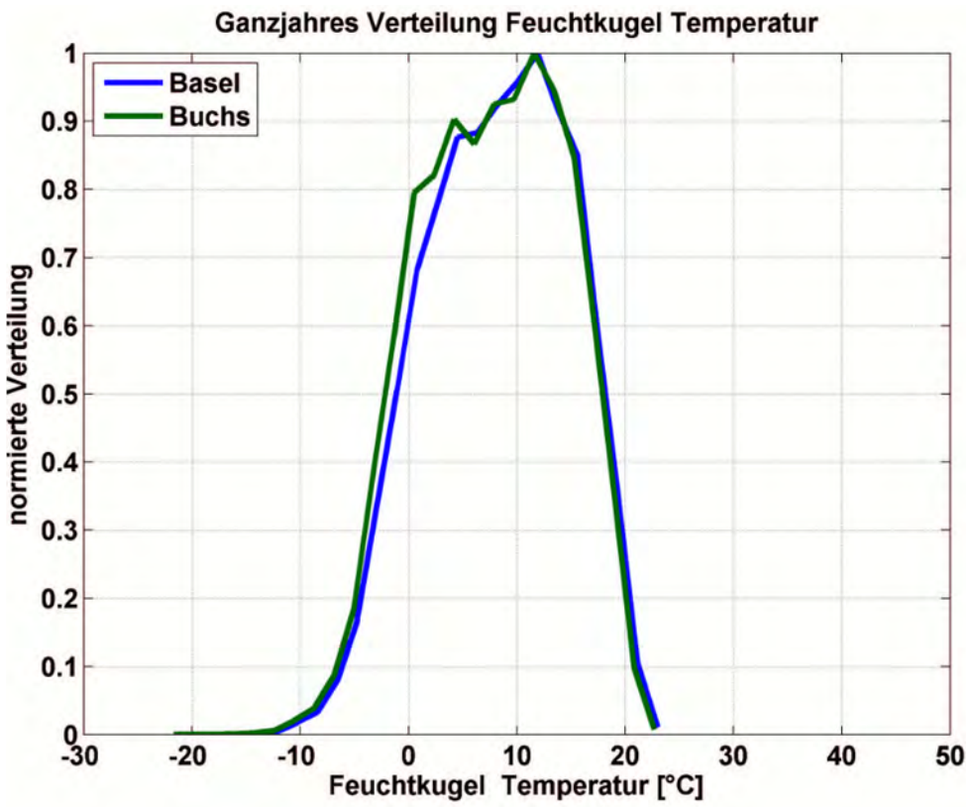
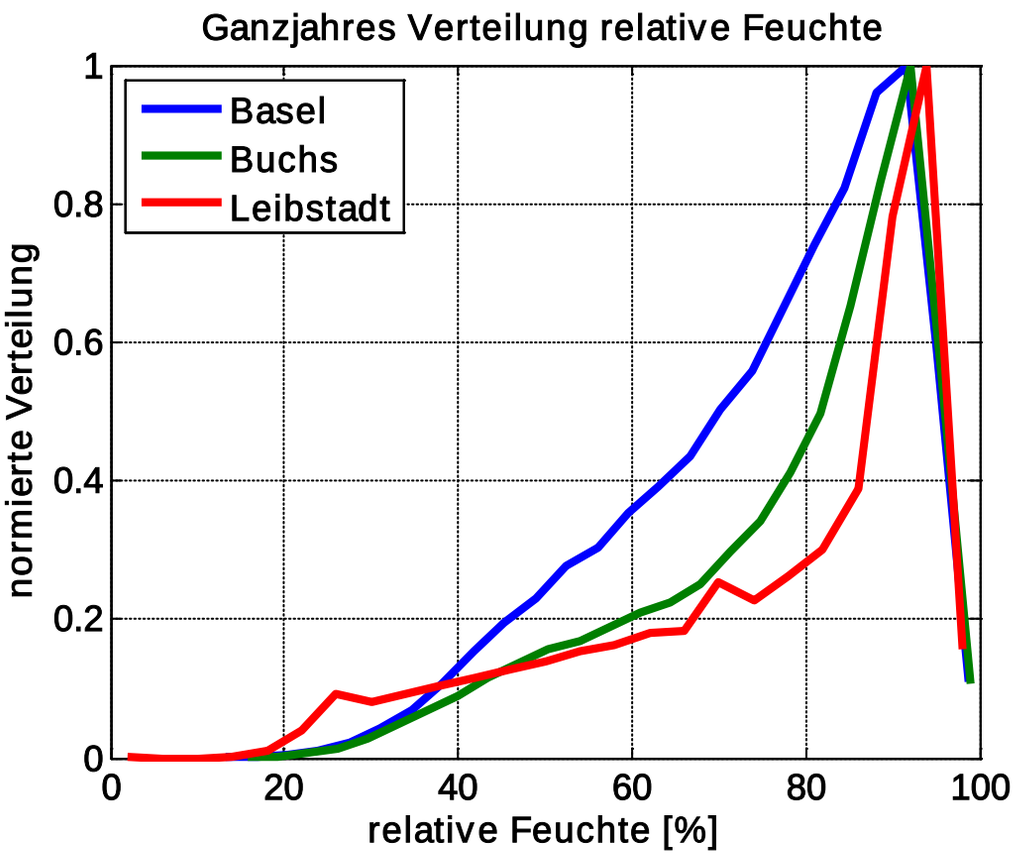


Abbildung 3.4-3: Normierte Verteilung der relativen Feuchte in der Periode 1987-2007 für Basel und Buchs sowie in der Periode 2002-2006 für Leibstadt



Die Ganzjahresverteilung (Abbildung 3.4-3) zeigt eine Häufung der Werte für alle Stationen im Bereich 92-96%. Zu einer Sättigung (rel. Feuchte = 100%) auf der Messhöhe kommt es rel. selten. Die Sättigung findet ein paar hundert Meter weiter oben in der Atmosphäre statt. Der Grund, dass in Leibstadt viel mehr Werte im Bereich 92-96% vorhanden sind als in Buchs und Basel, liegt darin, dass der Standort direkt am Fluss liegt. Beznau ist dadurch eher mit Leibstadt zu vergleichen als mit Buchs AG. Sie liegen nahe beieinander und direkt an der Aare bzw. dem Rhein.

Die Temperatur / Feuchtkugel-Temperaturwerte zeigen eine typische schweizerische Verteilung. Andere Regionen in Mitteleuropa weisen stärkere maritime oder kontinentale Einflüsse auf.

Vereisung aus der Luft (Statistik S11)

Für eine Abschätzung der Gefahr von Vereisung von luftbeaufschlagten Anlagen (Komponenten oder Bauten) wurden zwei Bedingungen berücksichtigt:

- Temperatur zwischen -5 °C und 0 °C
- Relative Feuchte > 90%

Dargestellt in den Tabellen sind die Anzahl der Stunden pro Monat bzw. die Häufigkeit pro Monat in Prozent, wo diese Bedingungen zutreffen. Es geht hier um Vereisung aus einer Wolke bzw. aus Nebel (in-cloud icing). Wobei das Risiko einer Vereisung aus Wolken höher ist, weil dort die Wassermenge pro Volumeneinheit höher ist.

Tabelle 3.4-24: Anzahl Stunden pro Monat der Gefahr für Vereisung [h]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Basel	53	41	11	1	0	0	0	0	0	2	25	54
Buchs	58	65	23	4	0	0	0	0	0	5	31	65
Leibstadt	97	82	41	8	0	0	0	0	0	9	34	88

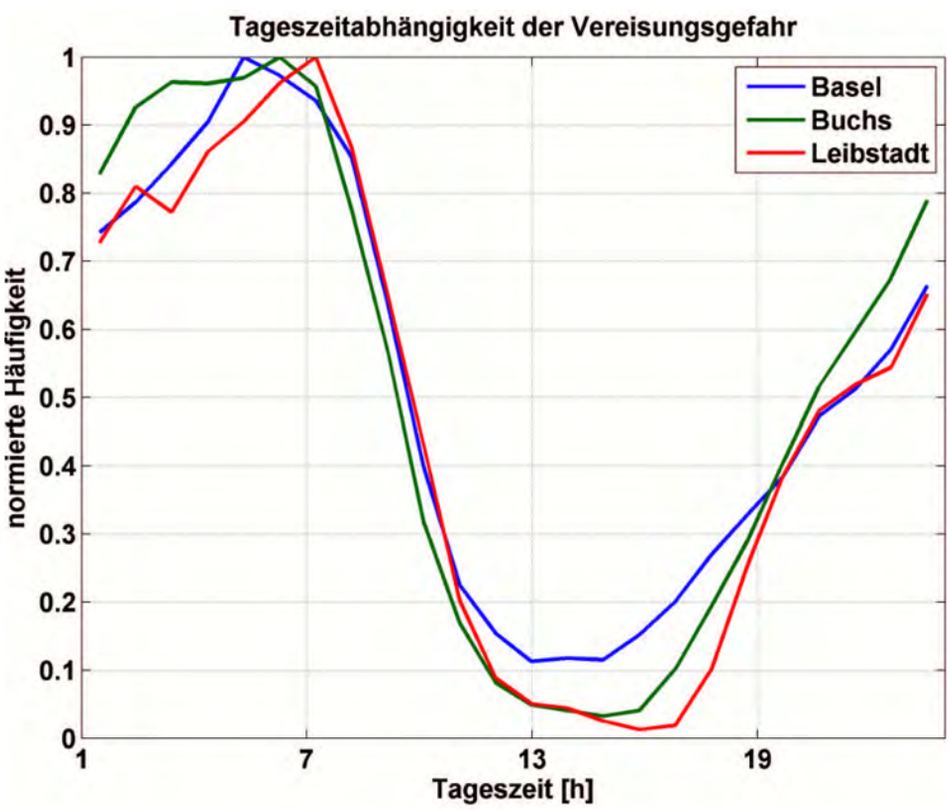
Tabelle 3.4-25: Prozentualer Anteil der Gefahr für Vereisung pro Monat [%]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Basel	7	6	1	0	0	0	0	0	0	0	4	7
Buchs	8	10	3	1	0	0	0	0	0	1	4	9
Leibstadt	13	12	6	1	0	0	0	0	0	1	5	12

Tabelle 3.4-26: Prozentualer zeitlicher Jahresanteil der Gefahr der Vereisung [%]

Basel	Buchs	Leibstadt
2.1	2.9	4.1

Abbildung 3.4-4: Verteilung der Vereisungsgefahr in Funktion der Tageszeit



Mit einer potentiellen Vereisung ist zu rechnen vom Spätherbst bis in den Frühling mit einer zeitlichen Häufigkeit von bis zu 13%. Es ist aber nicht zu erwarten, dass eine Vereisung immer stattfindet, wenn diese Bedingungen eintreffen. Die Vereisungsgefahr zeigt einen deutlichen Tagesgang mit einem Maximum in den frühen Morgenstunden.

Beznau ist von der Lokalität mit Leibstadt vergleichbar, da beide Orte nahe beieinander und auch direkt an der Aare bzw. dem Rhein liegen. Deshalb wird eine ähnliche Verteilung der relativen Feuchte erwartet.

Das Vereisungspotential wird bei der Auslegung von luftbeaufschlagten Komponenten berücksichtigt. Bei den Ansaugöffnungen von Lüftungsanlagen oder bei mechanisch belüfteten Kühlzellen wird die Luft mechanisch antransportiert. Bei anderen Komponenten oder Bauten (z.B. Freileitungen) ist ein gleichzeitiges Auftreten von Wind notwendig, was eine niedrigere Häufigkeit bedeutet.

Die Tallage in Beznau bedeutet eine relativ hohe Häufigkeit von Zeitperioden mit potentieller Vereisungsgefahr.

3.4.5.3 Atmosphärischer Druck

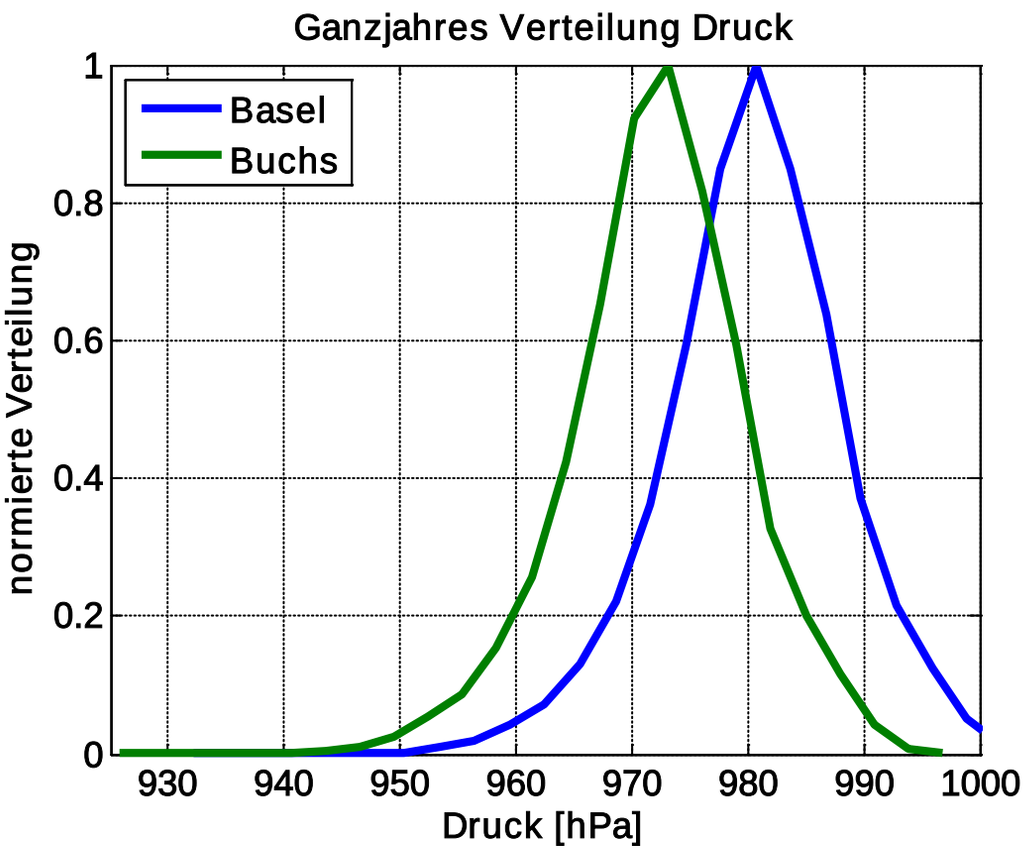
Historische Minima und Maxima (Statistik S12)

Tabelle 3.4-27: Historischer Maximal- / Minimal-Druck

Ort	Zeitperiode	Maximum (Jahr)	Minimum (Jahr)
Basel	1865-1980	1012 hPa (1882)	938 hPa (1976)
Basel	1981-2007	1007 hPa (1993)	931 hPa (1992)
Buchs	1984-2007	998 hPa (1990)	924 hPa (1989)

Die Station Buchs zeigt leicht tiefere Werte gegenüber Basel und Leibstadt. Der atmosphärische Druck ist abhängig von der Höhenlage der Messstation. An Orten gleicher Höhe über Meer werden gleiche Drücke gemessen. Buchs liegt etwas höher über Meer als die beiden anderen Orte und weist im Allgemeinen tiefere Drücke aus.

Abbildung 3.4-5: Normierte Verteilung des atmosphärischen Drucks in der Periode 1987-2007 für Basel und Buchs



Die Station Buchs zeigt leicht tiefere Werte gegenüber Basel. Der atmosphärische Druck ist abhängig von der Höhenlage der Messstation. An Orten gleicher Höhe über Meer werden gleiche Drücke gemessen. Buchs liegt etwas höher über Meer als Basel.

Vom Luftdruck geht keine Gefahr für eine Kernanlage aus. Bei der Auslegung von Lüftungsanlagen zur Gewährleistung eines Raumunterdrucks bezogen auf den Umgebungsdruck, zur Dimensionierung von Abluftkaminen oder zur Auslegung von Kompressoren kann es unter Umständen notwendig sein, die Extremwerte des Umgebungsdrucks zu bestimmen.

Der Absolutluftdruck wird auch bei der nicht sicherheitsrelevanten Prozessdatenvalidierung des Hauptkreislaufes angewendet.

3.4.5.4 Windböen, -Geschwindigkeit und Windrosen

Historische maximale Windböen (Statistik S13)

Tabelle 3.4-28: Historische maximale Windböen

Ort		Zeitperiode	Maximum (Jahr)
Basel	(16 m ü.B.)	1981-2007	40.9 m/s (1999)
Buchs	(10 m ü.B.)	1984-2007	27.1 m/s (1990)
Leibstadt	(10 m ü.B.)	1987-2007	29.6 m/s (1999)
Leibstadt	(110 m ü.B.)	1987-2007	38.4 m/s (1999)
PSI	(70 m ü.B.)	1992-2007	32.1 m/s (1999)

Maximale Momentanwerte-Windböen (Statistik S14)

Tabelle 3.4-29: Monatliche maximale Windböen Basel 1981-2007 16 m ü.B., Buchs 1984-2007 10 m ü.B., Leibstadt 1987-2007 10 und 110 m ü.B. und PSI 1992-2007 70 m ü.B. in [m/s]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Basel 16 m	40.3	38.6	38.3	31.1	26.9	30.3	26.1	31.8	26.5	33.7	34.4	40.9	40.9
Buchs 10 m	26.2	27.1	25.0	22.4	21.1	21.0	23.9	25.7	23.9	25.2	24.6	25.3	27.1
Leibstadt 10 m	23.6	24.4	23.1	18.5	17.7	17.2	15.3	17.0	15.3	21.9	19.7	29.6	29.6
Leibstadt 110 m	29.3	32.2	28.4	23.6	22.4	22.9	20.8	24.4	20.9	27.8	25.2	38.4	38.4
PSI 70 m	29.3	23.9	25.4	21.1	23.2	24.3	22.4	25.5	23.9	27.9	23.9	32.1	32.1

Höchste Stundenmittelwerte der Windgeschwindigkeit (Statistik S15-S17)

Tabelle 3.4-30: Höchste Stundenmittelwerte der Windgeschwindigkeit Basel 1981-2007 16 m ü.B., Buchs 1984-2007 10 m ü.B., Beznau 1987-2007 10 m und 70 m ü.B., Leibstadt 1987-2007 10 und 110 m ü.B. und PSI 1992-2007 70 m ü.B. in [m/s]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Basel 16 m	15.3	19.5	14.6	12.0	10.6	10.4	9.7	8.7	9.0	13.8	23.0	18.8	23.0
Buchs 10 m	10.0	11.3	9.1	7.5	7.9	7.6	6.6	7.2	7.4	9.1	10.2	10.3	11.3
Beznau 10 m	7.8	7.5	7.9	7.7	7.8	7.5	7.1	6.8	6.6	7.8	5.9	14.0	14.0
Beznau 70 m	12.3	12.1	11.6	11.4	11.7	11.9	11.2	11.0	21.6	15.9	18.5	11.4	21.6
Leibstadt 10 m	13.9	14.0	12.3	9.9	10.6	10.4	8.3	9.9	8.6	13.1	10.6	17.2	17.2
Leibstadt 110 m	21.1	21.1	19.0	15.1	16.7	16.5	14.0	15.8	14.6	20.6	16.9	26.2	26.2
PSI 70 m	17.4	15.8	14.7	13.6	12.6	12.4	12.3	12.3	13.2	15.9	14.1	17.0	17.4

Die mittleren Monatswerte und die mittleren Monatsminima bzw. Monatsmaxima wurden in Kapitel 3.4.12 zusammengefasst.

GEV- Verteilung der Böenspitzen (Statistik S20)

Abbildung 3.4-6: GEV-Verteilung der Böenspitzen für Basel 1981-2007 16 m, Buchs 1984-2007 10 m, Leibstadt 1987-2007 10 m und 110 m und PSI 1992-2007 70 m ü.B. [m/s]

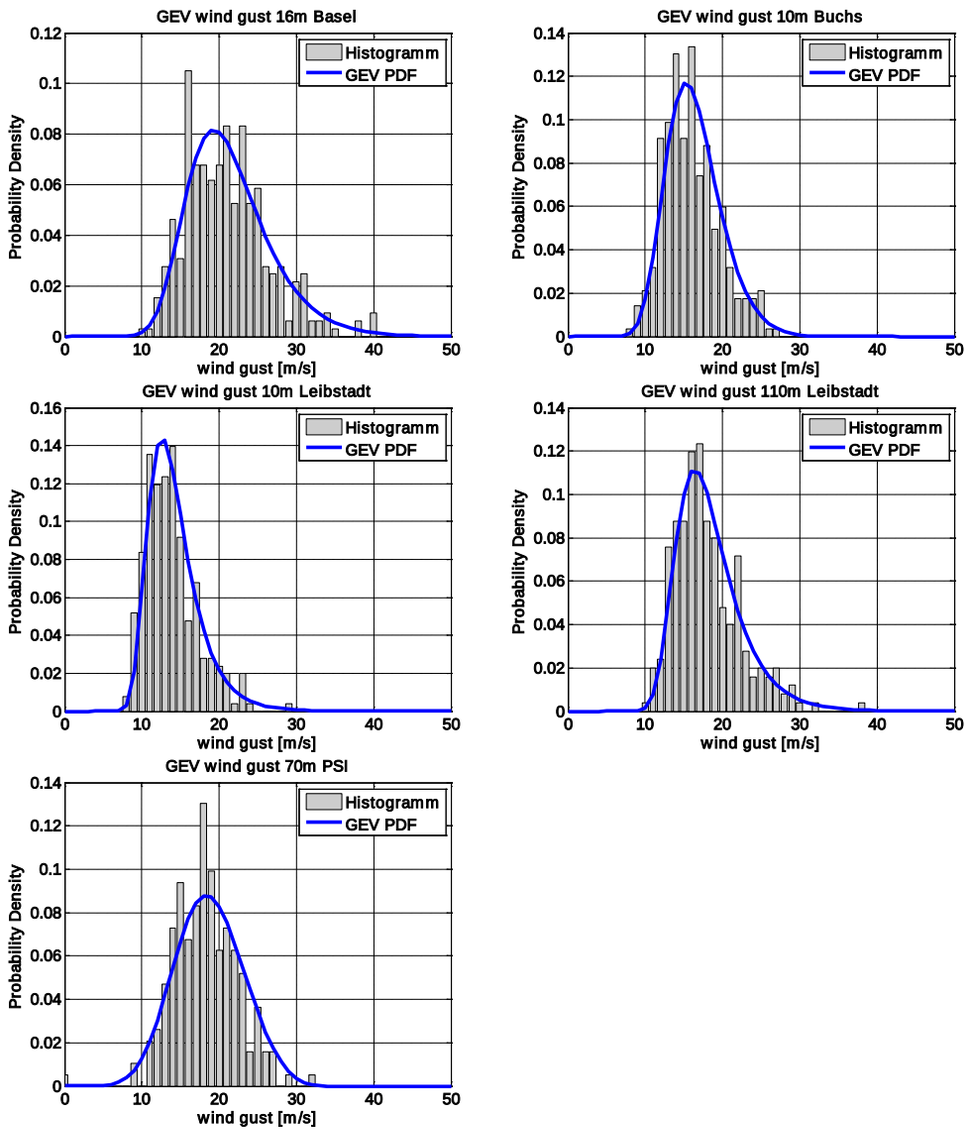


Tabelle 3.4-31: Parameter der GEV-Verteilung

Parameter	Basel 16 m	Buchs 10 m	Leibstadt 10 m	Leibstadt 110 m	PSI 70 m
k	-0.0478	-0.1117	0.0394	0.0189	-0.2574
σ	4.5079	3.1584	2.5479	3.2990	4.3310
μ	19.0870	14.9116	12.6979	16.4647	17.1062

GEV-Verteilung der 10-min Mittelwerte (Statistik S21)

Abbildung 3.4-7: GEV-Verteilung des maximalen 10-min. Mittels der Windgeschwindigkeit für Beznau 1987-2007 10 m und 70 m, Leibstadt 1987-2007 10 m und 110 m und PSI 1992-2007 70 m ü.B. [m/s].

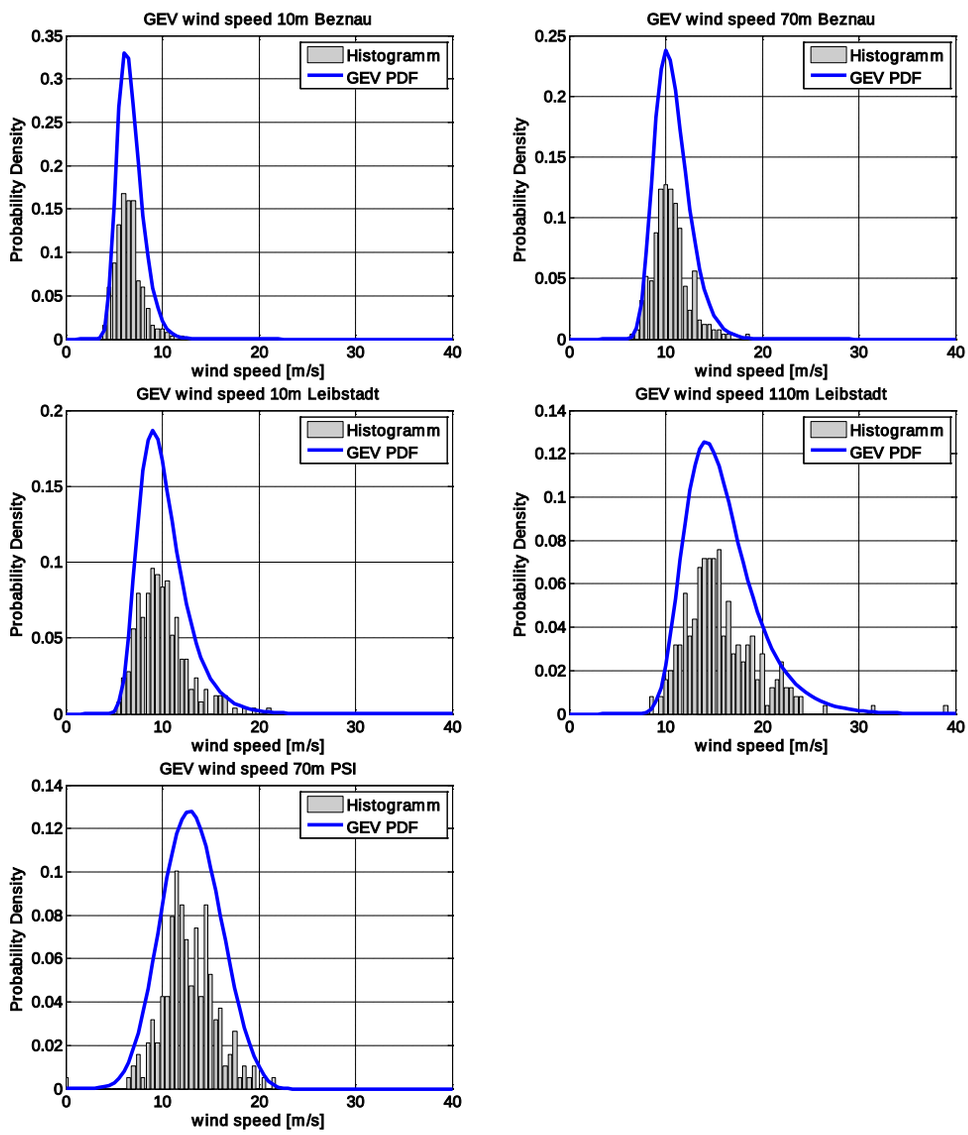
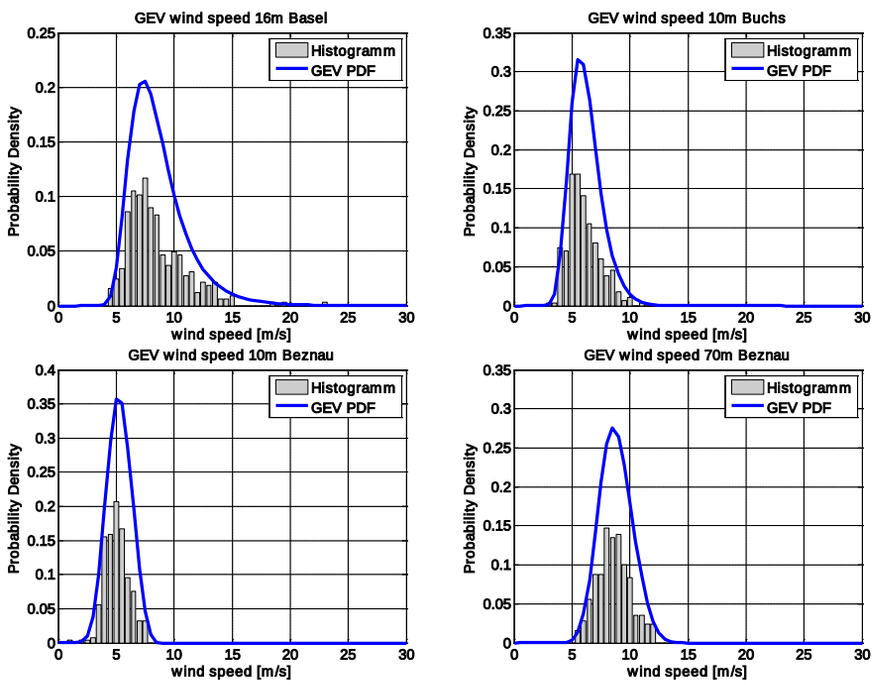


Tabelle 3.4-32: Parameter der GEV-Verteilung

Parameter	Beznau 10 m	Beznau 70 m	Leibstadt 10 m	Leibstadt 110 m	PSI 70 m
k	-0.0636	-0.0760	0.0091	0.0046	-0.2647
σ	1.1014	1.5510	1.9711	2.9332	2.9854
μ	6.1215	9.9385	8.9999	14.1595	11.9133

GEV-Verteilung der Stundenmittelwerte (Statistik S22)

Abbildung 3.4-8: GEV-Verteilung für das maximale Stundenmittel der Windgeschwindigkeit für Basel 1981-2007 16 m und Buchs 1984-2007 10 m, Beznau 1987-2008 10 m und 70 m, Leibstadt 1987-2007 10 m und 110 m und PSI 1992-2007 70 m ü.B. [m/s]



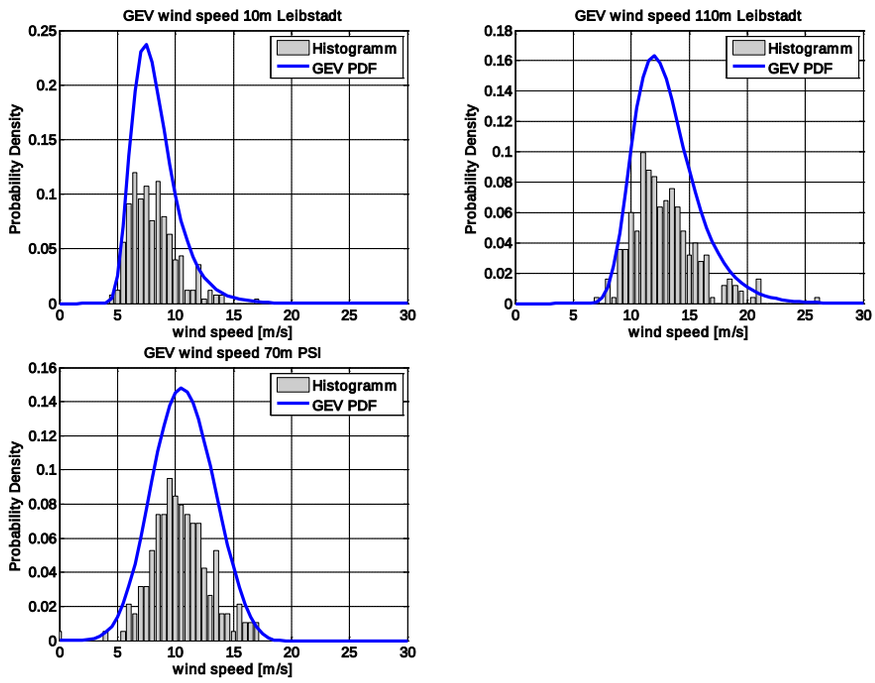


Tabelle 3.4-33: Parameter der GEV-Verteilung

Parameter	Basel 16 m	Buchs 10 m	Beznau 10 m	Beznau 70 m
k	0.0818	-0.0591	-0.2724	-0.2159
σ	1.7844	1.1521	1.0564	1.3672
μ	7.4786	5.6215	4.8816	8.2421

Parameter	Leibstadt 10 m	Leibstadt 110 m	PSI 70 m
k	0.0208	-0.0267	-0.2756
σ	1.5451	2.2531	2.5955
μ	7.4042	11.8579	9.7446

Mehrjahresereignisse für Böenspitzen und Winddruck (Statistik S23)

Tabelle 3.4-34: Erwartete maximale Böenspitzen in Basel, Buchs, Leibstadt und beim PSI für verschiedene Wiederkehrperioden und der zu erwartende Winddruck p_W. (KI = Konfidenzintervall)

Basel 16 m	50-jährig	100-jährig	200-jährig	1000-jährig	10'000-jährig
Böenspitze	43.9 m/s	46.2 m/s	48.4 m/s	53.2 m/s	59.5 m/s
KI 95% [m/s]	[36.6 ; 54.5]	[37.9 ; 58.7]	[39.0 ; 63.0]	[41.2 ; 73.3]	[43.7 ; 89.1]
Winddruck	1747 N/m^2	1932 N/m^2	2119 N/m^2	2562 N/m^2	3202 N/m^2

Buchs 10 m	50-jährig	100-jährig	200-jährig	1000-jährig	10'000-jährig
Böenspitze	29.3 m/s	30.4 m/s	31.3 m/s	33.3 m/s	35.5 m/s
KI 95% [m/s]	[25.0 ; 35.5]	[25.6 ; 37.4]	[26.1 ; 39.3]	[27.0 ; 43.6]	[27.9 ; 49.4]
Winddruck	773 N/m^2	828 N/m^2	881 N/m^2	994 N/m^2	1133 N/m^2

Leibstadt 10 m	50-jährig	100-jährig	200-jährig	1000-jährig	10'000-jährig
Böenspitze	31.2 m/s	33.5 m/s	35.9 m/s	41.7 m/s	50.5 m/s
KI 95% [m/s]	[24.5 ; 42.3]	[25.6 ; 47.3]	[26.6 ; 52.8]	[28.8 ; 67.9]	[31.6 ; 96.4]
Winddruck	885 N/m^2	1020 N/m^2	1169 N/m^2	1574 N/m^2	2318 N/m^2

Leibstadt 110 m	50-jährig	100-jährig	200-jährig	1000-jährig	10'000-jährig
Böenspitze	38.9 m/s	41.5 m/s	44.1 m/s	50.4 m/s	59.7 m/s
KI 95% [m/s]	[31.1 ; 51.3]	[32.3 ; 56.8]	[33.5 ; 62.7]	[36.0 ; 78.3]	[39.1 ; 106.3]
Winddruck	1372 N/m^2	1562 N/m^2	1767 N/m^2	2302 N/m^2	3228 N/m^2

PSI 70 m	50-jährig	100-jährig	200-jährig	1000-jährig	10'000-jährig
Böenspitze	30.7 m/s	31.2 m/s	31.7 m/s	32.4 m/s	33.1 m/s
KI 95% [m/s]	[27.5 ; 34.6]	[27.8 ; 35.4]	[28.1 ; 36.1]	[28.6 ; 37.4]	[29.0 ; 38.6]
Winddruck	854 N/m^2	884 N/m^2	910 N/m^2	954 N/m^2	994 N/m^2

Mehrjahresereignisse für max. 10-min. Mittelwerte (Statistik S24)

Tabelle 3.4-35: Erwartetes maximales 10-min. Mittel Beznau 10 m und 70 m, Leibstadt 10 m und 110 m und PSI 70 m ü.B. für verschiedene Wiederkehrperioden und der zu erwartende Winddruck p_W.. (KI = Konfidenzintervall)

Beznau 10 m	50-jährig	100-jährig	200-jährig	1000-jährig	10'000-jährig
10-min. Mittel	11.9 m/s	12.4 m/s	12.9 m/s	13.9 m/s	15.2 m/s
KI 95% [m/s]	[10.2 ; 14.4]	[10.5 ; 15.3]	[10.7 ; 16.2]	[11.2 ; 18.4]	[11.7 ; 21.6]
Winddruck	129 N/m^2	140 N/m^2	151 N/m^2	176 N/m^2	210 N/m^2

Beznau 70 m	50-jährig	100-jährig	200-jährig	1000-jährig	10'000-jährig
10-min. Mittel	17.8 m/s	18.4 m/s	19.1 m/s	20.4 m/s	22.0 m/s
KI 95% [m/s]	[15.6 ; 20.9]	[15.9 ; 22.1]	[16.2 ; 23.2]	[16.9 ; 25.9]	[17.6 ; 29.7]
Winddruck	287 N/m^2	308 N/m^2	239 N/m^2	376 N/m^2	437 N/m^2

Leibstadt 10 m	50-jährig	100-jährig	200-jährig	1000-jährig	10'000-jährig
10-min. Mittel	22.0 m/s	23.4 m/s	24.9 m/s	28.3 m/s	33.3 m/s
KI 95% [m/s]	[17.6 ; 28.7]	[18.4 ; 31.6]	[19.0 ; 34.8]	[20.5 ; 43.0]	[22.2 ; 57.1]
Winddruck	425 N/m^2	483 N/m^2	545 N/m^2	728 N/m^2	1007 N/m^2

Leibstadt 110 m	50-jährig	100-jährig	200-jährig	1000-jährig	10'000-jährig
10-min. Mittel	33.2 m/s	35.3 m/s	37.4 m/s	42.3 m/s	49.4 m/s
KI 95% [m/s]	[27.4 ; 41.6]	[28.5 ; 45.5]	[29.6 ; 49.6]	[32.0 ; 60.0]	[34.8 ; 77.4]
Winddruck	968 N/m^2	1095 N/m^2	1229 N/m^2	1624 N/m^2	2214 N/m^2

PSI 70 m	50-jährig	100-jährig	200-jährig	1000-jährig	10'000-jährig
10-min Mittel	21.1 m/s	21.5 m/s	21.8 m/s	22.3 m/s	22.7 m/s
KI 95% [m/s]	[18.9 ; 23.9]	[19.1 ; 24.4]	[19.3 ; 24.9]	[19.6 ; 25.7]	[19.8 ; 26.5]
Winddruck	404 N/m^2	418 N/m^2	429 N/m^2	449 N/m^2	467 N/m^2

Mehrjahresereignisse für Stundenmittelwerte (Statistik S25)

Tabelle 3.4-36: Erwartetes maximales Stunden-Mittel Basel 10 m, Buchs 10 m, Beznau 10 m und 70 m, Leibstadt 10 m und 110 m und PSI 70 m ü.B. für verschiedene Wiederkehrperioden und der zu erwartende Winddruck. (KI = Konfidenzintervall)

Basel 16 m	50-jährig	100-jährig	200-jährig	1000-jährig	10'000-jährig
1 h Mittel	22.4 m/s	24.6 m/s	26.9 m/s	32.7 m/s	42.5 m/s
KI 95% [m/s]	[17.6 ; 29.9]	[18.8 ; 34.0]	[19.9 ; 38.6]	[22.5 ; 51.5]	[26.2 ; 77.2]
Winddruck	457 N/m^2	549 N/m^2	655 N/m^2	968 N/m^2	1631 N/m^2

Buchs 10 m	50-jährig	100-jährig	200-jährig	1000-jährig	10'000-jährig
1 h Mittel	11.8 m/s	12.3 m/s	12.8 m/s	13.9 m/s	15.4 m/s
KI 95% [m/s]	[9.8 ; 14.7]	[10.1 ; 15.7]	[10.3 ; 16.8]	[10.8 ; 19.4]	[11.3 ; 23.3]
Winddruck	124 N/m^2	136 N/m^2	147 N/m^2	174 N/m^2	212 N/m^2

Beznau 10 m	50-jährig	100-jährig	200-jährig	1000-jährig	10'000-jährig
1 h Mittel	8.1 m/s	8.2 m/s	8.3 m/s	8.5 m/s	8.6 m/s
KI 95% [m/s]	[7.3 ; 9.1]	[7.3 ; 9.3]	[7.4 ; 9.5]	[7.5 ; 9.8]	[7.5 ; 10.1]
Winddruck	59 N/m^2	61 N/m^2	62 N/m^2	65 N/m^2	67 N/m^2

Beznau 70 m	50-jährig	100-jährig	200-jährig	1000-jährig	10'000-jährig
1 h Mittel	13.0 m/s	13.2 m/s	13.4 m/s	13.7 m/s	14.1 m/s
KI 95% [m/s]	[11.5 ; 15.0]	[11.7 ; 15.5]	[11.7 ; 15.9]	[11.9 ; 16.7]	[12.0 ; 17.6]
Winddruck	153 N/m^2	158 N/m^2	163 N/m^2	171 N/m^2	180 N/m^2

Leibstadt 10 m	50-jährig	100-jährig	200-jährig	1000-jährig	10'000-jährig
1 h Mittel	18.0 m/s	19.2 m/s	20.5 m/s	23.4 m/s	27.9 m/s
KI 95% [m/s]	[14.2 ; 24.2]	[14.7 ; 26.9]	[15.3 ; 29.8]	[16.4 ; 37.6]	[17.8 ; 51.7]
Winddruck	283.9 N/m^2	324 N/m^2	368 N/m^2	498 N/m^2	704 N/m^2

Leibstadt 110 m	50-jährig	100-jährig	200-jährig	1000-jährig	10'000-jährig
1 h Mittel	25.1 m/s	26.4 m/s	27.7 m/s	30.6 m/s	34.5 m/s
KI 95% [m/s]	[21.0 ; 13.1]	[21.7 ; 33.6]	[22.3 ; 36.2]	[23.6 ; 42.5]	[25.2 ; 52.6]
Winddruck	554 N/m^2	613 N/m^2	674 N/m^2	848 N/m^2	1079 N/m^2

PSI 70 m	50-jährig	100-jährig	200-jährig	1000-jährig	10'000-jährig
1 h Mittel	17.5 m/s	17.8 m/s	18.1 m/s	18.5 m/s	18.8 m/s
KI 95% [m/s]	[15.4 ; 20.3]	[15.6 ; 20.8]	[15.7 ; 21.2]	[15.9 ; 22.0]	[16.1 ; 22.7]
Winddruck	279 N/m^2	288 N/m^2	296 N/m^2	309 N/m^2	320 N/m^2

Auslegungswerte und Mehrjahresereignisse (Statistik S26; S27)

Der "Design wind speed" ist definiert gemäss NEI "Plant Parameter Definitions" als "fastest mile of wind with 100-year return period". Es wird aber vermehrt die Windgeschwindigkeit der Böenspitze als Auslegungsparameter angewendet. In der Regel ist die "Fastest Mile"-Windgeschwindigkeit etwa 20% niedriger als die Böenspitze.

Da für Beznau keine Windböenmessungen vorhanden sind, wurde mit den PSI Böen Daten verglichen. Das PSI liegt nur etwa 1-1.5 km südlich vom Standort Beznau entfernt an der Aare. Der 10-min Wert (Statistik S24) für ein 100-jähriges Ereignis ist beim PSI um 3.1 m/s höher und der Stundenwert (Statistik S25) um 4.6 m/s höher als in Beznau, jeweils in 70 m Höhe. Die extremen Windgeschwindigkeiten sind also am PSI leicht höher. Der Standortvergleich hat gezeigt, dass der Wind beim PSI in 70 m Höhe im Mittel um 0.25 m/s stärker bläst, und das Bestimmtheitsmass von 0.8 deutet auf ein ähnliches Windregime hin. Die Böenspitzen für Beznau dürften somit leicht tiefer sein als am PSI.

Das 100-jährige Ereignis (Böenspitze) wurde in der 16-jährigen Datenreihe vom PSI einmal überschritten, wie Abbildung 3.4-9 zeigt. Die Eintretenswahrscheinlichkeit *p(Z)* des 100-jährigen Ereignisses beträgt 0.08%.

Abbildung 3.4-9: Zeitreihe der monatlichen Böenspitze PSI 70 m ü.M. ab 01/1992 mit den Niveaus der 50-, 100- und 200-jährigen Ereignisse

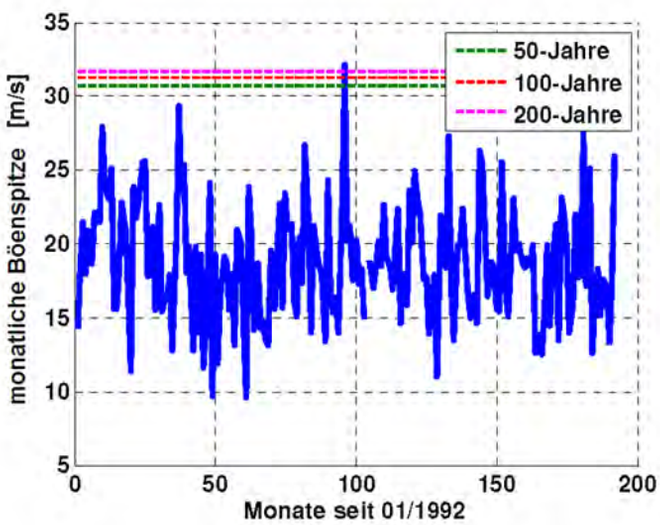


Tabelle 3.4-37: Wahrscheinlichkeit, dass ein Extremereignis eintritt

PSI 70 m ü. B.	50-jährig	100-jährig	200-jährig
Eintretenswahrscheinlichkeit *p(Z)*	0.17%	0.08%	0.04%

Windböen sind Ereignisse, welche zu Gebäudeschäden und vielleicht zu einem Störfall führen können. Das gleiche gilt für Tornados welche in Kapitel 3.4.5.7 betrachtet werden. Die Anlage muss gegen solche Ereignisse entsprechend geschützt werden. Starke Winde werden bei der Auslegung von Bauten und Komponenten berücksichtigt.

Für die Berechnung der Einwirkung von Wind auf Bauten wird auf SIA Norm 261[16], Kapitel 6 "Wind" und Kommentare dazu[17] verwiesen (vgl. auch Kapitel 3.4.8.2).

Windrosen (Statistik P7)

Die Windrosen beschreiben in anschaulicher Form die Verteilung der Windrichtung und Windgeschwindigkeit über die betrachtete Zeitperiode. Sie werden bei der Beschreibung von Ausbreitungsverhältnissen angewendet.

[16] SIA Norm 261:2003, Einwirkung auf Tragwerke

[17] SIA Dokumentation D0188, Wind, Kommentar zum Kapitel 6 der Normen SIA 261 und 261/1 (2003)

Abbildung 3.4-10: Windrose der Hauptwindrichtung Basel 1981-2007 (ganzes Jahr)

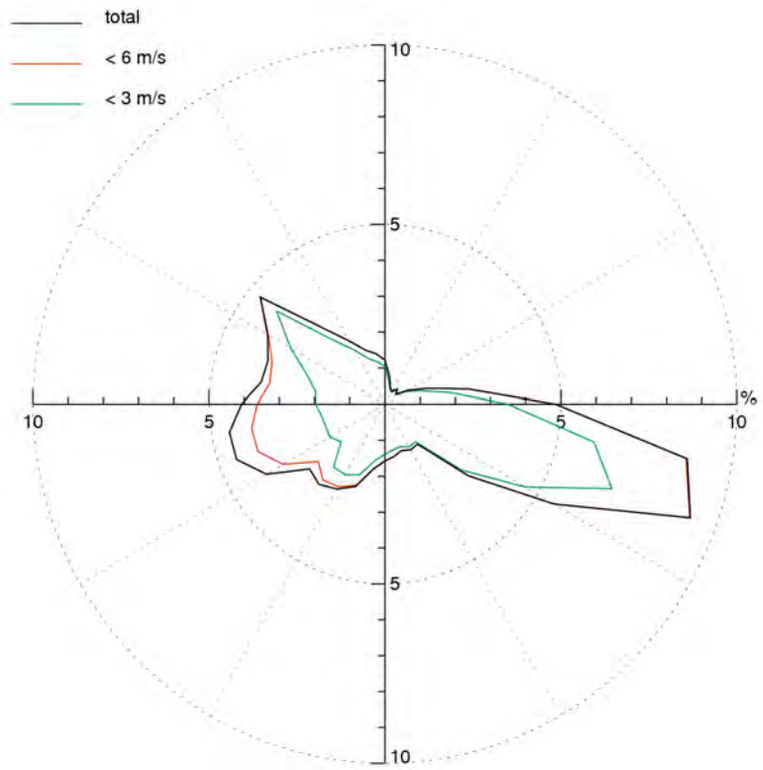


Abbildung 3.4-11: Windrose der Hauptwindrichtung Buchs 1984-2007 (ganzes Jahr)

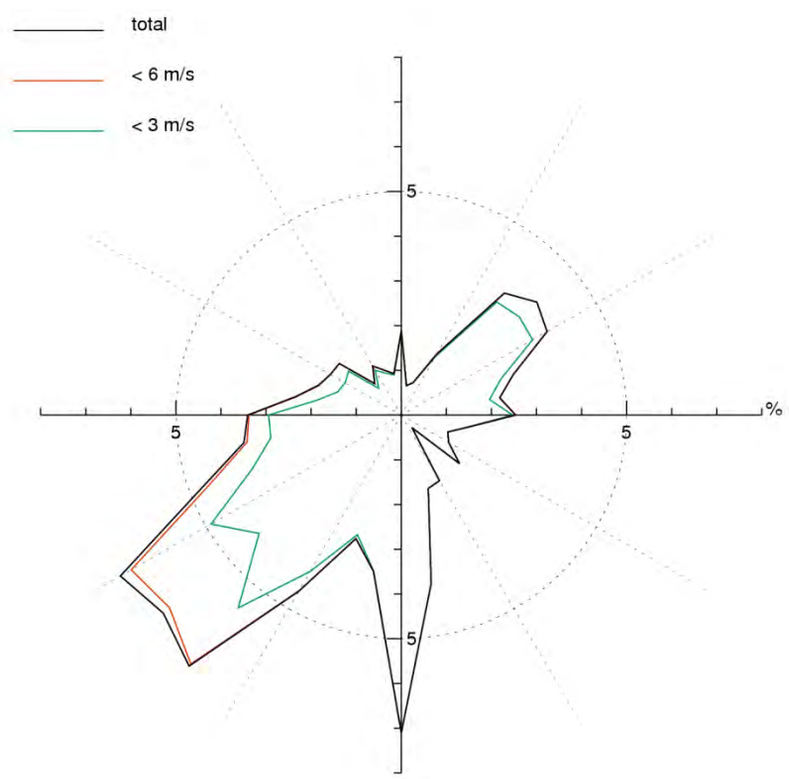


Abbildung 3.4-12: Windrose der Hauptwindrichtung Beznau 1987-2007 10 m ü.B.

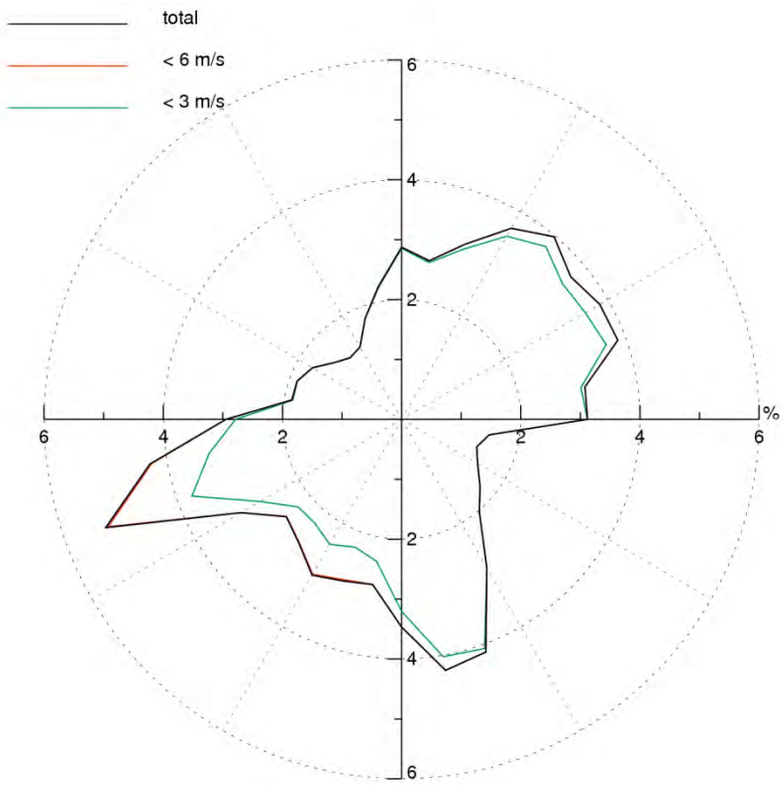


Abbildung 3.4-13: Windrose der Hauptwindrichtung Beznau 1987-2007 70 m ü.B. (ganzes Jahr)

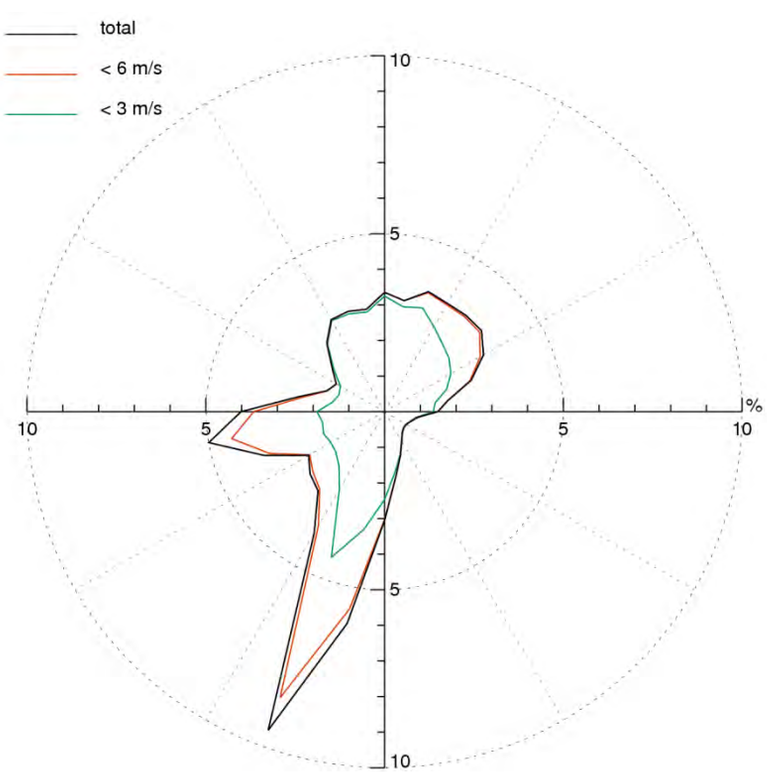
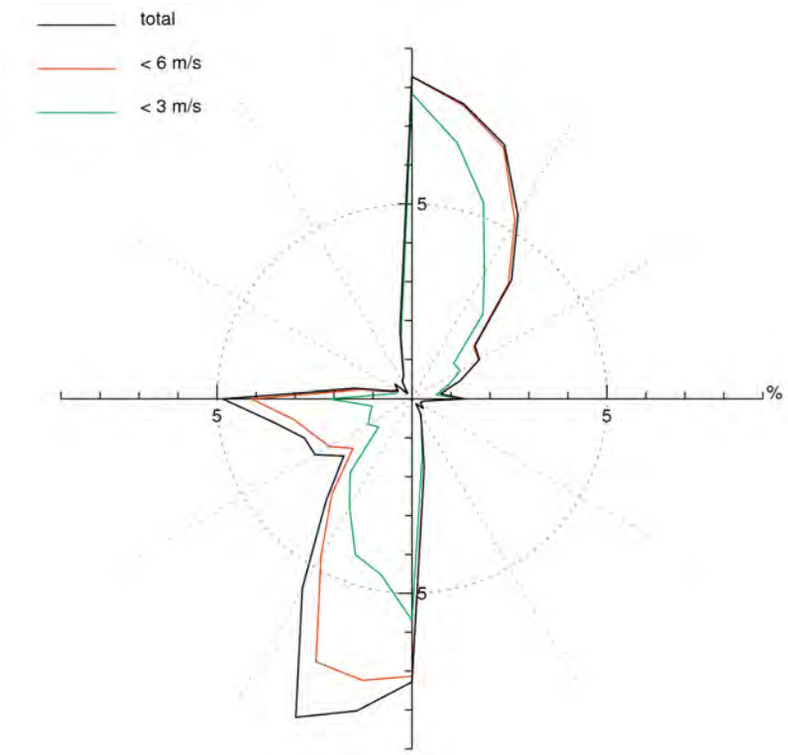


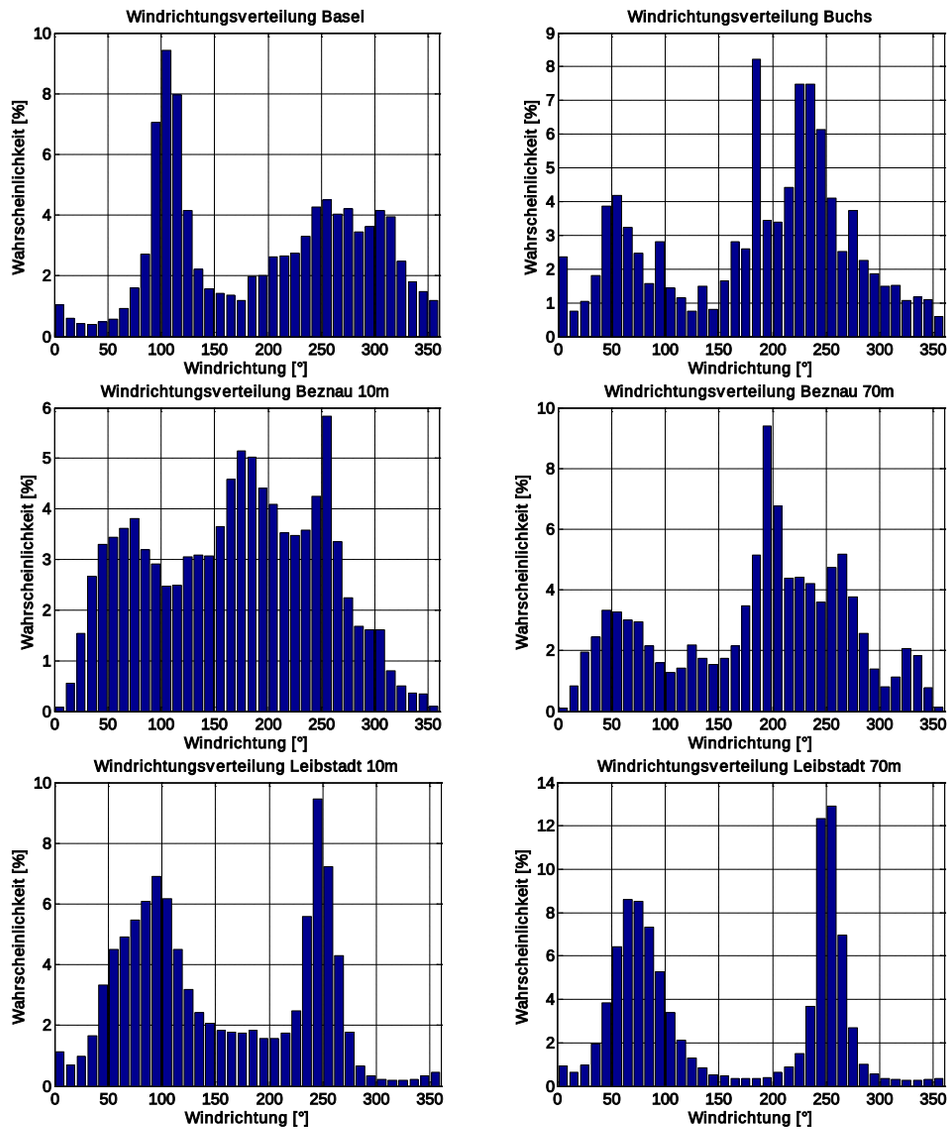
Abbildung 3.4-14: Windrose der Hauptwindrichtung PSI 1992-2007 70 m ü.B. (ganzes Jahr)



Die Windrosen der Hauptwindrichtung pro Monat für die verschiedenen Standorte sind in Kapitel 3.4.13 dargestellt.

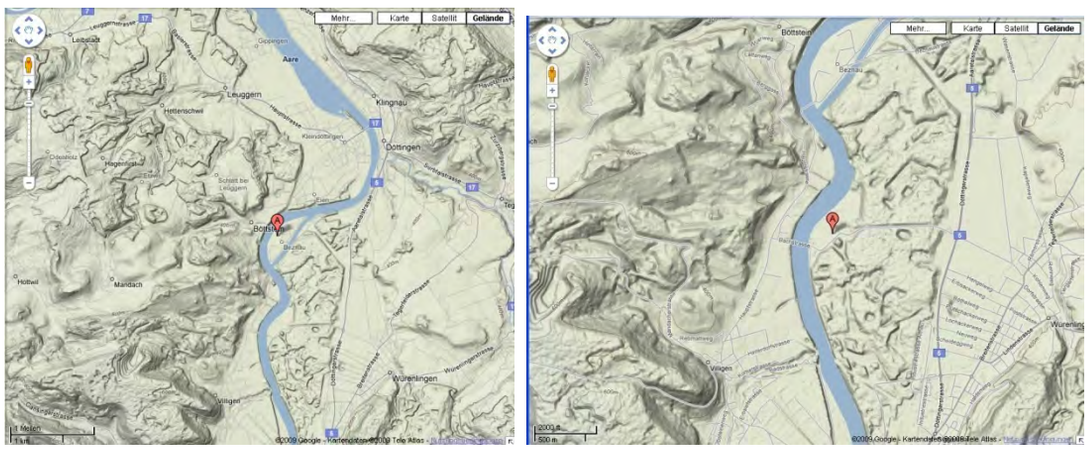
Windrichtungsverteilung (Statistik P9)

Abbildung 3.4-15: Jährliche Windrichtungsverteilung für Basel, Buchs und Beznau 10 und 70 m ü.B. und Leibstadt 10 und 70 m ü.B.



Die Windrosen sind stark abhängig von der Topografie. Täler und Gebirge haben einen sehr grossen Einfluss. Im Mittelland dürften die Windrosen auf ca. 1000-1500 m ü.M. "homogen" werden. Homogen heisst, dass die Windrosen nicht mehr durch die lokale Topographie beeinflusst werden. Das bedeutet, die Windrosen von verschieden Stationen in der gleichen Region sehen gleich aus. Je grösser die Region, desto grösser ist die Höhe, bei welcher die homogene Verteilung zu erwarten ist.

Abbildung 3.4-16: Lage der Messmasten der Standorte Beznau (links) und PSI (rechts)



Die Windrosen von Beznau und dem PSI sind geprägt durch das umliegende Gelände (Abbildung 3.4-16). Bei Beznau zeigt sich eine Kanalisierung aus Süden durch das Aaretal und aus Westen durch die Täler am westlichen Aareufer. Von Norden bis Osten ist die Windrose gleichmässig verteilt. Hier ist auch das Gelände offen. Beim PSI zeigt sich eine Kanalisierung von Süd-Südwest nach Nord-Nordost entlang dem Verlauf des Aaretals. Das westliche und östliche Aare-Ufer ist hier geprägt von Hügeln.

3.4.5.5 Niederschlag (Regen, Schnee, Hagel)

Niederschlag führt nicht direkt zu Störfällen. Langdauernder Niederschlag kann aber zu Hochwasser und Überflutung führen. Dies wird in Kapitel 3.5 betrachtet. Bei der Dimensionierung von Systemen und Bauten zur Entwässerung von Dächern und Areal bzw. der Behandlung von Abwasser ist die Berücksichtigung der charakteristischen Niederschlagsmengen und deren Extremwerte notwendig. Für die Dimensionierung von Dachentwässerungen sind kurzzeitige Mengen (z.B. 5 min) von Relevanz; für die Dimensionierung von Abfangbecken eher mittelfristige Werte.

Historisch höchste Stundenwerte (Statistik S29)

Tabelle 3.4-38: Historische stündliche Maximum-Niederschlagsmenge [mm]

Ort	Zeitperiode	Maximum (Jahr)
Basel	1981-2007	39.6 mm (1991)
Buchs	1984-2007	44.7 mm (1986)
Beznau	1987-2007	41.1 mm (1990)
Leibstadt	1987-2007	30.3 mm (1997)

Höchste Tagesmengen (Statistik S30)

Tabelle 3.4-39: Höchste Tages-Niederschlagsmengen [mm]

Ort	Periode	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Basel	1865-1980	49.0	34.5	51.2	49.2	94.8	72.7	56.0	57.8	59.8	50.0	55.5	39.6	94.8
Basel	1981-2007	24.5	27.7	50.6	39.8	55.3	45.7	87.6	61.0	53.8	48.8	51.2	33.1	87.6
Buchs	1984-2007	47.8	38.4	39.6	42.6	106.7	60.5	56.8	69.5	78.9	51.6	43.6	52.2	106.7
Beznau	1987-2007	46.2	46.6	39.3	47.0	46.0	46.0	44.1	46.0	31.3	41.0	56.3	47.3	56.3
Leibstadt	1987-2007	87.3	53.0	48.0	48.7	43.5	34.7	38.7	40.7	32.7	47.3	62.7	71.0	87.3

Höchste 5-Tagesmengen (Statistik S31)

Tabelle 3.4-40: Höchste 5 Tages-Niederschlagsmenge [mm]

Ort	Periode	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Basel	1865-1980	83.9	61.5	75.2	67.4	155.2	131.7	99.7	101.9	121.3	77.2	86.9	66.6	155.2
Basel	1981-2007	62.7	35.3	67.3	68.4	88.7	65.1	108.9	131.7	66.8	62.6	56.9	57.1	131.7
Buchs	1984-2007	79.7	82.5	77.4	83.4	154.8	94.3	74.2	107.9	98.0	76.3	72.7	75.1	154.8
Beznau	1987-2007	91.7	117.0	83.1	83.6	93.2	72.4	73.8	75.2	52.6	67.0	78.0	80.3	117.0
Leibstadt	1987-2007	153.4	127.8	88.4	84.0	92.2	91.3	76.7	73.6	75.3	83.5	75.2	108.8	153.4

Niedrigste / höchste Monatsmengen (Statistik S32)

Tabelle 3.4-41: min. / max. monatliche Niederschlagsmenge [mm]

Ort	Periode		Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Basel	1865-1980	Min	4.2	1.5	4.3	0.0	11.8	11.3	7.8	5.6	0.0	1.5	1.8	5.0	0.0
		Max	168.5	153.0	140.3	178.6	307.5	212.5	210.5	203.6	207.5	215.2	220.2	146.2	220.2
Base	1981-2007	Min	7.2	14.4	16.0	2.0	26.6	14.4	26.9	10.3	31.6	5.0	10.5	18.4	2.0
		Max	125.5	86.2	188.9	164.4	173.7	184.6	152.7	196.6	158.5	173.6	177.3	158.0	196.6
Buchs	1984-2007	Min	12.0	11.8	18.5	20.0	24.7	20.0	41.8	7.2	27.4	2.7	15.2	39.8	2.7
		Max	166.3	160.7	225.7	152.7	232.1	198.5	243.3	215.3	176.7	145.7	197.2	145.8	243.3
Beznau	1987-2007	Min	8.8	23.0	19.3	2.0	30.4	20.9	18.4	19.3	15.7	2.4	20.1	30.9	2.0
		Max	212.5	198.7	262.5	149.0	158.3	186.0	172.5	177.7	127.1	167.1	249.8	160.9	262.5
Leibstadt	1987-2007	Min	10.1	18.7	16.5	1.5	18.5	16.6	23.2	24.6	22.8	1.9	7.9	27.9	1.5
		Max	252.9	219.1	284.8	173.1	163.7	160.4	149.0	199.2	162.8	205.3	251.2	181.1	284.8

Mittlere Monatsmengen (Statistik S33)

Tabelle 3.4-42: Mittlere monatliche Niederschlagsmenge [mm]

Ort	Periode		Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Basel	1865-1980	Mittel	42.8	42.0	48.8	60.8	77.7	91.6	84.0	89.0	70.7	63.9	58.9	48.7
		Std.	25.6	28.1	27.7	33.2	40.1	40.2	42.3	43.6	38.5	39.5	35.5	28.3
Basel	1981-2007	Mittel	48.6	44.6	55.1	65.6	97.9	89.7	91.9	76.8	78.0	74.6	59.7	61.2
		Std.	32.1	20.3	39.3	41.1	46.7	41.8	31.9	39.9	36.2	40.1	38.2	32.8
Buchs	1984-2007	Mittel	64.6	67.1	73.3	77.9	106.4	110.7	105.4	103.3	87.0	80.7	77.5	81.0
		Std.	47.3	38.9	56.2	37.8	59.4	49.0	43.9	44.4	40.7	42.6	51.4	33.9
Beznau	1987-2007	Mittel	74.1	86.4	78.1	71.2	88.4	87.3	92.8	84.3	69.8	77.5	86.9	94.3
		Std.	56.9	56.3	62.5	41.2	36.5	44.1	39.1	34.4	34.2	45.4	62.7	36.8
Leibstadt	1987-2007	Mittel	82.6	90.2	79.6	73.1	85.5	83.0	90.8	86.5	74.2	87.0	85.8	101.4
		Std.	65.6	61.3	67.0	43.8	43.4	42.6	36.4	39.1	35.1	50.1	63.0	43.6

Stunden pro Monat mit Mengen ≥ 0.1mm (Statistik S34)

Tabelle 3.4-43: Mittlere Anzahl Stunden pro Monat mit einer Niederschlagsmenge ≥ 0.1mm [h]

Ort	Periode	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Basel	1981-2007	82.8	79.1	86.6	90.4	103.1	79.0	68.6	68.7	79.0	90.3	89.6	95.5
Buchs	1984-2007	95.8	96.7	102.6	102.6	94.5	91.8	76.1	82.2	82.1	87.2	101.6	107.8
Beznau	1987-2007	96.2	104.1	103.3	95.8	90.7	81.5	77.7	76.7	79.4	91.3	114.2	120.3
Leibstadt	1987-2007	98.6	106.4	103.8	96.8	96.9	80.1	78.1	75.8	81.4	95.5	111.6	121.3

Stunden pro Monat mit Mengen ≥ 1.0 mm (Statistik S35)

Tabelle 3.4-44: Mittlere Anzahl Tage pro Monat mit einer Niederschlagsmenge ≥ 1.0 mm [Tage]

Ort	Periode	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Basel	1865-1980	9.0	8.6	9.4	10.7	11.3	11.3	10.5	10.5	9.3	9.4	9.6	9.5
	1981-2007	9.2	8.9	9.3	9.1	9.5	10.4	10.0	9.5	8.3	9.4	9.5	11.0
Buchs	1984-2007	9.5	8.8	10.3	10.6	11.4	12.2	10.9	10.9	9.6	9.3	9.8	10.1
Beznau	1987-2007	9.4	9.1	10.5	9.7	10.7	11.1	10.5	9.8	8.8	9.3	10.2	11.7
Leibstadt	1987-2007	9.2	8.9	9.3	9.1	9.5	10.4	10.0	9.5	8.3	9.4	9.5	11.0

GEV-Verteilung der stündlichen Mengen (Statistik S36)

Abbildung 3.4-17: GEV-Verteilung der stündlichen Niederschlagsmengen [mm] für Basel 1981-2007, Buchs 1984-2007, Beznau 1987-2007 und Leibstadt 1987-2007

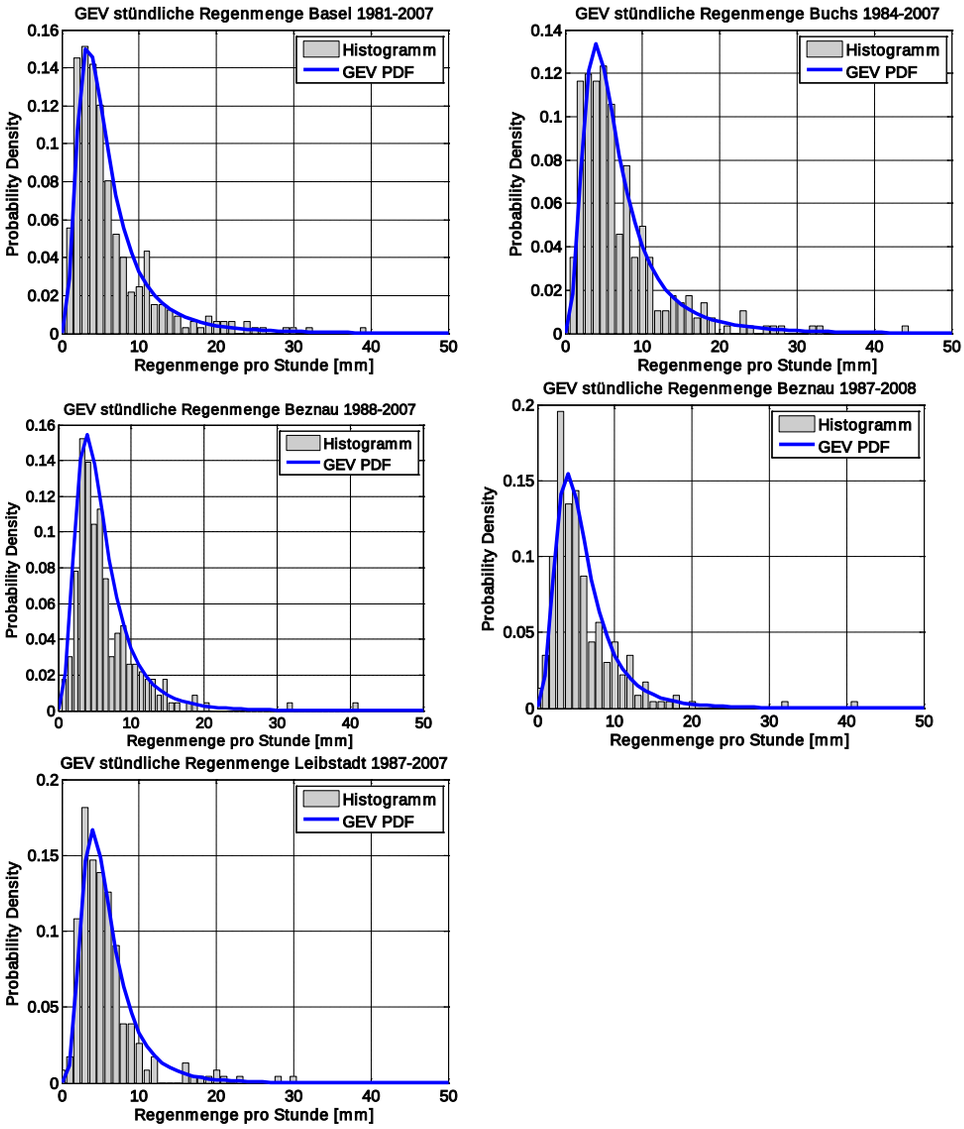


Tabelle 3.4-45: Parameter der GEV-Verteilung

Parameter	Basel 1981-2007	Buchs 1984-2007	Beznau 1987-2007	Leibstadt 1987-2007
k	0.3390	0.3213	0.2036	0.1987
σ	2.5381	2.8837	2.4209	2.2399
μ	4.0512	4.6596	4.2764	4.3099

GEV-Verteilung der täglichen Mengen (Statistik S37)

Abbildung 3.4-18: GEV-Verteilung der täglichen Niederschlagsmengen [mm] für Basel 1865-1980, Basel 1981-2007, Buchs 1984-2007, Beznau 1987-2007 und Leibstadt 1987-2007

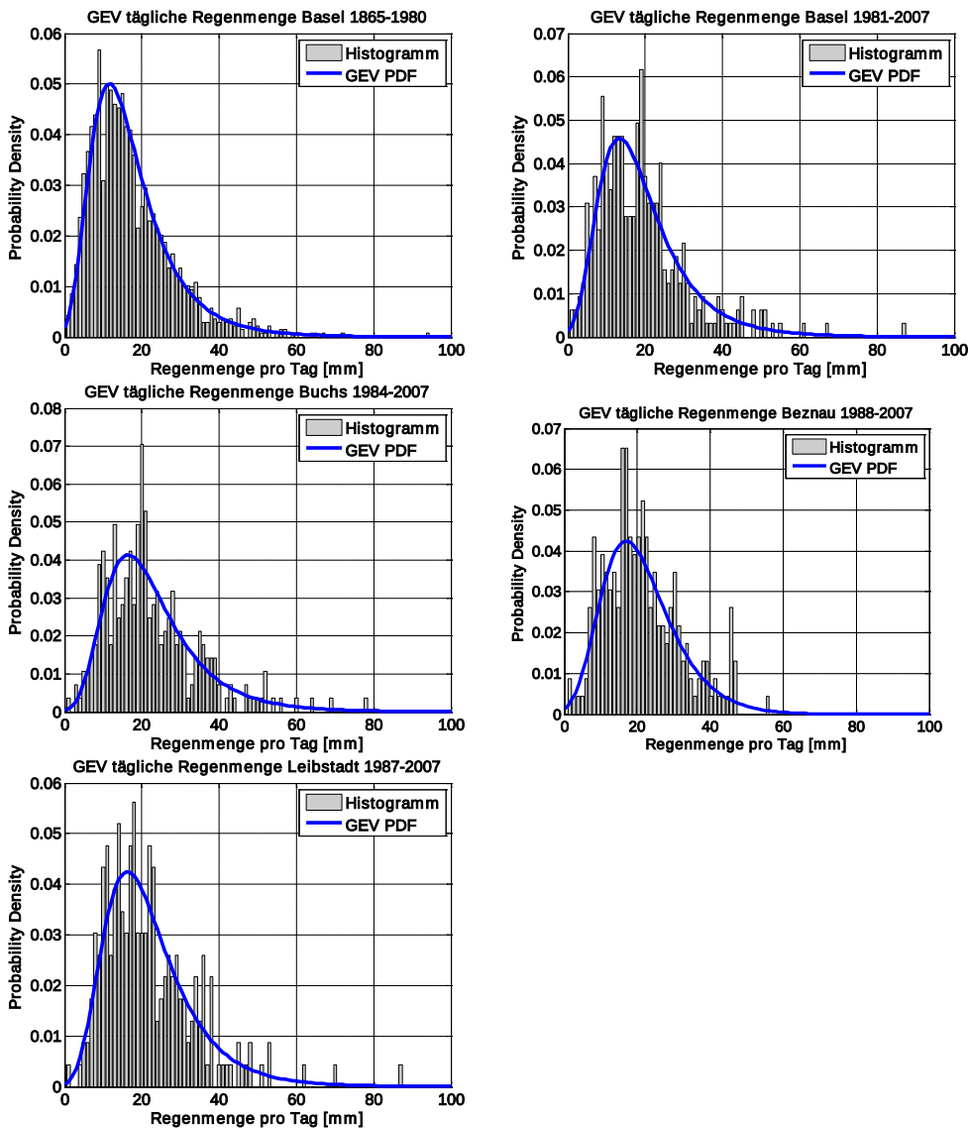


Tabelle 3.4-46: Parameter der GEV-Verteilung

Parameter	Basel 1865-1980	Basel 1981-2007	Buchs 1984-2007	Beznau 1987-2007	Leibstadt 1987-2007
k	0.0321	0.0928	0.0810	-0.0453	0.0549
σ	8.9122	8.0558	8.9236	8.6883	8.6678
μ	32.8957	14.0065	17.1301	16.5596	16.6619

GEV-Verteilung der 5-tägigen Mengen (Statistik S 38)

Abbildung 3.4-19: GEV-Verteilung der 5-tägigen Niederschlagsmengen [mm] für Basel 1865-1980, Basel 1981-2007, Buchs 1984-2007, Beznau 1987-2007 und Leibstadt 1987-2007

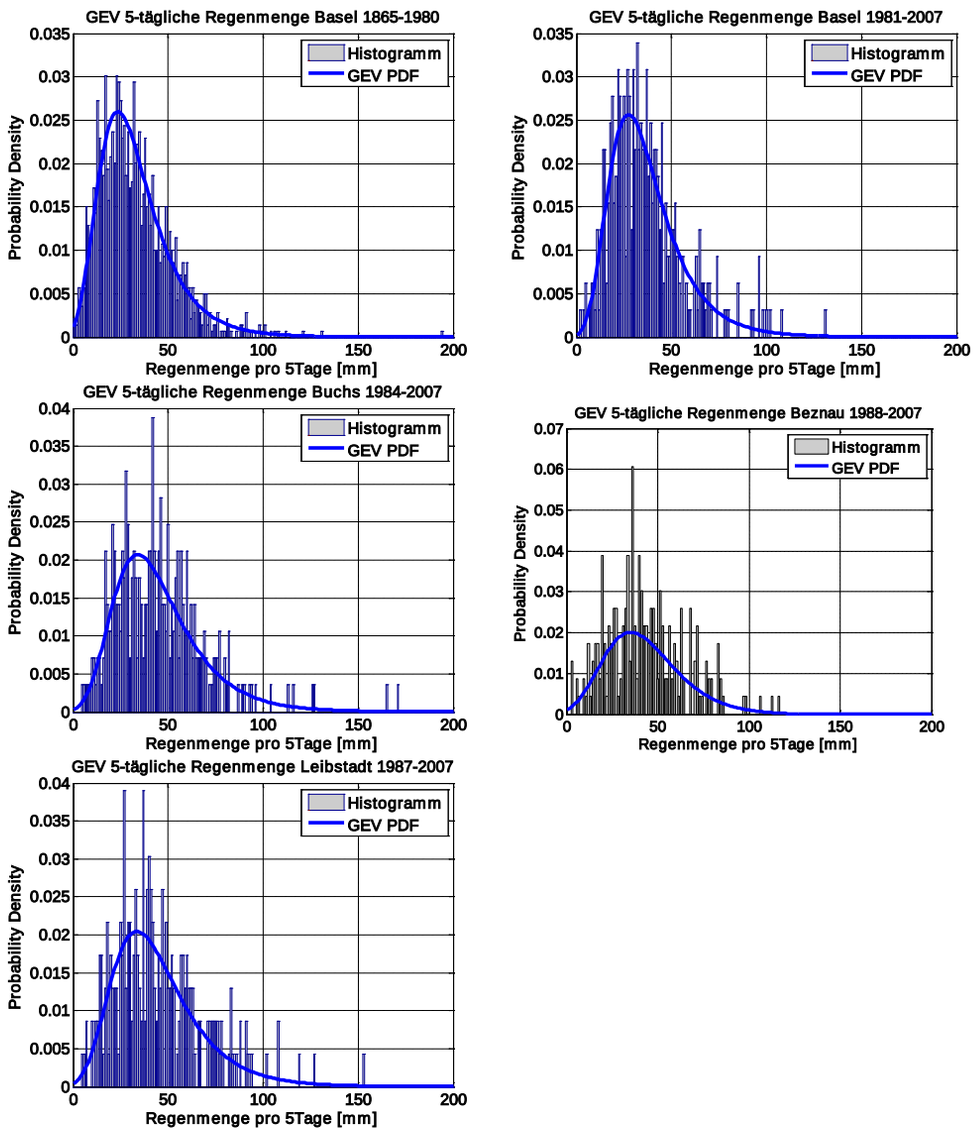


Tabelle 3.4-47: Parameter der GEV-Verteilung

Parameter	Basel 1865-1980	Basel 1981-2007	Buchs 1984-2007	Beznau 1987-2007	Leibstadt 1987-2007
k	0.0791	0.0511	0.0266	-0.0860	0.0216
σ	14.4010	14.3705	17.7780	18.3963	17.9947
μ	59.5864	28.0424	34.5778	33.6088	33.9851

Mehrjährige Niederschlagsmengen (Statistik S39-S41)

Tabelle 3.4-48: Erwartete maximale Niederschlagssumme [mm] für Basel, Buchs und Beznau für verschiedene Wiederkehrperioden. Die Ableitung der 1000- und 10'000 jährigen Niederschlagssumme ist als Folge der Kürze der Datenreihe mit signifikanten Unsicherheiten begleitet.

	Ort	50-jährig	100-jährig	200-jährig	1000-jährig	10000-jährig
1 Stunden-Niederschlagssumme	Basel 1981-2007	62.0	79.4	101.3	177.4 [87.6; 377.9]	*391.3** [158.3; 1027.5]
	Buchs 1984-2007	65.8	83.3	105.1	179.2 [79.1; 438.9]	*380.3** [132.6; 1198.1]
	Beznau 1987-2007	36.1	42.7	50.4	72.9 [39.9; 144.8]	121.0 [55.2; 291.8]
	Leibstadt 1987-2007	33.2	39.1	46.0	65.9 [36.7; 126.6]	108.2 [51.3; 249.8]
1 Tages-Niederschlagssumme	Basel 1865-1980	69.9	77.1	84.3	101.8 [69.6; 166.7]	128.4 [77.6; 255.4]
	Basel 1981-2007	84.4	94.8	105.9	134.7 [84.7; 228.8]	184.2 [103.1; 361.7]
	Buchs 1984-2007	91.9	102.6	113.9	142.7 [91.0; 239.2]	191.0 [109.1; 368.6]
	Beznau 1987-2007	64.8	69.2	73.5	83.0 [55.3; 136.6]	95.4 [59.2; 176.3]

	Ort	50-jährig	100-jährig	200-jährig	1000-jährig	10000-jährig
	Leibstadt 1987-2007	83.1	91.8	100.8	123.2 [77.6; 211.7]	158.8 [89.9; 315.4]
5 Tages-Niederschlagssumme	Basel 1865-1980	125.4	139.5	154.3	192.0 [128.6; 322.5]	254.8 [147.5; 533.2]
	Basel 1981-2007	136.8	150.8	165.4	201.3 [135.2; 317.8]	258.1 [158.0; 459.8]
	Buchs 1984-2007	158.6	173.3	188.3	224.3 [151.7; 352.6]	278.5 [173.0; 491.5]
	Beznau 1987-2007	124.1	131.2	138.0	152.1 [106.9; 232.3]	169.3 [112.9; 281.7]
	Leibstadt 1987-2007	157.4	171.8	186.5	221.3 [139.2; 386.4]	273.4 [155.6; 551.6]

* Das 10'000-jährige Ereignis für 1 Stunden-Niederschlagsmenge für die Stationen Basel und Buchs würde den Weltrekord von 304.8 mm (USA 1947) Niederschlag innerhalb einer Stunde brechen.

5-Minuten Niederschlagsmenge (Statistik S42)

Es wurde für verschiedene Wiederkehrperioden die 5-Minuten Niederschlagsmenge unter Anwendung des Verhältnisses eines 5 Minuten-Werts zu einem 1 Stunden-Wert gemäss US National Weather Service Publication, HMR Nr. 52 ermittelt. Figur 36 in dieser Veröffentlichung zeigt Werte für dieses Verhältnis von 0.32-0.35 über den Vereinigten Staaten von Amerika mit einem Nord-Süd-Gradienten. Es wird angenommen, dass das Verhältnis für Europa bestehen bleibt.

Tabelle 3.4-49: Erwartete Niederschlagsmenge in Basel, Buchs, Beznau und Leibstadt für verschiedene Wiederkehrperioden für das 5-Minuten-Mittel [mm] für verschiedene Verhältnisse 5 min/1 Stunde

Basel	Verhältnis 5 min/1 Stunde	50-jährig	100-jährig	200-jährig	1'000-jährig	10'000-jährig
	0.32	19.9 mm	25.4 mm	32.4 mm	56.8 mm	125.2 mm
	0.33	20.5 mm	26.2 mm	33.4 mm	58.5 mm	129.1 mm
	0.34	21.1 mm	27.0 mm	34.5 mm	60.3 mm	133.0 mm
	0.35	21.7 mm	27.8 mm	35.5 mm	62.1 mm	137.0 mm

Buchs	Verhältnis 5 min/1 Stunde	50-jährig	100-jährig	200-jährig	1'000-jährig	10'000-jährig
	0.32	21.0 mm	26.6 mm	33.6 mm	57.4 mm	121.7 mm
	0.33	21.7 mm	27.5 mm	34.7 mm	59.1 mm	125.5 mm
	0.34	22.4 mm	28.3 mm	35.7 mm	60.9 mm	129.3 mm
	0.35	23.0 mm	29.1 mm	36.8 mm	62.7 mm	133.1 mm

Beznau	Verhältnis 5 min/1 Stunde	50-jährig	100-jährig	200-jährig	1'000-jährig	10'000-jährig
	0.32	11.6 mm	13.7 mm	16.1 mm	23.3 mm	38.7 mm
	0.33	11.9 mm	14.1 mm	16.6 mm	24.0 mm	39.9 mm
	0.34	12.3 mm	14.5 mm	17.1 mm	24.8 mm	41.1 mm
	0.35	12.6 mm	15.0 mm	17.6 mm	25.5 mm	42.4 mm

Leibstadt	Verhältnis 5 min/1 Stunde	50-jährig	100-jährig	200-jährig	1'000-jährig	10'000-jährig
	0.32	10.6 mm	12.5 mm	14.7 mm	21.1 mm	34.6 mm
	0.33	11.0 mm	12.9 mm	15.2 mm	21.7 mm	35.7 mm
	0.34	11.3 mm	13.3 mm	15.6 mm	22.4 mm	36.8 mm
	0.35	11.6 mm	13.7 mm	16.1 mm	23.1 mm	37.9 mm

Die kurz- und mittelfristigen Niederschlagsmengen werden bei der Festlegung der Auslegungsparameter berücksichtigt. Es sind keine Verhältnisse vorhanden, welche besondere Schwierigkeiten für die Auslegung bedeuten. Die Anwendung der langjährigen Ereignisse wird im Rahmen des Baubewilligungsgesuchs festgelegt. Extreme Niederschlagsmengen können zu Hochwasserzuständen führen (Kapitel 3.5). Sie müssen auch bei der Dimensionierung der Dach- und Geländeentwässerungen berücksichtigt werden.

Schneemengen (Statistik S43)

Schneelasten sind für die sicherheitsrelevanten Bauten nicht massgebend. Die Baustrukturen sind anhand ihrer Auslegung für Erdbeben bzw. Flugzeugabsturz massiv konstruiert. Schneelasten können aber für auf den Dächern montierte Komponenten relevant sein.

Tabelle 3.4-50: Historische Gesamtschneehöhen

Ort	Zeitperiode	Maximum (Jahr)
Basel	1931-2007	55 cm (1931)
Buchs	1984-2007	47 cm (1986)

Abbildung 3.4-20: Höchste vorgekommene Gesamtschneehöhe pro Jahr in Basel 1931–2007 und Buchs 1984–2007.



Tabelle 3.4-51: Erwartete Gesamtschneehöhe und Schneelasten für Basel für verschiedene Wiederkehrperioden. (KI = Konfidenzintervall). Für die mittlere Raumlast von Schnee wurde gemäss (SIA Norm 261: 2003) 3 kN/m^3 angenommen

Basel 1931-2007	50-jährig	100-jährig	200-jährig	1000-jährig	10000-jährig
Gesamtschneehöhe [cm]	47	59	73	119	225
KI 95%	[27 ; 86]	[32 ; 121]	[36 ; 168]	[47 ; 354]	[65 ; 1012]
Schneelast [kN/m^2]	1.41	1.77	2.19	3.57	6.75

Die Wiederkehrperioden wurden mit einer GEV Verteilung (Blockmax 1 Jahr) berechnet.

Es zeigt sich, dass die Schneelast den charakteristischen Wert der SIA Norm übersteigt. Zu Details der SIA Norm siehe Kapitel 3.4.8.2.

Die Anwendung der langjährigen Ereignisse und der entsprechenden Schneelasten werden im Rahmen des Gesuches zur Baubewilligung festgelegt. Der Aufbau von Schneedecken erfolgt über längere Zeiträume, was die Einleitung von Massnahmen erlaubt.

Schneedecken (Statistik S44)

In der vorhergehenden Statistik S43 zeigt sich während der Überlappung zwischen den Datenreihen von Buchs und Basel ab 1984, dass in beiden Regionen ähnlich hohe Schneedecken berücksichtigt werden müssen. Deshalb wurde der Wert für die Gesamtschneedecke von 59 cm mit 100-jähriger Wiederkehrdauer auch für die Region Buchs / Beznau übernommen.

Für die Berechnung der Last auf ein Gebäude wird auf die SIA Norm 261: 2003, Einwirkung auf Tragwerke, Kapitel 5 "Schnee" verwiesen. Sie ist abhängig von der Konstruktion und Lage des Gebäudes.

Hagelgefahr (Statistik S45)

Hagel könnte in bestimmten Fällen für auf den Dächern montierte Komponenten relevant sein. Für die Gebäudehüllen der sicherheitsrelevanten Bauten sollte Hagel keine Probleme darstellen.

Gemäss der Hagelgefahrenkarte[18] der Schweizerischen Hagelversicherungs-Gesellschaft wird das Risiko für Beznau als leicht erhöht eingestuft. Durchschnittlich treten Hagelereignisse in der Region alle 2-3 Jahre auf.

Tabelle 3.4-52: Anzahl Hageljahre (Hageljahr = 1 Mal Hagel im Jahr) in der Umgebung von Beznau im Zeitraum von 1961-2004[19]

Ort	Anzahl Hageljahre 1961–2004
Brugg	12
Döttingen	24
Leibstadt	14
Untersiggenthal	19
Villigen	22

Die Fallgeschwindigkeit und Aufprallenergie von Hagelkörnern ist primär abhängig von ihrer Grösse. Das Schadenspotenzial eines Hagelkorns ist aber zusätzlich gegeben durch seine Form sowie seine Festigkeit. Die Formen variieren von annähernd kugelförmig bis extrem scharfkantig mit aufgewachsenen Eisspitzen [78]. Die Aufschlaggeschwindigkeiten verschieden grosser Hagelkörner sind der folgenden Tabelle 3.4-53 zu entnehmen. Für einen extremen Hagelkorndurchmesser von rund 14 cm ist mit einer Aufprallgeschwindigkeit von ca. 170 km/h zu

[18] Quelle: Schweizerische Hagel-Versicherungs-Gesellschaft. http://www.hagel.ch/, (Stand 15.09.2008).

[19] Schweizerische Hagel-Versicherungs-Gesellschaft, Hageljahre 1961-2004

rechnen. Dies ist eine Wucht, durch welche Menschen ohne weiteres erschlagen werden können. Zudem kann die Fallgeschwindigkeit durch Gewitterböen zusätzlich erhöht werden.

Tabelle 3.4-53: Die Fallgeschwindigkeit und Aufprallenergie von Hagelkörner in Abhängigkeit von der Korngrösse [78][

Hageldurchmesser [cm]	Fallgeschwindigkeit [km/h]	Aufprallenergie [J]
2.5	80	1.3
3.2	90	5.4
3.8	100	10.8
4.5	107	19.0
5.1	115	29.8
6.4	129	71.9
7.0	136	109.8
7.6	143	162.7

3.4.5.6 Solare Einstrahlung

Mittlere stündliche solare Einstrahlung (Statistik S46)

Die Statistik der solaren Einstrahlung kann für die Auslegung von Klimaanlagen oder Photovoltaikanlagen von Nutzen sein. Eine Relevanz für die Auslegung von sicherheitsrelevanten Bauten oder Systemen ist nicht wahrscheinlich, aber nicht völlig auszuschliessen.

Tabelle 3.4-54: Mittlere stündliche solare Einstrahlung [W/m^2], Buchs 1984-2007

Stunde	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	1	12	24	14	3	0	0	0	0
5	0	0	1	22	70	93	76	34	8	1	0	0
6	0	1	25	96	164	193	178	121	56	12	1	0
7	4	23	96	197	276	308	301	232	138	54	18	4
8	31	78	187	299	390	428	429	349	239	115	58	28
9	78	141	281	404	484	522	528	453	336	181	105	69
10	121	204	351	472	552	583	594	528	410	246	140	104
11	148	248	382	498	579	613	615	558	446	285	161	121
12	153	256	382	479	560	605	611	556	442	289	156	118
13	132	228	344	436	509	559	558	506	395	244	131	94
14	87	171	274	361	425	479	491	431	312	176	81	55
15	37	100	184	261	328	380	388	319	208	95	29	14
16	4	31	89	152	213	261	271	201	103	24	1	0
17	0	1	19	63	115	152	157	97	26	0	0	0
18	0	0	0	8	35	62	58	21	1	0	0	0
19	0	0	0	0	2	9	7	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Die durchschnittliche jährliche Sonnenscheindauer wird von fünf Stationen im 40 km-Umkreis vom Standort mit 1'570 h angegeben, was etwa 38% der möglichen jährlichen Sonnenscheindauer entspricht.

3.4.5.7 Tornados, schwere Stürme

3.4.5.7.1 Einleitung

Tornados – mit hoher Geschwindigkeit rotierende Gewittersturm-Wirbel, erkennbar an ihren charakteristischen Wolkenschläuchen – sind in der Schweiz keine allgegenwärtige Naturgefahr. Hin und wieder treten jedoch auch in der Schweiz Tornado-Ereignisse auf, welche zu grösseren Schäden führen. Meist sind Tornados auf dem Gebiet der Schweiz jedoch von geringer Intensität, und die Schäden halten sich in Grenzen. Recht häufig werden sie über grossen Seeflächen in Form sogenannter Wasserhosen beobachtet.

Es wird zwischen zwei Situationen der Entstehung unterschieden. Einerseits im Sommer durch starke Konvektion, wenn sich mehrere Gewitterzellen zu einer Superzelle vereinigen. Die zweite Möglichkeit ist bei starken Weststürmen, welche vor allem im Winter anzutreffen sind.

Von der Entstehung her handelt es sich bei Tornados und Wasserhosen prinzipiell um das gleiche Phänomen [11], [13]. Aus der Unterseite von gut entwickelten Gewitterwolken bildet sich zu Beginn eine kegelförmige Ausstülpung. Diese wächst sich daraufhin, oft innert weniger Minuten, zum rotierenden Wolkenschlauch aus und senkt sich gleichzeitig bis zur Erdoberfläche hinab. Bereits vor dem Auftreffen des Schlauchs am Erdboden wird dort loses Material zu einem eigenen Wirbel formiert, welcher im Durchmesser grösser ist als der Schlauch selber. Der Durchmesser des Wolkenschlauchs liegt meistens bei mehreren 10 Metern, manchmal bis zu einigen Kilometern. Die typische Länge des Schlauchs beträgt etwa 900 m [12].

Die Entstehung von starken Tornados erfolgt praktisch immer im Zusammenhang mit intensiven Gewitterherden (sogenannte Superzellen-Gewitter). Voraussetzung für die Wirbelbildung sind sehr hohe Aufwärtsbewegungen in der Gewitterwolke. Es handelt sich dabei weitgehend um dieselben Bedingungen, welche auch für die Auslösung von Hagelschlägen erfüllt sein müssen. Starke Tornados und Hagel treten deshalb oft auch gemeinsam auf. Schwache Tornados müssen als Ursache nicht unbedingt Superzellen-Gewitter haben. Insgesamt ist die Entstehung von Tornados noch nicht restlos erforscht und speziell für die Bildung des Wolkenschlauchs gibt es nach wie vor keine hinreichend zufriedenstellende Erklärung [13].

3.4.5.7.2 Daten

Tornadostärke (Statistik S47)

Im Innern eines sehr starken Tornados sind Rotationsgeschwindigkeiten von 450-500 km/h möglich. Der Sog im Schlauch vermag eine Aufwärtsbewegung von 160 km/h zu erzeugen. Der Schlauch zieht im Durchschnitt etwa mit 50 km/h über die Erdoberfläche dahin. Dabei pendelt er hin und her, wird länger und wieder kürzer und hebt gelegentlich vom Erdboden ab, um wenig später wieder aufzusetzen. Die Zugbahnen sind in der Regel einige hundert Meter breit und 10-50 km lang. Die Lebensdauer eines Tornados ist mit seiner Stärke gekoppelt: Schwache Stürme dauern einige Minuten, sehr starke über eine Stunde. Die Gewalt von Tornados ergibt sich vor allem aus den extrem hohen Rotations- und Vertikalgeschwindigkeiten.

Es existieren zwei gebräuchliche Skalen zur Klassifizierung von Tornados. Bei der Fujita-Skala (F-Skala, siehe Tabelle 3.4-55; [19]) wird zur Klassifizierung zusätzlich das Ausmass der Zerstörung zur Einteilung in die Klassen genutzt. Die TORRO-Skala (T-Skala, siehe Tabelle 3.4-56; [20]) basiert allein auf den Windgeschwindigkeiten des Tornados und ist eher in Europa gebräuchlich.

Tabelle 3.4-55: Die Fujita-Skala zur Beschreibung der Stärke von Tornados auf der Basis von Schäden

Fujita-Skala	Windgeschwindigkeit	Schäden
F-0	65-119 km/h	Leichte Schäden an Schornsteinen, abgebrochene Äste und Baumkronen, Entwurzelung flach wurzelnder Bäume und umgeworfene Plakatwände.
F-1	119-184 km/h	Wellblechdächer oder Dachziegel werden abgehoben und Wohnmobile umgeworfen, fahrende PKW werden verschoben.
F-2	184-256 km/h	Dächer werden als Ganzes abgedeckt, Wohnmobile vollständig zerstört, grosse Bäume entwurzelt, leichte Gegenstände werden zu gefährlichen Projektilen.
F-3	256-335 km/h	Dächer und leichte Wände werden abgetragen, Züge entgleisen, Wald wird grossteils entwurzelt, LKW's werden umgeworfen oder verschoben.
F-4	335-421 km/h	Holzhäuser mit schwacher Verankerung werden verschoben, PKW's werden umgeworfen, schwere Gegenstände werden zu gefährlichen Projektilen.
F-5	421-515 km/h	Holzhäuser werden von ihren Fundamenten gerissen, weit verschoben und zerlegt. Asphalt-Strassenbeläge können vom Boden abgelöst werden.

Tabelle 3.4-56: Die TORRO-Skala zur Beschreibung der Stärke europäischer Tornados auf der Basis von Windgeschwindigkeiten

TORRO-Skala	Windgeschwindigkeit	Schäden
T-0 (F-0)	65-90 km/h	Leichte Gegenstände werden vom Boden abgehoben, Baugerüste können umstürzen, leichte Schäden an Markisen und Zelten auftreten. Dachziegel an exponierten Stellen können sich lockern. Keine Schäden an Gebäude-Tragwerken. Einzelne Äste beginnen abzubrechen.
T-1 (F-0)	90-119 km/h	Gartenmöbel und leichtere Gegenstände werden umgeworfen und können durch die Luft gewirbelt, Holzzäune umgeworfen werden. Leichte Schäden an Dächern (Ziegel und Verblechungen können sich lösen und herabgeweht werden). Geringe Schäden an Leichtbauten; keine strukturellen Schäden. Auch starke und gesunde Äste brechen vermehrt, insbesondere während der Vegetationszeit (Laubbäume belaubt).
T-2 (F-1)	119-151 km/h	Auch schwerere Gegenstände werden vom Boden aufgehoben und können zu gefährlichen Geschossen werden. Wohnwagen und Anhänger können umgeworfen werden. Ziegel- und ungesicherte Flachdächer werden teilweise abgedeckt. Geringe bis mittelschwere Schäden an Leichtbauten; erste Schäden an strukturellen Elementen von Massivbauten möglich. Zahlreiche auch starke und gesunde Äste brechen, insbesondere während der Vegetationszeit (Laubbäume belaubt).
T-3 (F-1)	151-184 km/h	Zahlreiche Wohnwagen und Anhänger werden umgeworfen. Ziegel- und ungesicherte Flachdächer erleiden grössere Schäden. Mittelschwere Schäden an Leichtbauten; einzelne Schäden an strukturellen Elementen von Massivbauten. Fahrende Autos werden von der Strasse gedrückt. Zahlreiche Äste, auch starke und gesunde, brechen; auch ausserhalb der Vegetationszeit, in der Laubbäume unbelaubt sind. Auch stabile und gesunde Bäume werden vermehrt umgeworfen oder bereits gebrochen.
T-4 (F-2)	184-230 km/h	Grosse Schäden an Fahrzeugen und Anhängern. Hohe Gefährdung und Schäden durch herumfliegende Teile. Ganze Dächer werden abgedeckt. Schwere Schäden an Leichtbauten; zunehmend Schäden an strukturellen Elementen von Massivbauten, Einsturz von Giebelwänden möglich. Auch stabile Bäume oder Waldbestände werden fast immer bzw. vollständig geworfen oder gebrochen. Grosskronige Bäume werden, sofern besonders stabil verwurzelt, meistens gebrochen. Sofern Bäume noch stehen bleiben, wird die überwiegende Anzahl der Äste, auch die in unbelaubtem Zustand, abgerissen.

TORRO-Skala	Windgeschwindigkeit	Schäden
T-5 (F-2)	230-256 km/h	Schwere Schäden an Dächern und Anbauten sowie an Leichtbauten. Weiter zunehmende Schäden an strukturellen Elementen von Massivbauten. Vollständiger Einsturz einzelner Gebäude, vor allem landwirtschaftlich genutzter Konstruktionen und Lagerhallen. Kraftfahrzeuge werden hochgehoben. Auch stabilste Gehölze, wie Randbäume, winderprobte Hecken, Büsche und Feldgehölze werden stark geschädigt oder zerstört; entweder durch Entwurzeln (Herausreissen), Stamm- oder Kronenbruch oder durch Abreissen der überwiegenden Zahl der Äste.
T-6 (F-3)	256-295 km/h	Leichtbauten werden in grösserem Umfang zerstört. Schwere Schäden an strukturellen Elementen von Massivbauten. Einsturz einzelner Gebäude. Schwere Kraftfahrzeuge werden hochgehoben und umgeworfen. Kein heimisches Holzgewächs übersteht – falls der Stamm stehen bleibt – solch einen Sturm ohne schwerste Schäden. Stehenbleibende Bäume werden weitgehend entastet.
T-7 (F-3)	295-335 km/h	Verbreitet völlige Zerstörung von Leichtbauten und schwere Schäden an Massivbauten. Einsturz zahlreicher Gebäude. Kein heimisches Holzgewächs übersteht – falls der Stamm stehen bleibt – solch einen Sturm ohne schwerste Schäden. Stehenbleibende Bäume oder Baumteile werden weitgehend entastet, und stellenweise beginnt Entrindung durch umherfliegende Kleintrümmer sowie Sand etc.
T-8 (F-4)	335-378 km/h	Schwere Schäden an Massivbauten. Verbreiteter Einsturz von Gebäuden, deren Einrichtung weit verstreut wird. Kraftfahrzeuge werden über grosse Strecken geschleudert. Deutliche Entrindung stehenbleibender Baumstämme oder Baumteile durch umherfliegende Kleintrümmer sowie Sand etc.
T-9 (F-4)	378-421 km/h	Überwiegend Totalschäden an Massivbauten. Züge werden von den Schienen gerissen. Totale Entrindung stehenbleibender Baumstämme oder Baumteile durch umherfliegende Kleintrümmer sowie Sand etc.
T-10 (F-5)	421-468 km/h	Überwiegend Totalschäden an Massivbauten. Totale Entrindung stehenbleibender Baumstämme oder Baumteile durch umherfliegende Kleintrümmer sowie Sand etc. Ungewöhnliche Schäden wie das Herausreissen und weites Verdriften von starken, aber bereits morschen Wurzelstöcken abgesägter Bäume entstehen.

TORRO-Skala	Windgeschwindigkeit	Schäden
T-11 (F-5)	468-515 km/h	Fast ausschliesslich Totalschäden an Massivbauten. Unvorstellbare Schäden entstehen. Totale Entrindung stehenbleibender Baumstämme oder Baumteile durch umherfliegende Kleintrümmer sowie Sand etc. Ungewöhnliche Schäden wie das Herausreissen und weites Verdriften auch weniger morscher, starker und tief in die Erde reichender Wurzelstöcke abgesägter Bäume entstehen.

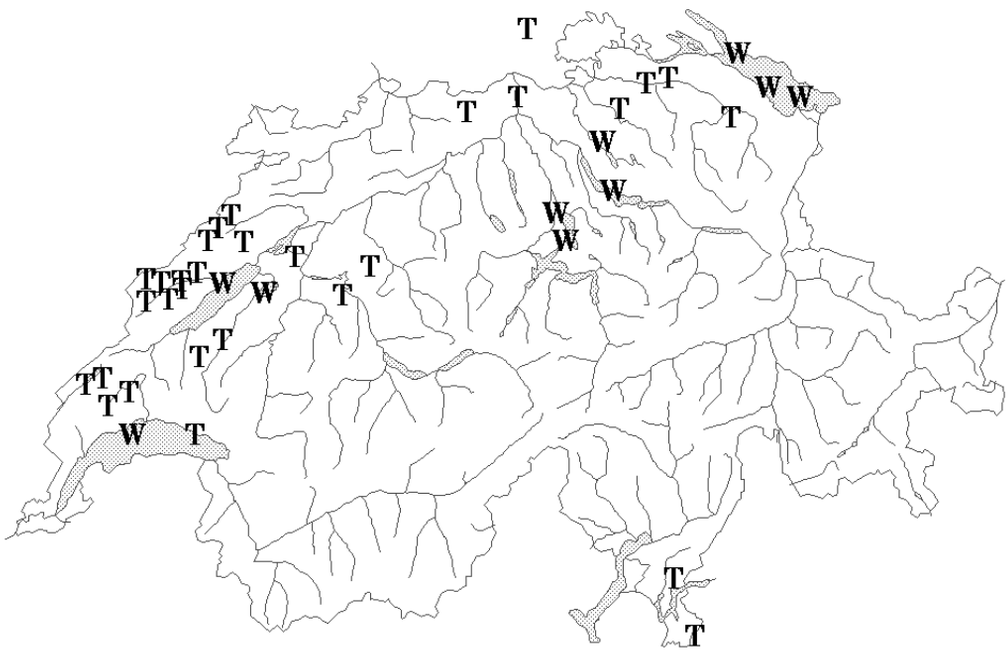
Tornados kommen auf allen Kontinenten vor. Am häufigsten und mit der grössten Wucht wüten sie im kontinentalen Inneren Nordamerikas. Nach neueren Angaben treten auf der gesamten Fläche der USA rund 1'100 Tornados pro Jahr auf [11]. Von Texas im Süden der USA bis zu den Grossen Seen an der Grenze zu Kanada zieht sich eine eigentliche Tornado-Strasse mit der grössten Auftretenshäufigkeit. Hier entstehen sie vor allem im Frühjahr bis zum Frühsommer (März bis Mai). Zu dieser Zeit sind die Temperaturgegensätze der feuchtwarmen Luftmassen aus dem Golf von Mexiko und der von Nordkanada her kommenden polaren Kaltluft am grössten. In Europa bzw. in der Schweiz ist das Auftreten von Tornados vor allem an die sommerliche Gewittersaison gekoppelt.

Aufgrund jüngerer Auswertungen muss man in der Schweiz pro Jahrzehnt mit einem bis fünf Tornados rechnen, die zu mehr oder weniger grossen Sachschäden führen. Schwache Tornados sollen sogar praktisch jedes Jahr mehrmals auftreten. Oft reichen deren Wolkenschläuche allerdings nicht bis zum Erdboden. Weiter können offenbar auch durchaus kräftige Tornadowirbel unsichtbar bleiben, wenn zuwenig Feuchtigkeit zur Bildung des Wolkenschlauchs vorhanden ist [14]. Zudem ist es möglich, dass Tornados unbemerkt auftreten, da das oft hügelige Gelände den freien Blick auf die Unterseite der Gewitterwolken verhindert oder aber ein dichter Regenvorhang den Wolkenschlauch einhüllt. Daneben reduziert der schweizerische Sommersmog die Sichtbarkeit oft so stark, dass schwach ausgeprägte Wolkenschläuche kaum zu bemerken wären [15]. Im Gegensatz zu Tornados sind Wasserhosen in der Schweiz in recht grosser Zahl mit Fotografien dokumentiert.

Die in der Schweiz verhältnismässig geringe Zahl und normalerweise geringe Intensität von Tornados ist vermutlich auf die Alpen zurückzuführen. In den USA kann suptropisch warme und feuchte Luft, die eigentliche Tornado-Energie, aus dem Golf von Mexiko grossflächig und ungehindert nach Norden vordringen. Der Alpenbogen hingegen stellt, je nach Strömungslage, für nordwärts fliessende feuchtwarme Mittelmeerluft ein namhaftes Hindernis dar.

Die Tornadogefahr ist auch in der Schweiz am grössten an heissen Sommertagen bei ausgeprägter Gewitterneigung. Speziell günstig scheint sich der westliche Jura, ein bekanntermassen gewitterreiches Gebiet, auf die Auslösung von Tornados auszuwirken (Abbildung 3.4-21). Die grösste Häufung zeigte sich bisher im Vallée de Joux und in der Region um La-Chaux-de-Fonds. Am häufigsten treten Tornados im Monat August auf, etwas weniger häufig im Juni [16].

Abbildung 3.4-21: Registrierte Tornados (T) in der Schweiz. Mit W sind registrierte Tornados über Wasserflächen festgehalten, welche im Volkmund oft als "Wasserhosen" bezeichnet werden [79].



Auch wenn die dokumentierten Beobachtungen ab 1890 (Tabelle 3.4-57) vor allem im Jurabogen vom Genfer- bis zum Bodensee anzutreffen sind, (Abbildung 3.4-22) ist es nicht auszuschliessen, dass sich auch in den Alpen ein Tornado bilden kann. In Tabelle 3.4-57 nicht aufgelistet sind Vermutungen von Tornadoereignissen. Die Häufung der Ereignisse in den letzten 10 Jahren ist darauf zurückzuführen, dass heute dem Thema mehr Beachtung geschenkt wird und viel mehr gesehen und dokumentiert wird.

Tabelle 3.4-57: Tornadobeobachtungen in der Schweiz ab 1890-2008

Nummer	Datum	Ort	Stärke
1	19.08.1890	Vallée de Joux	F5
2	30.06.1898	Winterthur	
3	19.07.1912	Schönenbaumgarten (TG)	
4	12.06.1926	La-Chaux-de-Fonds	F2
5	04.06.1932	L'Isle (VD)	
6	23.08.1934	La-Chaux-de-Fonds	
7	23.07.1939	Basel	
8	27.08.1956	Marchairuz	F2
9	26.08.1971	Vallée de Joux	F4
10	??.??.1972	Sugiez	
11	27.09.1982	Villa Luganese	F2
12	06.07.1986	Gippingen / Koblenz (AG)	F2
13	06.07.1986	Döttingen (AG)	F1
14	10.07.1995	Les Vieux-Prés (NE)	
15	22.07.1995	Oberhofen (AG)	F1
16	06.07.1997	Urtenen-Schönbühl (BE)	
17	05.06.2000	Wetzikon (ZH)	F0
18	07.06.2000	Wetzikon (ZH)	
19	13.06.2000	Triboltingen (TG)	F1
20	20.06.2000	St. Imier (BE)	
21	04.07.2000	Koblenz (AG)	F1
22	07.07.2000	Zäziwil (BE)	F1
23	26.06.2003	Fussach (AUT) Bodensee	F2
24	17.08.2003	Hüttwilen (TG)	F1
25	10.08.2004	Massonens (FR)	F2
26	17.08.2004	Villargiroud (FR)	F1
27	05.07.2005	Gossau (ZH)	F1
28	21.08.2005	Pfyn (TG)	F1
29	28.06.2006	Full (AG)	

Abbildung 3.4-22: Tornadoaktivität in der Schweiz; das blaue Dreieck umfasst die Fläche mit > 95% der Schweizer Tornado-Beobachtungen (Daten von [20], Karte von [21])



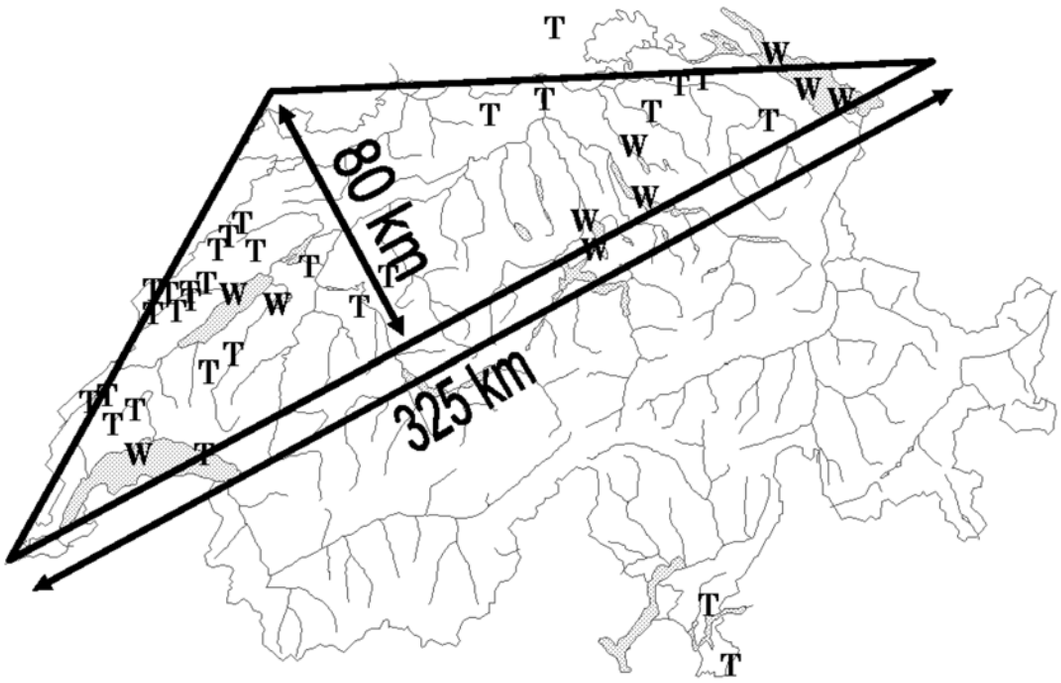
Starke Tornados haben in der Schweiz schon mehrmals zu eigentlichen Katastrophen geführt. In drei bekannten und auch sehr gut dokumentierten Fällen – am 19. August 1890 und am 26. August 1971 in der Vallée de Joux im Waadtländer Jura, sowie am 12. Juni 1926 bei La Chaux-de-Fonds – haben Tornados von SW nach NO kilometerlange Schneisen in den Wald geschlagen und viele Gebäude teilweise oder total zerstört. Die starken Tornadoereignisse in der Schweiz sind in Kapitel 3.4.15 zusammengefasst.

Die von Tornados betroffene Region der Nordschweiz umfasst das Mittelland und den Jura. In guter Näherung kann die betroffene Fläche als Dreieck beschrieben werden mit einer Basis von rund 325 km (Genfersee-Bodensee) sowie einer Höhe von rund 80 km. Die so definierte Region beläuft sich dann auf 13'000 km^2 (Abbildung 3.4-23). Die Lage des Kernkraftwerks Beznau befindet sich innerhalb dieser definierten Region.

[20] Quelle: http://www.tordach.org/

[21] Quelle: http://map.search.ch/

Abbildung 3.4-23: Die in der Nordschweiz von Tornados betroffene Region



Aus der definierten Region sind 27 Tornadobeobachtungen über den Zeitraum von 115 Beobachtungsjahren (1890-2005) verfügbar. Beobachtungen von "Wasserhosen" sind hierbei nicht eingeschlossen. Bei der genannten Zahl von 27 Tornadobeobachtungen handelt es sich selbstverständlich um die untere Grenze der möglichen Ereigniszahl. Es ist davon auszugehen, dass zu einigen Tornado-Ereignissen aus der genannten Periode 1890-2005 keine Beobachtungen vorliegen und sie damit nicht dokumentiert sind.

Die Tornado-Auftretenshäufigkeit (Φ_t) in der definierten Region (13'000 km^2) ergibt sich dann aus:

$$\Phi_t = \frac{27/115}{13'000} = 1.8\times10^{-5} = 0.000018 \quad \text{Tornados pro Jahr und km}^2$$

Das bedeutet, dass in der definierten Region der Nordschweiz pro km^2 alle 100'000 Jahre mit rund zwei Tornados gerechnet werden muss.

In der verfügbaren Beobachtungsperiode von 115 Jahren sind fünf starke Tornados (Stärke F-1 bis F3, bzw. T-3 bis T-6) mit erheblichen Schadensfolgen aufgetreten. Entsprechend ergibt sich die Auftretenshäufigkeit für starke Tornados (Φ_{ts}) in der definierten Region (13'000 km^2) aus:

$$\Phi_{ts} = \frac{5/115}{13'000} = 3.3\times10^{-6} = 0.0000033 \quad \text{starke Tornados pro Jahr und km}^2$$

Das bedeutet, dass in der definierten Region der Nordschweiz pro km^2 alle 300'000 Jahre mit etwa einem starken Tornado gerechnet werden muss.

Auch aus der Extremwertanalyse der Windböenspitzen aus Statistik S23 muss mit Tornados der Stärke T3 (für Basel) und T1 (für Buchs) auf der TORRO-Skala (T-Skala) gerechnet werden.

Für den Raum Beznau kann nur die Extremwertanalyse der 10-Minuten Mittel zu Hilfe gezogen werden, welche aber auch bereits Tornados der Stärken T-0 (10 m ü.B.) und T-1 (70 m ü.B.) voraussagen. Dies ist jedoch mit Vorsicht zu geniessen, da die Lebensdauer eines Tornados durchschnittlich unter 10 min liegt. Deshalb ist für Beznau mit stärkeren Ereignissen zu rechnen, was auch die obenaufgeführte Analyse und die Statistik S48 zeigen.

In den USA mit der weltweit grössten Tornado-Häufigkeit treten in der Region mit der grössten Tornado-Dichte jährlich im Durchschnitt 628 Tornados auf [21]. Daraus ergibt sich eine Tornado-Auftretenshäufigkeit (Φ_t) von 0.0002 Tornados pro Jahr und km^2. Das bedeutet, dass in dieser definierten Region der USA pro km^2 alle 100'000 Jahre mit rund 23 Tornados (aller Stärkeklassen) gerechnet werden muss. Die Auftretenshäufigkeit ist damit rund 10 Mal höher als in der Schweiz.

In den Stärkeklassen F-2 bis F-4 treten in der angegebenen Tornado-Region 159 Tornados pro Jahr auf [21]. Daraus ergibt sich eine Tornado-Auftretenshäufigkeit (Φ_{ts}) von 0.00006 Tornados pro Jahr und km^2. Das bedeutet, dass in dieser definierten Region der USA pro km^2 alle 300'000 Jahre mit rund 18 Tornados der Stärkeklassen F-2 bis F-4 gerechnet werden muss. Die Auftretenshäufigkeit ist damit rund 18 Mal höher als in der Schweiz.

Die Entstehung von starken Tornados mit Schadensfolgen erfolgt praktisch immer im Zusammenhang mit intensiven Gewitterherden. Starke Tornados in der Schweiz sind als Extremereignisse zu bezeichnen und müssen im Zusammenhang mit der Frage der Klimaänderung unter diesem Aspekt betrachtet werden.

In der Schweiz sind gemäss Dotzek [80] und gemäss Vorgabe der nuklearen Aufsichtsbehörde [81] mit einer Häufigkeit von 2-3 Tornados pro Jahr zu rechnen. Dies ergibt für die Periode von 1890-2008 eine Anzahl von 240-350 Tornados. Diese Zahlen sind zwar weit von der Anzahl der dokumentierten Beobachtungen entfernt (Tabelle 3.4-57), aber es muss darauf hingewiesen werden, dass heute dem Thema mehr Beachtung geschenkt wird und viel mehr Tornados gesehen und dokumentiert werden. Betrachtet man nur die letzte 10-Jahres Periode 1999-2008 mit 13 Beobachtungen und nimmt man noch die 15 vermuteten Sichtungen dazu, dann erhält man einen Wert von 2.8 Tornados pro Jahr, was mit dem Wert von Dotzek [80] übereinstimmt.

Tornado-Ereignisse in Standortnähe (Statistik S48)

Tabelle 3.4-58 zeigt die dokumentierten Tornado Ereignisse in der unmittelbaren Umgebung von Beznau.

Tabelle 3.4-58: Historische Beobachtungen von Tornados in der Beznau Region[22] und abgeschätzte Winddrücke pW

Ort	Datum	Stärke T-Skala	Stärke F-Skala	Winddruck [N/m²]
Döttingen, Gippingen AG	06.07.1986	T4 (52-61 m/s)	F2	2450–3370
Oberhofen AG	22.07.1995	T3 (42-51 m/s)	F1	1600–2360
Koblenz	04.07.2000	T2 (33-41 m/s)	F1	990–1525
Full AG	29.06.2006	T0 (17-24 m/s)	F0	260–525

Statistik S49 zeigt als Vergleich die Spitzenwindgeschwindigkeiten und Winddruck für historische schwere Sturmereignisse in der Schweiz.

Sturmereignisse in der Schweiz (Statistik S49)

Tabelle 3.4-59: Historische schwere Sturmereignisse in der Schweiz[23] und abgeschätzte Winddrücke pW

Sturmname	Datum	Spitzenböe	Winddruck [N/m²]
Vivian & Wiebke	Februar 1990	79 m/s (Jungfraujoch)	ca. 4000
		44 m/s (Flachland)	ca. 1700
Lothar	Dezember 1999	69 m/s (Jungfraujoch)	ca. 3100
		44 m/s (Flachland)	ca. 1700
Kyrill	Januar 2007	63 m/s (Aletschgletscher)	ca. 3000
		31 m/s (Flachland)	ca. 850
Emma	März 2008	62 m/s (Konkordiahütte)	ca. 2700
		39 m/s (Flachland)	ca. 1350

Die Ausführungen zeigen, dass starke Windereignisse und sogar Tornados am Standort möglich sind. Im Rahmen der Auslegung gegen Störfälle mit Ursachen ausserhalb der Anlage ist voraussichtlich mit Tornados bis zu Stärke T-6 zu rechnen. Im Rahmen der Festlegung der Gefährdungsspezifikationen zum Baubewilligungsgesuch werden die Tornadohäufigkeiten und –stärken festgelegt. Der Vergleich mit den Angaben aus den Vereinigten Staaten von Amerika

[22] Quelle: http://www.tordach.org/

[23] Quelle: Artikel *Liste von Wetterereignissen in Europa.* In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie. Bearbeitungsstand: 26. Juli 2008, 10:41 UTC

zeigt aber, dass die Gefahr durch Tornados dort erheblich grösser ist, was zu entsprechenden Massnahmen bei der Auslegung der Standardanlagen führt.

3.4.5.8 Blitze

Die Blitzaktivität in der Schweiz ist stark saisonal geprägt. In den Wintermonaten werden dabei kaum Blitze registriert. Im Mai startet die Blitzsaison und erreicht ihren Höhepunkt im Juli. Die blitzreichste Region befindet sich auf der Alpensüdseite. Die Blitzdichte wurde ab 2000 registriert.

Blitzdichte (Statistik S50)

Abbildung 3.4-24: Jährliche Blitzdichteverteilung jeden Jahres von 2000-2007. Der schwarze Kreis lokalisiert Beznau

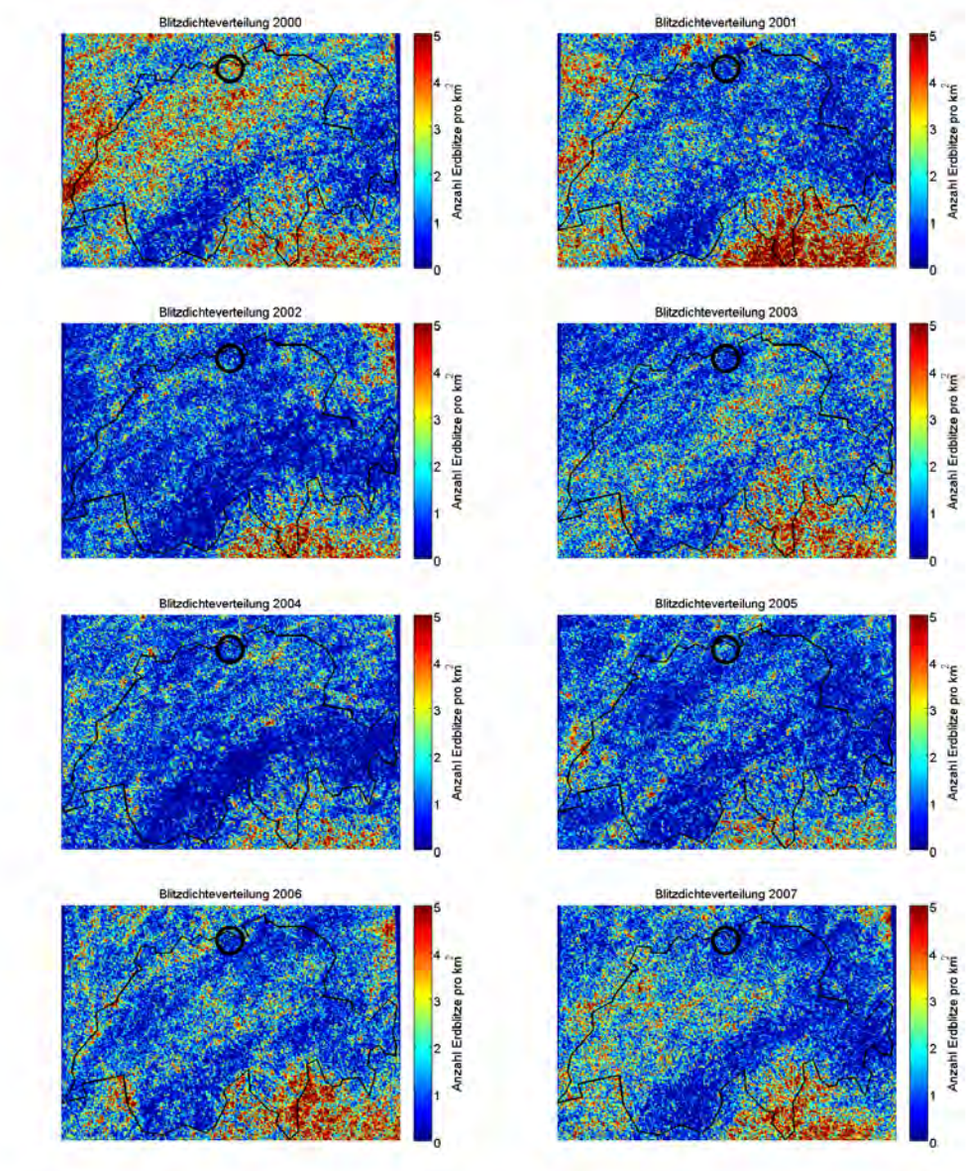


Abbildung 3.4-25: Monatliche Blitzdichteverteilung der blitzarmen Saison von November bis April. Der schwarze Kreis lokalisiert Beznau

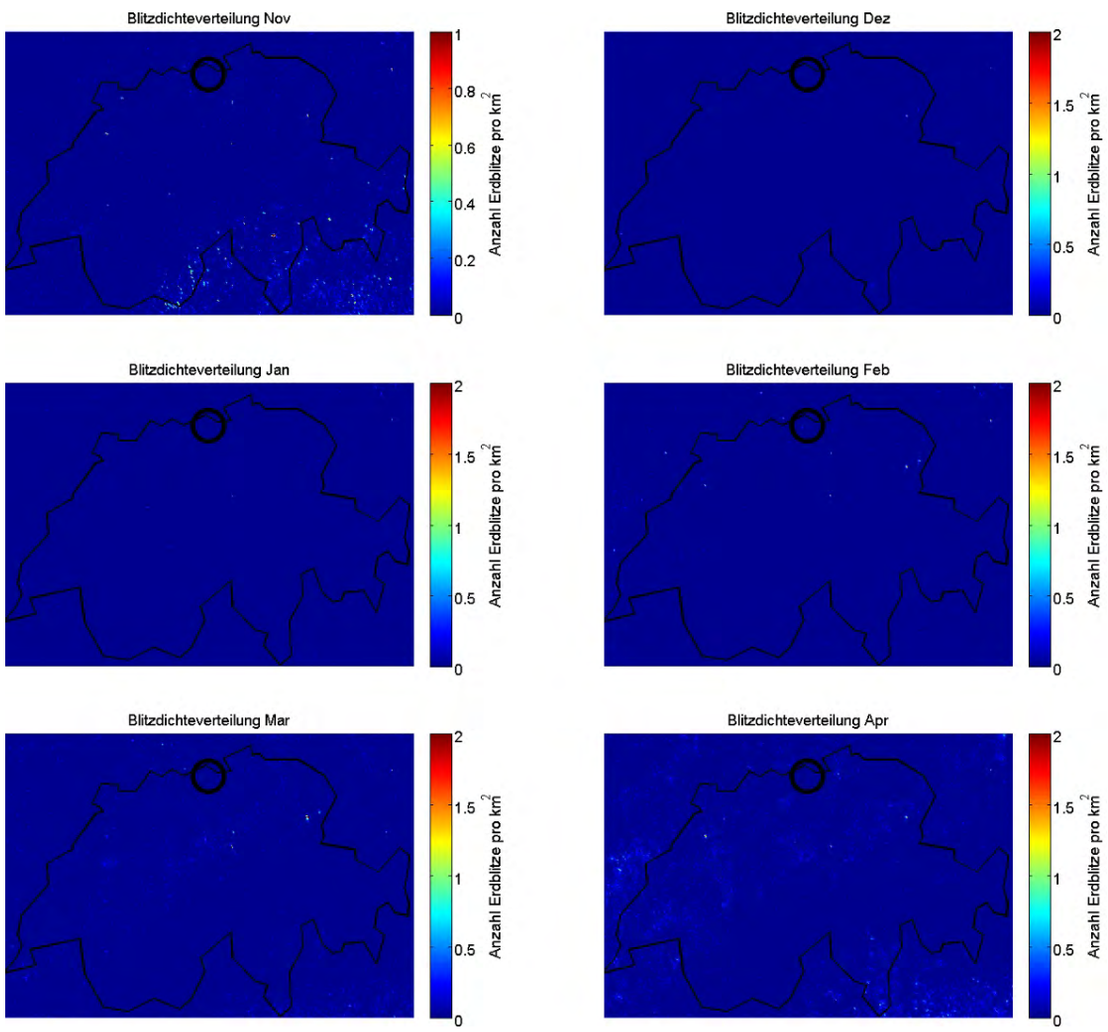
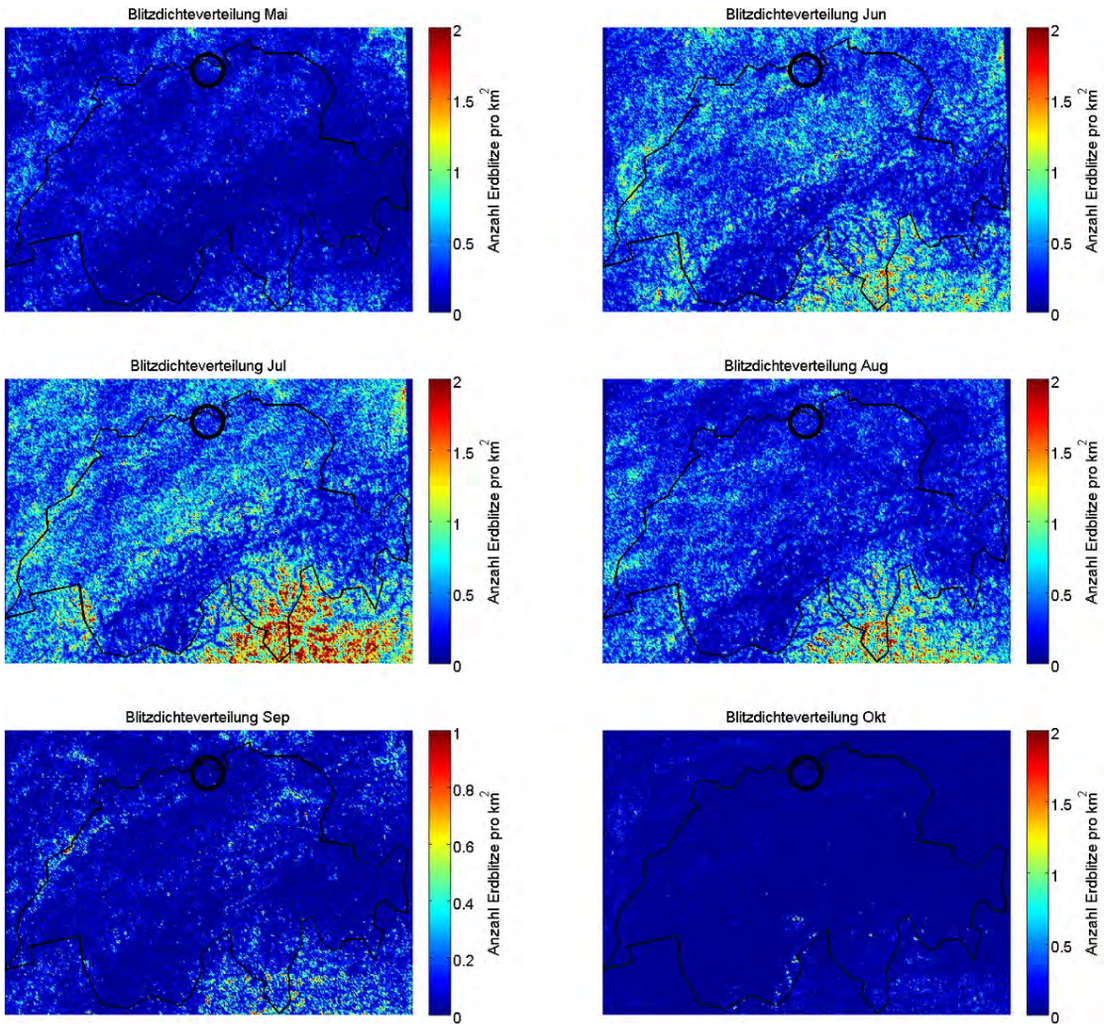


Abbildung 3.4-26: Monatliche Blitzdichteverteilung der blitzreichen Saison von Mai bis Oktober. Der schwarze Kreis lokalisiert Beznau



Blitzdichte (Häufigkeit) Standort Beznau (Statistik S51)

Der Standort Beznau weist weniger Blitzeinschläge auf als die umliegenden Gebiete. Dies ist ersichtlich in der grösseren Blitzdichte, wenn ein grösseres Gebiet rund um Beznau in Betracht gezogen wird (vgl. Tabelle 3.4-60).

Tabelle 3.4-60: Blitzdichte im Gebiet rund um Beznau für verschieden grosse Flächen rund um den Standort

Blitzdichte *b* [Anzahl Blitze/ (km² Jahr)]	Quadratisches Gebiet rund um Beznau [km²]
0.80	0.75
1.04	6.79
1.04	18.85
1.12	36.94
1.11	61.07
1.12	91.23
1.11	127.42
1.10	169.64
1.12	217.90
1.13	272.18
1.14	332.50
1.16	398.85
1.17	471.23
1.19	549.65
1.20	634.09
1.21	724.57
1.22	821.08
1.22	923.62
1.56	Ganze Schweiz

Häufigkeit und Wahrscheinlichkeit von Blitzen am Standort (Statistik S52)

Die Anzahl Blitze *n*, die auf einem Gebiet niedergehen, berechnet sich aus der Multiplikation von Blitzdichte *b* und der Fläche *A* des Gebietes:

$$n = b \cdot A$$

Beznau liegt auf einer Insel in der Aare mit einer Fläche von etwa A_{Beznau} = 0.210 km^2. Bei einer Blitzdichte von b_{Beznau} = 0.8 Blitzen/km^2 im Jahr werden pro Jahr

n_{Beznau} = 0.17 Blitze

die Insel treffen. Dies entspricht 1 Mal alle 5.9 Jahre.

Das Blitzerfassungssystem liefert auch Angaben zur Stromstärke. Diese werden bei der Erarbeitung des Blitzschutzkonzeptes im Rahmen des Gesuchs zur Baubewilligung berücksichtigt.

3.4.5.9 Ausbreitungsklassen für den Standort Beznau

Die Bestimmung der Ausbreitungsklassen erfolgte nach Dokument KTA 1508 [82]. Die Diffusionskategorien A-F wurden mit Hilfe des Temperaturgradienten und der mittleren Geschwindigkeit in 10 m Höhe gemäss Tabelle 7-2 im genanntem Dokument KTA1508 bestimmt.

4-Parametrige Ausbreitungsstatistik nach KTA1508

Die 4-Parametrige Ausbreitungsstatistik basiert auf den Daten der Jahre 1989-2007, da für den Niederschlag erst ab Oktober 1988 Daten vorhanden sind.

Die detaillierte 4-Parametrige Ausbreitungsstatistik ist in Anhang 12 vorhanden.

Die Ausbreitungklassen sind abgestuft in Kategorien von sehr instabil (A) über neutral (C und D) bis sehr stabil (F) in Abhängigkeit vomTemperaturgradienten und der Windgeschwindigkeit (nach [82]).

Kategorie D ist die neutrale Situation. Sie ist gekennzeichnet durch eine leichte Temperaturabnahme mit der Höhe oder durch hohe Windgeschwindigkeiten. Kategorie A ist die sehr labile Situation. Sie ist gekennzeichnet durch eine starke Temperaturabnahme mit der Höhe und schwache Winde. Die starke Erwärmung des Bodens durch die höhere Sonneneinstrahlung in den Sommermonaten führt zu diesem starken Temperaturgradienten. Kategorie F ist die sehr stabile Situation. Sie ist durch eine Temperaturzunahme mit der Höhe gekennzeichnet (Inversionslage), welche sich in der Nacht durch eine stärkere Abkühlung des Bodens und schwachen Winden einstellt. Dieser Effekt häuft sich in den Sommernächten mehr als in den Winternächten.

Aus den Statistiken S53 und S54 ist ersichtlich, dass die Kategorie D mit fast einem Drittel der Zeit überwiegt. Dies ist auch in der Aufteilung für jeden Monat der Fall. Erst in der Aufteilung nach Tag und Nacht und pro Monat in Statistik S55 ist die Dominanz zu Ende. Am Tag in den Sommermonaten ist Kategorie A ebenbürtig. Für die Nacht von Frühling bis Herbst überwiegen die Kategorien E resp. F.

Statistik S53

Tabelle 3.4-61: Häufigkeit der Ausbreitungskategorien A-F. Gezählt wurde jede Stunde von 2/1987 bis 12/2007.

Klasse	Anzahl Stunden 1987-2007	Prozentualer Anteil
Klasse A:	19293 h	10.5%
Klasse B:	13494 h	7.4%
Klasse C:	34791 h	19.0%
Klasse D:	54578 h	29.8%
Klasse E:	31820 h	17.4%
Klasse F:	25562 h	13.9%
Fehlende Messwerte:	3797 h	2.1%

Statistik S54

Tabelle 3.4-62: Anzahl Stunden pro Monat je Ausbreitungsklasse zwischen 2/1987 bis 12/2007.

Klasse	A	B	C	D	E	F	Fehlwerte
Jan	1043	1533	3720	4694	2137	1026	727
Feb	1035	1107	3203	4303	2372	1936	275
Mrz	1533	1154	3238	4242	2439	3018	0
Apr	1902	1344	2927	3910	2041	2929	67
Mai	2139	1104	2663	4291	2423	2994	10
Jun	2166	1012	2298	4518	2604	2395	127
Jul	2147	950	2361	4490	3094	2567	15
Aug	2356	927	1982	4117	3378	2795	69
Sep	1817	817	2071	4593	3394	2338	90
Okt	1234	829	2647	5234	3205	1845	630
Nov	919	1059	3423	5132	2607	915	1065
Dez	1002	1658	4258	5054	2126	804	722

Statistik S55

Tabelle 3.4-63: Mittlere Anzahl Stunden pro Monat je Ausbreitungsklasse am Tag (6-18 UTC)

Klasse	A	B	C	D	E	F
Jan	42	49	103	110	34	16
Feb	45	41	94	99	32	22
Mrz	70	50	112	97	26	18
Apr	89	59	104	85	14	6
Mai	99	50	100	101	16	6
Jun	100	46	88	105	13	6
Jul	100	44	95	108	19	5
Aug	111	42	82	102	21	12
Sep	86	38	82	105	26	21
Okt	57	34	89	114	35	29
Nov	39	37	98	109	36	15
Dez	35	49	110	114	33	14

Tabelle 3.4-64: Mittlere Anzahl Stunden pro Monat je Ausbreitungsklasse in der Nacht (18-6 UTC)

Klasse	A	B	C	D	E	F
Jan	10	28	83	125	73	35
Feb	5	11	59	106	81	71
Mrz	3	5	42	105	91	126
Apr	1	5	35	101	83	133
Mai	3	3	27	103	99	137
Jun	3	2	22	110	111	108
Jul	2	2	17	105	128	117
Aug	1	2	12	94	140	121
Sep	1	1	17	113	136	90
Okt	2	6	37	136	118	59
Nov	5	13	65	136	88	29
Dez	13	30	93	127	68	24

Die Tabellen in 3.4.13 veranschaulichen die Windverteilung in den verschiedenen Diffusionskategorien bei unterschiedlichen Niederschlagsmengen. Bei feuchtem Wetter (ca. 13% der Jahresstunden) dominiert die Windrichtung aus dem Sektor Süd bis West und zwar bei neutralen Diffusionskategorien (C und D). Bei trockenem Wetter lässt sich jeder Diffusionskategorie eine typische Windverteilung zuordnen.

Aus mehrjährigen meteorologischen Daten können ausserdem Langzeitausbreitungs- und Langzeit-Washout-Faktoren für den Standort Beznau bestimmt werden, welche für die Analyse der Ausbreitung und Ablagerung radioaktiver Stoffe aufgrund von Emissionen aus Kernanlagen mit Hilfe der Dosisberechnungsmodelle entsprechend HSK-Richtlinie G14 benötigt werden. Mit verschiedenen Modellen werden zwei Langzeitausbreitungsfaktoren als Basis für die Dosisberechnungen gemäss G14 verwendet:

- Mit Hilfe eines Immersionsmodells wird ein Langzeitausbreitungsfaktor ermittelt, der für Dosisberechnungen aufgrund der Belastungspfade "Inhalation, Bodenstrahlung und Ingestion" benutzt wird. Für die Berechnung der Strahlenexposition aus der radioaktiven Wolke wird dabei angenommen, dass die bodennahe Aktivitätskonzentration am betrachteten Aufpunkt homogen über den ganzen Halbraum verteilt ist.
- Für Dosisberechnungen aufgrund des Belastungspfades "externe Strahlung aus der Luft" muss die tatsächliche Konzentrationsverteilung radioaktiver Partikel in der Wolke berücksichtigt werden. Dies geschieht in der Regel mit einem Submersionsmodell oder mit einer korrigierten Immersionsrechnung. Mit letzterem Verfahren wird hier ein "Submersions"-Langzeitausbreitungsfaktor gemäss G14 berechnet.

Bei allen Immersions- und Submersionsrechnungen werden jeweils Gebäudeeinflüsse, topografische Korrekturen sowie die Kaminüberhöhung berücksichtigt.

Um die Ablagerung radioaktiver Stoffe auf den Boden und auf Pflanzenoberflächen vollständig zu beschreiben, muss zusätzlich die nasse Ablagerung aus der Wolke berücksichtigt werden. Daher werden ebenfalls Langzeit-Washout-Faktoren mit Hilfe der Wetterstatistik berechnet, wobei bei der Ablagerung aus der Wolke zwischen Aerosolen und Jod einerseits sowie Tritium andererseits unterschieden werden muss.

Die so ermittelten Ausbreitungs- und Washout-Faktoren sind ortsabhängige Grössen. Sie sind abhängig von der Distanz vom Abgabeort, den Windverhältnissen sowie vom Sektor der Ausbreitungsrichtung. Für konservative Dosisberechnungen wird der Ort mit dem höchsten Dosisbeitrag betrachtet. Daher muss jeweils der maximale Langzeitausbreitungs- und Washout-Faktor ermittelt werden. Gemäss G14 brauchen dabei landwirtschaftlich ungenutzte oder unbewohnte Gebiete sowie Distanzen kleiner als 200 m vom Abgabeort nicht berücksichtigt werden.

Wie oben erwähnt, sind die Ausbreitungs- und Washout-Faktoren u.a. abhängig von der Höhe des Fortluftkamins und vom Gebäudeeinfluss, insbesondere des Kühlturms. Da diese Anlagegrössen vom Reaktortyp abhängen, werden sie erst im Baubewilligungsgesuch festgelegt. Demzufolge werden auch die Ausbreitungs- und Washout-Faktoren erst für das Baubewilligungsgesuch ermittelt.

Die Ermittlung der Ausbreitungs- und Washout-Faktoren, gemäss G14 stellt einen Zwischenschritt in der Immersions- und Submersionsrechnung dar. Die Dosis-Berechnungen für einen Standort, gemäss G14, können direkt auf standortspezifischen Wetterstatistiken und topografischen Daten basieren, unabhängig von vordefinierten Ausbreitungs- und Washout-Faktoren. Die bevorzugte Vorgehensweise für den Nachweis wird im Baubewilligungsgesuch festgelegt.

3.4.5.10 Klimaveränderungen aus Datenreihen

3.4.5.10.1 Temperatur

Datenreihe Beznau

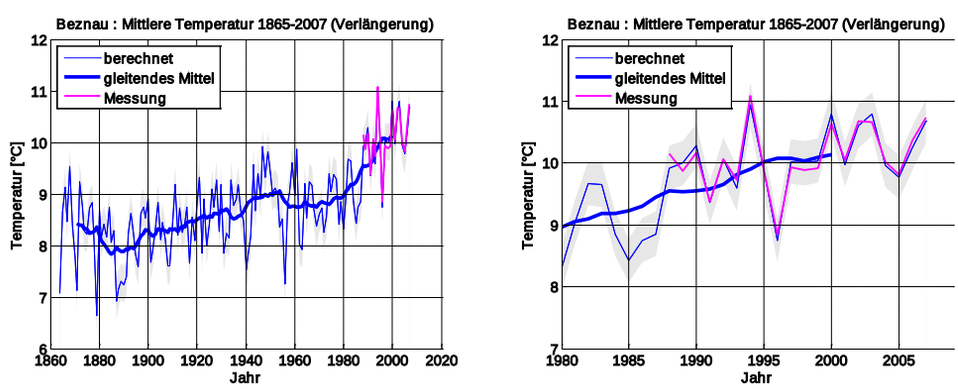
Mit Hilfe der Korrelationsanalyse von verschiedenen Standorten und der Erkenntnis, dass nur für die Temperatur hohe Korrelationen erzielt wurden, wurde die Datenreihe des Temperaturmittels für Beznau auf 150 Jahre verlängert (vgl. Abbildung 3.4-27).

Die gesamte Datenreihe (in dünner blauer Linie, mit dem 50% Konfidenzintervall als graue Fläche) für Beznau wurde basierend auf der homogenisierten Messreihe von Basel berechnet. Zusätzlich in dicker blauer Linie ist das gleitende Mittel über 15 Jahre ersichtlich. In Rot sind die Messungen von Beznau zum Vergleich dargestellt. Zoom in der zeitlichen Überlappung der berechneten und gemessenen Datenreihe zeigt die Grafik rechts.

Die rechte Grafik mit der zeitlichen Überlappung (ab 1988) der berechneten und gemessenen Datenreihe zeigt, dass die berechnete Reihe vernünftige Jahresmittelwerte ergeben hat.

Eine Erhöhung des gleitenden Mittelwerts (15-Jahre) ist ab ca. 1980 auszumachen und beträgt bis 2000 ca. 1 °C.

Abbildung 3.4-27: Mittlere Temperatur in Beznau von 1865-2007



Mit der neuen Datenreihe wurden einige der Statistiken neu erstellt (Tabelle 3.4-65 und Tabelle 3.4-66).

Tabelle 3.4-65: Beznau 10 m ü.B. 1865-2008 höchstes / tiefstes Monatsmittel der Temperatur [°C]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Min	-6.2	-8.8	1.2	5.7	9.8	12.9	15.4	14.6	9.9	5.1	1.1	-8.5
Max	4.7	6.3	9.1	13.3	17.7	22.5	22.7	22.7	17.5	13.1	7.9	6.3

Tabelle 3.4-66: Beznau 10 m ü.B. 1865-2008 Mittelwert und Standardabweichung der Monatswerte [°C]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Mittel	0.1	1.3	4.8	8.8	13.3	16.5	18.4	17.6	14.2	9.2	4.3	1.2
Std.	2.3	2.5	1.7	1.4	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.4	1.5	2.2

Allgemeine Beobachtungen im 20. Jahrhundert[24, 25]

Während des 20. Jahrhunderts hat die Temperatur global im Schnitt um +0.6 °C zugenommen. In kontinentalen Gebieten war die Erwärmung stärker als dieses globale Mittel. In der Schweiz liegt die Erwärmung je nach Landesteil zwischen +1.0 °C und +1.6 °C.

Tabelle 3.4-67: Erwärmung in den verschiedenen Landesteilen der Schweiz im 20. Jahrhundert

Westschweiz	Deutschschweiz	Alpensüdseite
+1.6 °C	+1.3 °C	+1.0 °C

Veränderungen zeigen sich auch beim Wasserhaushalt. Die Jahresniederschläge der Schweiz haben durchschnittlich um 8% zugenommen. Auf der Alpennordseite sind es im Winter sogar 20–30%. Gestiegen ist auch die Anzahl intensiver Tagesniederschläge und 5-Tagesniederschläge.

Da gleichzeitig die Verdunstung wegen der erhöhten Temperatur um etwa den gleichen Betrag zugenommen hat, ist das Jahresmittel der Gewässerabflüsse etwa gleich geblieben. Die Reduktion des Gletschervolumens in den Alpen trägt zum Abfluss nur zusätzlich 1.2% pro Jahr bei.

Parallel zum Anstieg der Temperatur in der Luft hat auch die Temperatur in den Fliessgewässern zugenommen.

[24] OcCC, 2007: Klimaänderung und die Schweiz 2050

[25] Bundesamt für Umwelt BAFU, 2007: *Klimaänderung in der Schweiz*

Analyse der 150-jährigen Datenreihen von Basel und Bern

Die homogenisierten Datenreihen von Abbildung 3.4-28 zeigen für beide Stationen den gleichen Verlauf über die angegebene Periode von ca. 150 Jahren. Der Anstieg der mittleren Temperatur im 20. Jahrhundert beträgt für die beiden Stationen rund 1.7 °C. Markant ist der Anstieg nach 1980, wo eine Zunahme von 1 °C innerhalb von 20 Jahren stattfand. Beim Tagesminimum und –maximum (Abbildung 3.4-29) zeigen sich Unterschiede zwischen den Stationen, wie auch zwischen Minimum und Maximum über die betrachtete Periode. Deshalb ist es schwierig, von einem Trend über den gesamten Datensatz zu sprechen. Was aber alle gemeinsam haben, ist die gleiche Zunahme nach 1980 wie bei der mittleren Temperatur.

Abbildung 3.4-28: Mittlere Temperatur in Basel (oben) und Bern (unten) während dem betrachteten Zeitraum von ca. 150 Jahren. Die rote Linie ist ein gleitendes Mittel des Datensatzes über 15 Jahre. Nach 1980 ist der markante Anstieg bedingt durch die Erwärmung deutlich ersichtlich.

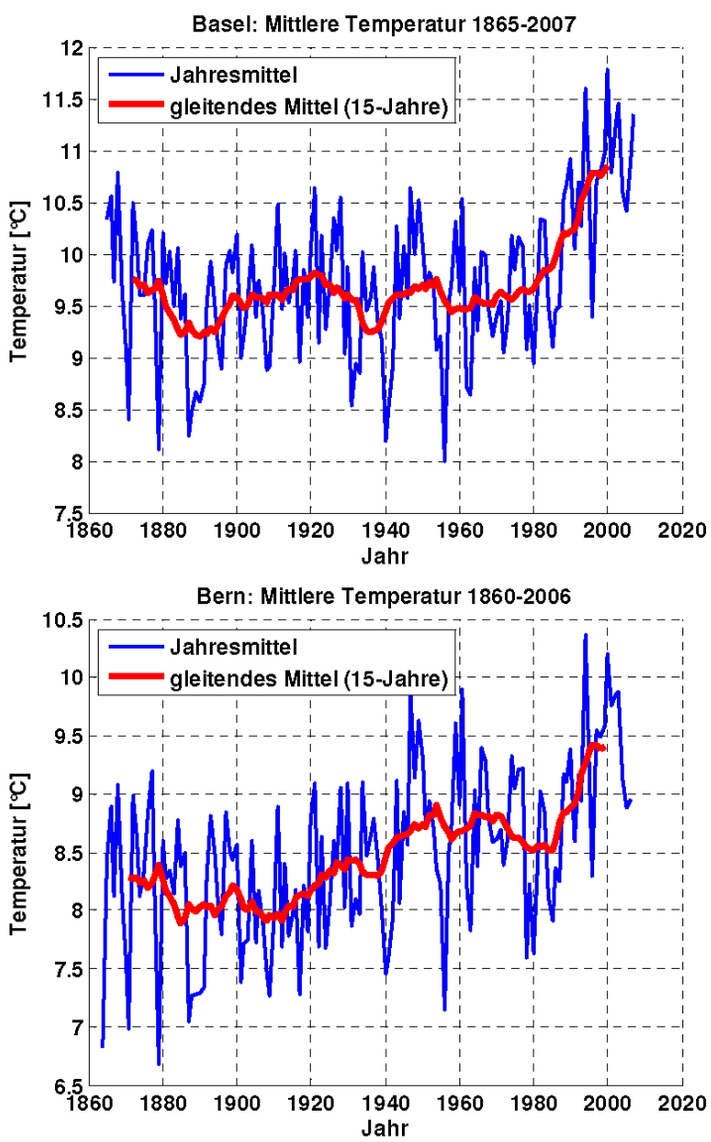
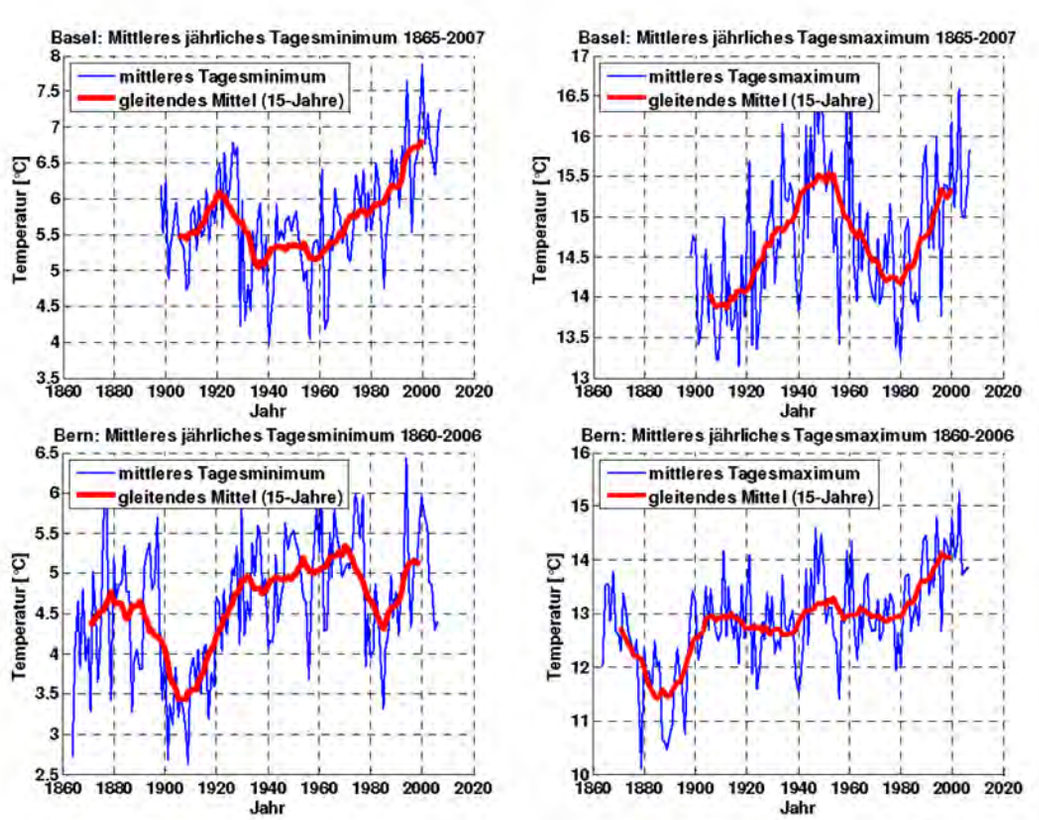


Abbildung 3.4-29: Mittleres Tagesminimum (links) und –maximum (rechts) in Basel (oben) und Bern (unten). Die rote Linie ist ein gleitendes Mittel des Datensatzes über 15 Jahre. Alle vier Grafiken zeigen nach 1980 eine Zunahme.

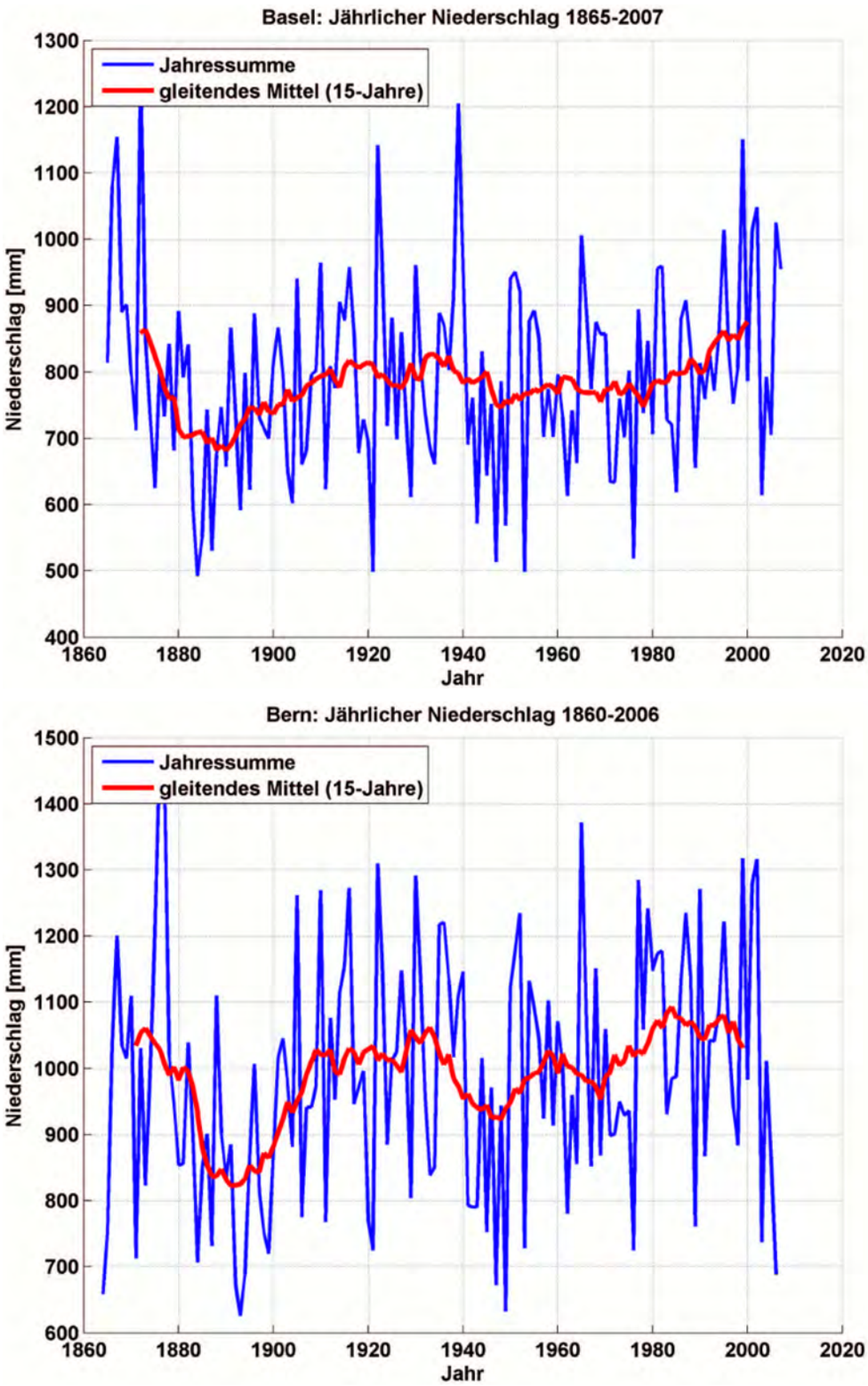


3.4.5.10.2 Niederschlag

Die 8%-ige Zunahme der Jahresniederschläge von 1900-2000 gemäss OcCC-Bericht[26] lässt sich in den Datenreihen von Abbildung 3.4-30 nachweisen. Es ist auch eine Zunahme nach 1980 vorhanden. Es muss aber darauf hingewisen werden, dass Ende des 19. Jahrhunderts (1890-1900) eine sehr trockene Periode war und davor die Jahresniederschläge auf etwa dem heutigen Stand waren. Im gleitenden Mittel lässt sich über die gesamten 150 Jahre kein Trend erkennen.

[26] OcCC, 2007: Klimaänderung und die Schweiz 2050

Abbildung 3.4-30: Jahressumme des Niederschlags in Basel (oben) und Bern (unten) während der letzten 150 Jahre. Die rote Linie ist ein gleitendes Mittel des Datensatzes über 15 Jahre.



3.4.5.11 Klimawandel im 21. Jahrhundert

3.4.5.11.1 OcCC Bericht

Die folgende Betrachtung (Prognosen) behandelt lediglich saisonale Mittelwerte. Die Werte wurden aus dem OcCC–Bericht[26] entnommen, welche wiederum aus dem EU-Projekt PRUDENCE stammen. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass es wärmer wird, zudem im Winter feuchter und im Sommer trockener.

Temperatur

Bis 2100 muss mit einer weiteren Erwärmung des Klimas gerechnet werden. Darin eingerechnet wurde die Entwicklung der Treibhausgasemissionen. Allfällige politische Massnahmen wurden dabei nicht berücksichtigt. Sie würden erst auf die zweite Hälfte des Jahrhunderts einen entscheidenden Einfluss haben.

Tabelle 3.4-68: Globales Szenario. Mittlere Klimaerwärmung gegenüber 1990; angegeben ist der Median und in Klammern das 95% Konfidenzintervall aller Modellläufe

1990 – 2050	1990 – 2100
1.5 °C (0.8-2.4 °C)	3 °C (1.4 -5.8 °C)

Für die Schweiz wird die folgende Entwicklung der Temperatur in den verschiedenen Jahreszeiten erwartet. Generell ist die Tendenz im Winter, Frühling und Herbst ähnlich gross und für den Sommer deutlich stärker.

Tabelle 3.4-69: Regionales Szenario für die Zunahme der mittleren Temperatur gegenüber 1990 für die Alpennordseite der Schweiz. Angegeben ist der Median und in Klammern das 95% Konfidenzintervall aller Modellläufe.

Jahr	Winter	Frühling	Sommer	Herbst
2030	1.0 °C (0.4 -1.8 °C)	0.9 °C(0.4 -1.8 °C)	1.4 °C (0.6-2.6 °C)	1.1 °C (0.5-1.8 °C)
2050	1.8 °C (0.9-3.4 °C)	1.8 °C (0.8-3.3 °C)	2.7 °C (1.4 -4.7 °C)	2.1 °C (1.1-3.5 °C)
2070	2.6 °C (1.2-4.7 °C)	2.5 °C (1.1-4.8 °C)	3.8 °C (1.9-7.0 °C)	3.0 °C (1.7-5.2 °C)

Niederschlag

Bei den Niederschlagsmengen zeigt sich eine Zunahme im Winter (mehr als 10%), eine Abnahme im Sommer (mehr als 20%) und kaum Veränderungen in den Übergangsmonaten.

Tabelle 3.4-70: Regionales Szenario für die relative Zunahme des Jahresniederschlags in % gegenüber 1990 für die Alpennordseite der Schweiz. Angegeben ist der Median und in Klammer das 95% Konfidenzintervall. Dabei bedeuten die Vorzeichen eine Abnahme (-) bzw. eine Zunahme (+)

Jahr	Winter	Frühling	Sommer	Herbst
2030	+4% (-1 bis +11%)	0%(-6 bis +5%)	-9% (-18 bis -3%)	-3% (0 bis -8%)
2050	+8% (-1 bis +21%)	-1% (-11 bis +10%)	-17% (-31 bis -7%)	-6% (-14 bis -1%)
2070	+11% (-1 bis +30%)	-1% (-15 bis +13%)	-23% (-41 bis -9%)	-9% (-20 bis -1%)

Ereignisse

Quantitative Abschätzungen zur Änderung der Häufigkeit von Extremereignissen in der Schweiz sind noch sehr unsicher. Für Temperaturextreme wie Kälte- und Hitzewellen sowie für Starkniederschläge liegen Befunde vor. Hinsichtlich anderer Extremereignisse, insbesondere auch Hagel- und damit Gewitterstürme, ist der Einfluss der Klimaänderung noch kaum fassbar [18]

3.4.5.11.2 Analyse MeteoSchweiz

Die MeteoSchweiz hat die Szenarien zur Temperaturentwicklung auch verglichen (Abbildung 3.4-31). Die Prognosen der Temperaturentwicklung im Winterquartal (DJF) und Sommerquartal (JJA) sind in Abbildung 3.4-32 illustriert. Gemäss diesem Szenario ist mit einer Erhöhung im Winter von bis zu ca. 4.7 °C bis 2070 zu rechnen. Im Sommerquartal wird ein noch grössere Erhöhung prognostiziert.

Abbildung 3.4-31: Zukunftsszenarien Temperatur (Alpennordseite)

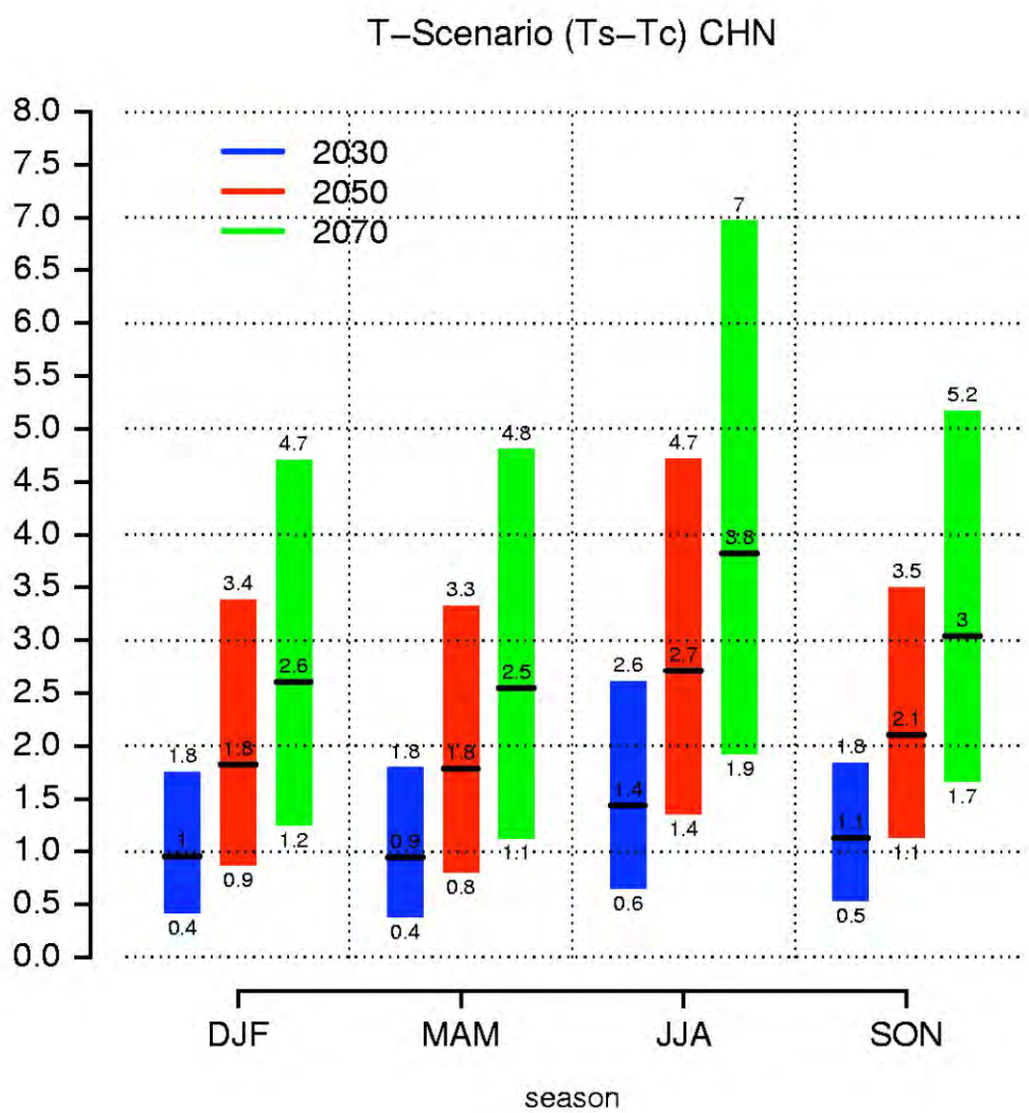
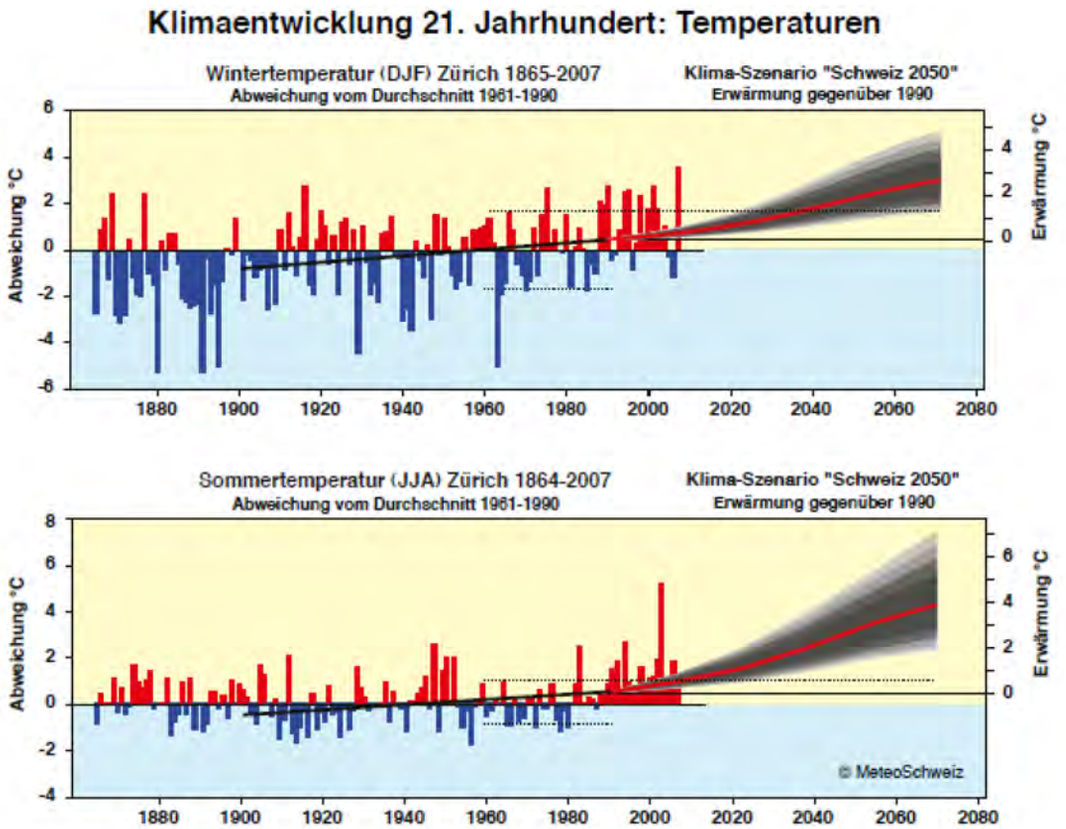


Abbildung 3.4-32: Zukunftsszenarien Temperatur, DJF, Daten ab 1865 (vgl. Abbildung 3.4-27)



3.4.5.11.3 Auswirkungen von Klimaveränderungen auf Extremereignisse[27,28]

Temperatur: Durch die Verschiebung der Temperaturverteilung nach höheren Temperaturen verschiebt sich auch die Wahrscheinlichkeit eines 50- und 100-jährigen Ereignisses. Oder anders betrachtet: die Temperatur eines 100-jährigen Ereignisses wird höher. Ein Hitzesommer von 2003 ist bei schwacher Klimaerwärmung weiterhin selten und kommt bei starker Erwärmung alle paar Jahre vor. Gleichzeitig werden Kälteperioden seltener.

Niederschlag: Die Erwärmung der Atmosphäre erlaubt eine höhere Wasserdampfaufnahme der Luft, was den Wasserkreislauf antreibt. Erwartet wird daraus eine Zunahme der Häufigkeit von Starkniederschlägen. Ereignisse, die heute alle 8-20 Jahre vorkommen, werden zukünftig alle 5 Jahre auftreten.

Schnee: Mit der Erwärmung wird auch die Schneefallgrenze steigen und die Häufigkeit von Schnee im Mittelland sinken. Zudem wird gefallener Schnee weniger lange liegen bleiben.

Trockenheit: Durch die Abnahme der Niederschläge im Sommer ist eine Häufigkeit von Trockenperioden zu dieser Jahreszeit zu erwarten.

---

[27] OcCC, 2007: Klimaänderung und die Schweiz 2050

[28] OcCC, 2003: Extremereignisse und Klimaänderung

Stürme: Starke Tiefdruckgebiete sind seit 1930 häufiger geworden, deren Zugbahnen haben sich aber nordwärts verschoben. Die Anzahl Starkwindtage (Böenspitzen > 90 km/h) hat in der Nordostschweiz in den letzten 150 Jahren abgenommen. Über die zukünftige Entwicklung lässt sich aber noch nichts Klares aussagen.

Tornados: Es lässt sich keine genaue Aussage machen über die Entwicklung der Tornadoaktivität in der Schweiz, da die Gewitterlagencharakteristik von Jahr zu Jahr verschieden ist.

3.4.5.12 Fazit

Die lokale Topografie und die direkte Umgebung haben einen direkten Einfluss auf die meteorologischen Parameter in den untersten Schichten der Atmosphäre. Zum Beispiel können umliegende Hügel das Windfeld stark beeinflussen oder ein anliegender Fluss oder See die relative Feuchte. Es ist nur mit Vorsicht eine Datenreihe von einem 30 km entfernten Ort zu analysieren, wenn die lokalen Umstände verschieden sind. Einzig bei der Temperatur und der Feuchtkugeltemperatur liessen sich hohe Korrelationen zwischen Datenreihen unterschiedlicher Standorte erzielen. Daher lassen sich stets mit Messungen vor Ort die besten Aussagen erzielen.

Vorsicht ist auch geboten bei der Interpretation von historischen Maxima und Minima, wenn die Datensätze unterschiedlich lang sind. Zum Beispiel ist das historische Minimum (Statistik S1) von Basel 1981-2007 mit -23.3 °C im Januar 1987 gemessen worden, während das Minimum von Beznau bei -13.3 °C liegt. Der Datensatz von Beznau startet erst im Februar 1987. Im zeitlichen Überlapp der beiden Datenreihen wurden in Basel auch nie tiefere Temperaturen als -15 °C gemessen.

Die Extremwertanalyse ergab für Beznau 100–jährige Temperaturextreme von 37.6 °C (Höchstwert) bzw. -21.7 °C (Tiefstwert). Diese Werte werden als Basis für die Bestimmung von Auslegungsparametern verwendet. Dabei werden Ergebnisse der Klimaprognosen berücksichtigt, um genügend Margen für Klimaveränderungen zu gewährleisten. Die klimatologischen Verhältnisse in Beznau sind aber im Vergleich zu anderen Regionen mit Kernanlagen (z.B. Südwest-Staaten der USA, Finnland, Kanada) als mässig einzustufen.

Die Kombination von tiefen Temperaturen und hoher Luftfeuchtigkeit im Winterhalbjahr ist für niedrige Tallagen im Mittelland der Schweiz typisch und kann zu Eisbildung an luftbeaufschlagten Komponenten und Bauten führen. Dies muss bei der Auslegung von Lüftungssystemen und von Kühlzellen bzw. Kühltürmen berücksichtigt werden.

Bei der Auslegung und Ausführung von Dachabläufen und anderen Wasserabläufen werden Massnahmen getroffen, um deren Funktionalität bei ausserordentliche Winterbedingungen (Schnee, Vereisung) zu gewährleisten.

Bezüglich Tornados liegt die Region Beznau / Leibstadt in einem aktiveren Gebiet der Schweiz. Tornados bis zur Stärke T4 wurden in der Umgebung beobachtet. Die Winddrücke von Windböen, die bei Stürmen oder Tornados auftreten, überschreiten die Werte der SIA-Norm 261 für den charakteristischen Staudruck. Aber auch hier ist die Intensität der Tornados (Wahrscheinlichkeit / Stärke) mässig, verglichen mit anderen Weltregionen. Für die Bestimmung von Windlasten liegen ausreichende Daten und abgeleitete Extremwerte vor.

Für die kurz-, mittel- und längerfristigen Niederschlagsmengen wurden Extremwerte aus der Datenbasis abgeleitet. Diese Werte werden unter anderem für die Auslegung von

Entwässerungssystemen der Bauten und im Gelände angewendet. Im Schnitt regnet es im Mittelland rund 1'000 mm pro Jahr. Dies ist auch als mässig im Vergleich zu anderen Weltgegenden einzustufen.

Für die Schweiz liegen seit 2'000 Daten zur Blitzdichteverteilung vor. Die daraus abgeleitete Blitzdichte am Standort ist niedriger als der gesamtschweizerische Durchschnitt. Es ist aber mit einer Häufigkeit von ca. 0.2 Blitzeinschlägen auf der Insel Beznau pro Jahr zu rechnen. Die Anlage wird gegen Blitzeinschlag so geschützt, dass die Konsequenzen von blitzinduzierten Störfällen beherrscht werden.

Für die Berechnung von Ausbreitungen am Standort liegt eine gut fundierte meteorologische Datenbasis vor.

Bis gegen Ende des 21. Jahrhunderts muss mit einer Erwärmung in jeder Jahreszeit und mit trockeneren Sommern und niederschlagsreicheren Wintern gerechnet werden.

Die Wiederkehrperioden der Extremereignisse wurden berechnet aufgrund der Messreihen des heutigen Standes. Es ist durchaus möglich, dass ein heute 50-jähriges Ereignis in 10 Jahren nur noch ein 30-jähriges Ereignis ist. In den nächsten Jahrzehnten werden sich mit dem Klimawandel auch Änderungen in den Extremereignissen ergeben. Die Klimamodelle von heute liefern vor allem Mittelwerte und sind noch nicht imstande, die Variabilität genügend gut vorauszusagen, um eine signifikante Aussage machen zu können. Deshalb werden sich die Analysen in regelmässigen Abständen mit den immer länger werdenden Messreihen wiederholen.

3.4.6 Externe Ereignisse

Entsprechend den Anforderungen der Kernenergieverordnung Artikel 8 wird die Anlage gegen Auslegungsstörfälle mit Ursprung ausserhalb der Anlage geschützt. Dies schliesst jene Ereignisse mit ein, welche direkt durch meteorologische Bedingungen verursacht werden könnten. Dabei werden folgende Ereignisse berücksichtigt:

- Sturmböe
- Blitzschlag
- Tornado

Andere Störfälle mit Ursprung ausserhalb der Anlage können auch durch meteorologische Ereignisse oder Bedingungen ausgelöst werden:

- Überflutung ausgelöst durch extremen Niederschlag;
- Verlust der externen Stromversorgung ausgelöst durch Sturmböe, Tornado oder Blitzschlag. Dieser Störfall wird in Kapitel 3.8"Netzeigenschaften" behandelt;
- Verlust von sicherheitsrelevanten Lüftungs- oder Kühlsystemen durch Vereisung der Ansaugungen oder anderen Komponenten;
- Beeinträchtigung oder Unterbruch der externen Kühlwasserzufuhr ausgelöst durch harte Sommerbedingungen bzw. Trockenheit, ausserordentlich raue Winterbedingungen mit niedrigen Temperaturen, niedriger Wasserführung und Vereisung. Diese Störfallkategorie "Beeinträchtigung der externen Kühlwasserzufuhr" wird in Kapitel 3.5 behandelt.

Die sicherheitstechnisch relevanten Bauten und Ausrüstungen der Anlage werden so ausgelegt, dass beim postulierten Eintreten dieser Ereignisse und deren Folgeereignissen (vgl. Tabelle 2.4-2) die Anlage in einen sicheren Zustand gebracht wird, unter Einhaltung aller Schutzziele und Limiten. Die entsprechenden Nachweise werden beim Gesuch zur Baubewilligung erbracht, wie in Anhang 4 KEV gefordert.

Andere meteorologische Ereignisse oder Bedingungen sind für die Auslegung von sicherheitsrelevanten Bauten, Systemen und Komponenten relevant (vgl. Kapitel 3.4.8), lösen aber keinen Störfall aus:

- Kombinationen von niedrigen Temperaturen und hoher Luftfeuchte, welche zur Vereisung von luftführenden Systemen und Komponenten oder Vereisung von Stromkabeln (Freileitungen) führen könnten. Die Anlage wird entsprechend gegen solche Einflüsse geschützt. Mögliche resultierende Störfälle werden im Rahmen der Massnahmen gegen Störfälle mit Ursprung innerhalb der Anlage behandelt, weil sie durch Versagen oder Fehlfunktion von Komponenten ausgelöst werden. Dies geschieht als Teil der Vorbereitung zum Baubewilligungsgesuch.
- Die Wasserableitungen innerhalb der Anlage (Gebäude und Gelände) werden so dimensioniert, dass langandauernde, extreme Niederschläge nicht zu Überflutungen des Geländes oder von Bauten führen.
- Bei der Auslegung von Bauten und exponierten Komponenten werden die Ergebnisse der Extremwertanalysen berücksichtigt (Temperatur, Wind, Schnee, Hagel).

3.4.7 Bewertung der Standorteignung im Hinblick auf das Klima

Die meteorologischen Bedingungen am Standort entsprechen den typischen mitteleuropäischen Verhältnissen für eine niedrige Höhenlage. Es sind keine Verhältnisse, welche die Standorteignung in Frage stellen würden.

Bedingt durch die Tallage im Mittelland mit der entsprechenden Neigung zu hoher Feuchtigkeit in Kombination mit niedrigeren Temperaturen, ist das Risiko von Vereisung von luftbeaufschlagten Komponenten relativ hoch. Dies muss bei der Auslegung der entsprechenden Komponenten berücksichtigt werden.

3.4.8 Umsetzung bei der Auslegung

3.4.8.1 Vorgehen bei Bau- und Betriebsbewilligung

Abhängig vom gewählten Reaktorkonzept wird Aussenluft zur Kühlung von sicherheitsrelevanten Komponenten und Gebäuden verwendet. Die Auslegung von sicherheitsrelevanten Kühltürmen oder anderen Einrichtungen zur Wärmeabfuhr ist von den meteorologischen Bedingungen abhängig. Diese Bedingungen am Standort wurden in Kapitel 3.4.5 charakterisiert. Die Extremwerte der Lufttemperatur und Feuchtigkeit am Standort bedeuten keine für die Auslegung der Systeme ungewöhnlichen Randbedingungen.

Die entsprechenden Auslegungsanforderungen an die sicherheitsrelevanten Lüftungssysteme oder Wärmeabfuhrsysteme werden gemäss Anhang 4 KEV im Sicherheitsbericht zur Baubewilligung beschrieben.

Bei der Auslegung von Bauten, Strukturen und Komponenten werden meteorologisch bedingte Belastungen, falls zutreffend, berücksichtigt. Dies schliesst Wind und Sturmbelastungen, Niederschlagsmengen und Temperaturbelastungen ein. Die standortspezifischen Werte solcher Parameter liegen innerhalb der üblichen für die Auslegung von Bauten und Strukturen festgelegten Grenzwerte.

Im Rahmen der Vorbereitung zum Baubewilligungsgesuch werden die Angaben zu Meteorologie und Klimatologie aktualisiert und im Sicherheitsbericht dokumentiert und bewertet.

Für die Auslegung der Anlage im Rahmen des Baubewilligungsgesuchs werden die Gefährdungen, ausgehend von klimatologischen Bedingungen, beschrieben und kategorisiert (Reaktortechnik R1). Daraus werden die Gefährdungsspezifikationen vorbereitet (Gesamtanlage G1) und in Ingenieurkenngrössen umgesetzt (Bautechnik B1). Die Ausrüstungen und Bauwerke werden klassiert (Systemtechnik S1; Bautechnik B1). Die vorläufigen Störfallanalysen werden durchgeführt (Reaktortechnik R2).

Die Auslegung der Anlage gegen Blitzschlag (Blitzschutz) wird dabei behandelt. Gemäss HSK-Richtlinie R-30 wird beim Baubewilligungsgesuch ein Blitzschutzkonzept eingereicht.

Die Festlegung der Nachweismethode für Bauten erfolgt im Rahmen der ersten Baufreigabe (Anhang 4 B2 KEV). In diesem Zusammenhang werden auch Auslegungsspezifikationen, Bemessungskriterien, Belastungsannahmen, Tragwerksmodellierung, Befestigungskonzept und Etagenverhaltensspektren definiert. Dabei werden die Belastungen, welche von den klimatologischen Bedingungen ausgehen, spezifiziert und in der Bemessung der Bauten umgesetzt und nachgewiesen. Dies schliesst auch Schneelasten und Niederschlagsmengen ein. Bei den Spezifikationen werden Extremwertbedingungen berücksichtigt, welche mit genügender Marge die erwarteten Extremwerte während der Lebensdauer der Anlage abdecken.

Für die mechanischen und elektrischen Ausrüstungen werden ebenfalls Auslegungsspezifikationen und Qualifikationsvorschriften vorbereitet und eingereicht (M2; E2). Wo zutreffend, werden die klimatologischen Bedingungen berücksichtigt. Dies gilt unter anderem für die Auslegung von Klimaanlagen und Kühlsystemen, welche von der Lufttemperatur und Feuchtigkeit abhängig sind. Auch dem Klima exponierte Ausrüstungen werden für die begrenzenden Bedingungen ausgelegt.

Bei der Festlegung der Auslegungswerte werden die aktuellen, postulierten Einflüsse von Klimaveränderungen berücksichtigt.

Die Spannungs- bzw. Tragfähigkeits- und Gebrauchsfähigkeitsnachweise für Bauten werden für die Baufreigabe (B3) eingereicht; die entsprechenden Nachweise für Ausrüstungen für die Freigabe der Inbetriebnahme.

Die ausgewerteten meteorologischen Parameter werden auch bei der rechnerischen Ermittlung der Strahlendosen in der Umgebung während des Normalbetriebes der Anlage und nach Störfällen verwendet.

Für die Beurteilung radiologischer Konsequenzen von Auslegungsstörfällen legen die Behörden begrenzende meteorologische Bedingungen für den jeweiligen Standort fest. Für die Auslegung von Bauwerken, welche die Ausbreitung beeinflussen, werden zusätzlich lokale und regionale Messwerte herangezogen.

Strahlendosen lassen sich nur bei genauer Kenntnis der Windverhältnisse ermitteln. Wichtig sind unter anderem der Geschwindigkeitsvektor, die Turbulenz sowie die thermische Stabilität, ihrerseits abhängig vom vertikalen Temperaturgradienten.

Die gleichzeitig durchgeführten Messungen der Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und Niederschlagsmenge sollen das allgemeine Klimabild vervollständigen.

Die Erkenntnisse der meteorologischen und klimatologischen Bedingungen am Standort sind genau genug, um die Ausbreitung radioaktiver Stoffe im Normalbetrieb sowie bei Störfällen zu bestimmen und die Gefahrensektoren im Falle eines Unfalls festzulegen.

Gemäss Art. 81 Abs. 4 StSV kann die Bewilligungs- oder Aufsichtsbehörde verlangen, dass vor der Betriebsaufnahme meteorologische Gutachten erstellt und Nullpegelmessungen durchgeführt werden. Für den Standort Beznau werden diese Kontrollmassnahmen und Messungen während drei Jahren vor der Betriebsaufnahme des EKKB durchgeführt.

3.4.8.2 SIA-Normen

Für die meteorologischen Parameter Schnee und Wind wird auf die Kapitel 5 und 6 der SIA Norm 261 aus dem Jahre 2003 "Einwirkungen auf Tragwerke" hingewiesen. Zusätzlich wird auf das SIA-Merkblatt 2028 "Klimadaten für Bauphysik, Energie- und Gebäudetechnik" und die meteorologische Datenbank METEONORM hingewiesen.

Schnee

Unter Kapitel 5.1.2 der SIA-Norm 261 steht: "Grösse und Form der Schneelast werden beeinflusst durch das Klima, die Topografie, den Standort und die Form des Bauwerks sowie durch die Windeinwirkung, die Beschaffenheit der Dacheindeckung und den Wärmeaustausch an der Dachoberfläche".

Der charakteristische Wert für Schneelast q_k lässt sich ermitteln durch:

$q_k = \mu_i \, C_e \, C_T \, s_k$

μ_i: Dachformbeiwert. Er ist abhängig von der Form des Dachs.

C_e: Windexposition. Ein Wert zwischen 1.2 (vor Wind geschützt) und 0.8 (dem Wind stark ausgesetzt).

C_T: Thermischer Beiwert. Im Allgemeinen $C_T = 1.0$. Falls Wärmedurchgang an die Dachoberfläche den Schmelzprozess beschleunigt, kann er kleiner angenommen werden.

s_k: Charakteristische Schneelast auf horizontalem Gelände. H_0 ist die Höhe über Meer plus allfällige Korrektur gemäss Anhang D.

$$s_k = \left[1 + \left(\frac{h_0}{350}\right)^2\right] \cdot 0.4 \, \frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}^2}$$

Für Beznau 326 m ü.M. ergibt sich für s_k = 0.75 kN/m^2. Die Norm besagt aber, dass mit mind. 0.9 kN/m^2 gerechnet werden muss.

Aufgrund der Analyse der gemessenen Schneehöhendaten und Ableitung der 100-jährigen Werte muss mit grösseren Schneelasten gerechnet werden.

Wind

Unter Kapitel 6.2.1.1 der SIA-Norm 261 steht: "Der Staudruck q_p hängt vom Windklima, von der Bodenrauhigkeit, der Form der Erdoberfläche und der Bezugshöhe ab." Der Staudruck des Winds wird weiter verwendet für die Berechnung der Kräfte auf das Gebäude.

Der charakteristische Wert berechnet sich aus:

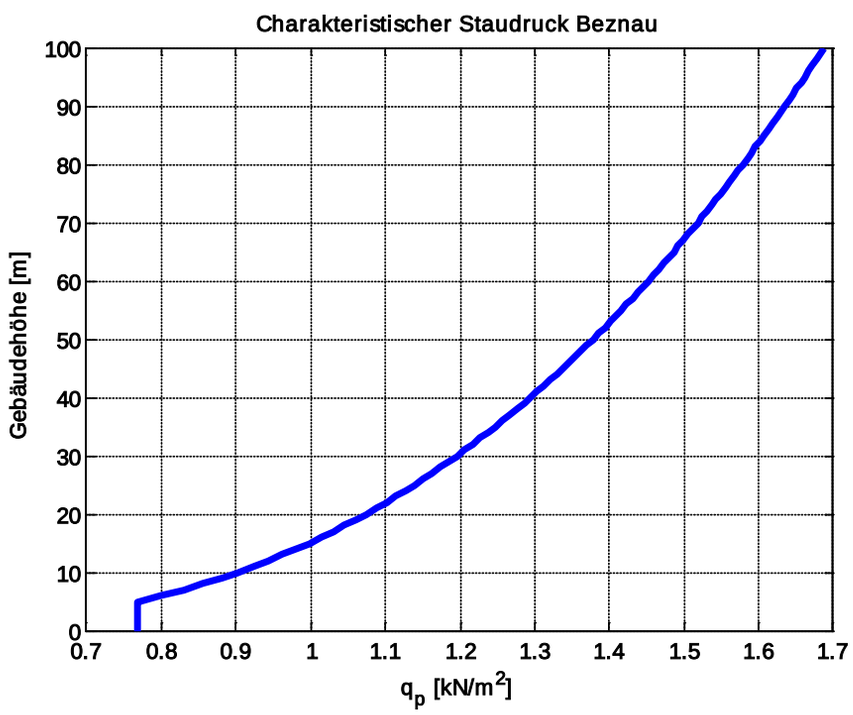
$q_p = c_h \, q_{p0}$

q_{p0}: Referenzwert, basierend auf 50-jähriger Windböe in 10 m Höhe. Für Beznau ist gemäss Anhang E q_{p0} = 0.9 kN/m^2.

C_h: Der Profilbeiwert berücksichtigt das Höhenprofil des Winds mit z_g der Gradientenhöhe und α_r Exponent der Bodenrauhigkeit. Diese Werte sind in Tabelle 4 der Norm tabelliert. Für Beznau wurde Geländekategorie III angenommen.

$$c_h = 1.6 \cdot \left[\left(\frac{z}{z_g} \right)^{\alpha_r} + 0.375 \right]^2$$

Abbildung 3.4-33: Charakteristischer Wert für den Staudruck für Beznau gemäss SIA-Norm 261



3.4.9 Anhang 7: Ausgewertete sicherheitsrelevante Parameter

Tabelle 3.4-71: Ausgewertete sicherheitsrelevante Parameter

Wetter-parameter	Sicherheitsparameter
Temperatur	S1: Historische Maxima und Minima S2: Tabellen mit absolut höchsten / tiefsten Werten für die einzelnen Monate und das Jahr der auswertbaren Messperiode S3: Tabellen mit den höchsten / tiefsten Stundenmittelwerten für die einzelnen Monate und das Jahr der auswertbaren Messperiode S4: Tabellen mit den höchsten / tiefsten Tagesmittelwerten für die einzelnen Monate und das Jahr der auswertbaren Messperiode S5: Tabellen mit den höchsten / tiefsten Monatsmittelwerten für die einzelnen Monate und das Jahr der auswertbaren Messperiode S6: Tabellen mit den mittleren Monatswerten für die einzelnen Monate der auswertbaren Messperiode, gerechnet aus den vorhandenen Stundenwerten inkl. Standardabweichung gerechnet aus den Stundenwerten S7a: Tabellen mit den mittleren monatlichen Tagesmaxima der auswertbaren Messperiode, inkl. der mittleren Standardabweichung S7b: Tabellen mit den mittleren monatlichen Tagesminima der auswertbaren Messperiode, inkl. der mittleren Standardabweichung S8: Tabellen mit den mittleren Monatsmaxima der auswertbaren Messperiode, inkl. der mittleren Standardabweichung S9: Tabellen mit den mittleren Monatsminima der auswertbaren Messperiode, inkl. der mittleren Standardabweichung gerechnet S10: Historische max. and min. der Stundenwerte mit 100-jähriger Wiederkehrdauer
Feuchtkugel-temperatur	P4: Wie für Temperatur
Rel. Feuchte	P5: Wie für Temperatur
Vereisung	S11: Kurzer Bericht über die Möglichkeit bzw. das Potenzial möglicher Vereisung von Anlagen inkl. relevante Bedingungen (Temperatur / Feuchtigkeit) und die entsprechenden Auftretenswahrscheinlichkeiten. Angabe allfälliger relevanter Normen.
Luftdruck	S12: Max. und min. historische Werte
Wind	S13: Historische Maxima S14: Tabellen mit absolut höchsten Böen-Werten für die einzelnen Monate und das Jahr der auswertbaren Messperiode S15-17: Tabellen mit den höchsten Stundenmittelwerten für die einzelnen Monate und das Jahr der auswertbaren Messperiode S18: Tabellen mit den mittleren Monatswerten für die einzelnen Monate der auswertbaren Messperiode, gerechnet aus den vorhandenen Stundenwerten inkl. Standardabweichung gerechnet aus den Stundenwerten S19: Tabellen mit den mittleren Monatsmaxima für die einzelnen Monate der auswertbaren Messperiode, gerechnet aus den vorhandenen Stundenmaxima inkl. Standardabweichung gerechnet aus den Stundenmaxima (nur für

Wetter-parameter	Sicherheitsparameter
	Zusatzstationen) S20: Grafiken der GEV für die max. Böenspitze S21: Grafiken der GEV für das max. 10-min. Mittel S22: Grafiken der GEV für das max. Stundenmittel S23: Tabellen mit den zu erwartenden Werten eines 50-,100-, und 200-jährigen Ereignisses, inkl. Abschätzung des Unsicherheitsbereiches, für die max. Böenspitze S24: Tabellen mit den zu erwartenden Werten eines 50-,100-,und 200-jährigen Ereignisses, inkl. Abschätzung des Unsicherheitsbereiches, für das max. 10-min. Mittel S25: Tabellen mit den zu erwartenden Werten eines 50-,100-, und 200-jährigen Ereignisses, inkl. Abschätzung des Unsicherheitsbereiches, für das max. Stundenmittel S26: "Design windspeed" mit 100-jähriger Wiederkehrdauer S27: Vergleich der Überschreitungsperiode mit entsprechender Jährigkeit und der Eintretenswahrscheinlichkeit eines Ereignisses (generisch) S28: Identifikation relevanter Normen bzw. Normwerte
Niederschlag	S29: Tabellen mit absolut höchsten Stundensummen für die einzelnen Monate und das Jahr der auswertbaren Messperiode S30: Tabellen mit absolut höchsten Tagessummen für die einzelnen Monate und das Jahr der auswertbaren Messperiode S31: Tabellen mit absolut höchsten 5-Tagessummen für die einzelnen Monate und das Jahr der auswertbaren Messperiode (nur für Zusatzstationen) S32: Tabellen mit absolut höchsten / tiefsten Monatssummen für die einzelnen Monate und das Jahr der auswertbaren Messperiode (nur für Zusatzstationen) S33: Tabellen mit den mittleren Monatswerten für die einzelnen Monate der auswertbaren Messperiode, gerechnet aus den vorhandenen Tages- bzw. Stundenwerten, inkl. Standardabweichung gerechnet aus den Monatswerten S34: Tabellen mit der mittleren Anzahl der Stunden mit Niederschlag für die einzelnen Monate der auswertbaren Messperiode, gerechnet aus den vorhandenen Stundenwerten, inkl. Standardabweichung S35: Tabellen mit der mittleren Anzahl der Tage mit Niederschlag für die einzelnen Monate der auswertbaren Messperiode, gerechnet aus den vorhandenen Tageswerten, inkl. Standardabweichung (nur für Zusatzstationen) S36: Grafiken der GEV für 1-Stundenniederschläge S37: Grafiken der GEV für 1-Tagesniederschläge S38: Grafiken der GEV für 5-Tagesniederschläge S39: Tabellen mit den zu erwartenden Werten eines 50-,100-, und 200-jährigen Ereignisses, inkl. Abschätzung des Unsicherheitsbereiches für 1-Stundenniederschläge S40: Tabellen mit den zu erwartenden Werten eines 50-,100-, und 200-jährigen Ereignisses, inkl. Abschätzung des Unsicherheitsbereiches für 1-Tagesniederschläge S41: Tabellen mit den zu erwartenden Werten eines 50-,100-, und 200-jährigen Ereignisses, inkl. Abschätzung des Unsicherheitsbereiches für 5-Tagesniederschläge S42: 1-Stundenniederschlag mit 100-jähriger Wiederkehrdauer und Verhältnis zu

Wetter-parameter	Sicherheitsparameter
	5-min-Wert S43: Maximale Schneehöhe mit 100-jähriger Wiederkehrdauer S44: Kurzer Bericht über die Möglichkeit bzw. das Potential für mögliche Schneemengen am Standort. Angabe allfälliger relevanter Normen S45: Kurze Hagelanalyse, v.a. Literaturrecherche. Evtl. Hagelhäufigkeit bestimmt aus Radaraufzeichnungen der letzten Jahre
Solarstrahlung	S46: Mittlere Solarstrahlung pro Monat und Stunde
Tornados / schwere Stürme	S47: Wahrscheinlichkeit und Stärke von Tornados im Raum Beznau S48: Bericht über das Auftreten beobachteter Tornadoereignisse S49: Beschrieb vergangener schwerer Sturmereignisse in der Schweiz, insbesondere der aufgetretenen Windgeschwindigkeiten und Winddrücke
Blitze	S50: Grafiken der monatlichen und jährlichen Blitzdichteverteilung, gerechnet aus den Daten von "Meteorage" der Periode 2000-2007 S51: Bestimmung der mittleren jährlichen Blitzdichte pro Quadratkilometer am Standort, gerechnet aus den Daten von "Meteorage" der Periode 2000-2007 (Mittel aus mehreren umliegenden Quadratkilometern) S52: Wahrscheinlichkeit und Stärke von Blitzereignissen seit 2000 für die Schweiz und den Raum Beznau (Grafiken und Tabellen)
Ausbreitungs-klassen A-F	S53: Stabilitätsklassen (A-F) gemäss KTA 1508 S54: Tabellen mit totalen Häufigkeiten der Diffusionskategorien pro Monat und Jahr gerechnet aus den Stundenwerten S55: Tabellen mit mittleren Häufigkeiten der Diffusionskategorien pro Monat und Jahr gerechnet aus den Stundenwerten (allenfalls unterschieden nach Tag / Nacht) S56: Tabellen mit Windverteilungen und Diffusionskategorien für die ganze Periode unterschieden nach Niederschlagsintensität (RR = 0.0, RR = < 0.5, RR = < 3.0, RR = > 3.0 mm), gerechnet aus den Stundenwerten, wobei für den Niederschlag evtl. auf eine umliegende Zusatzstation ausgewichen werden muss bzw. nur ein Teil des Datensatzes ausgewertet werden kann

3.4.10 Anhang 8: Methoden

3.4.10.1 Statistiken

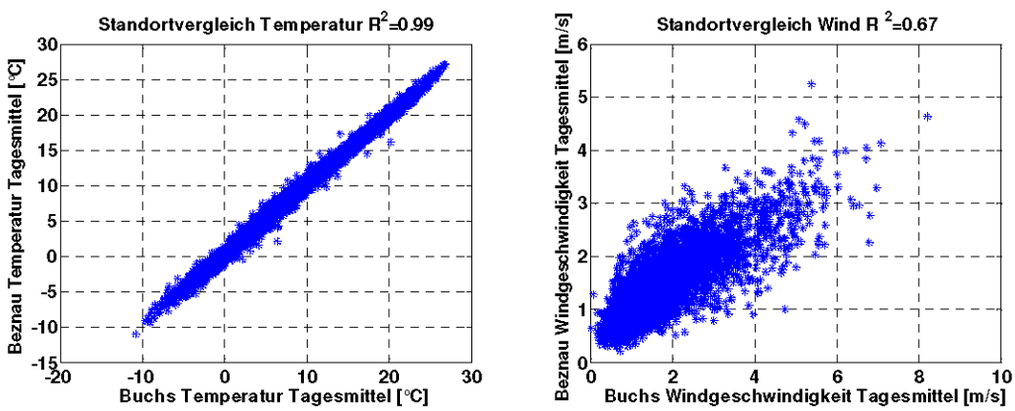
Die statistischen Parameter sind in Tabelle 3.4-71 aufgelistet.

3.4.10.2 Standortvergleiche

Das Ziel der Standortvergleiche ist es, die Datenreihe von Beznau mit Hilfe längerer Datenreihen anderer Standorte zu verlängern. Der Vergleich wurde mit einer Korrelationsanalyse und einer linearen Regression durchgeführt. Ein Vergleich zweier Standorte basiert auf Tageswerten zeitlich paralleler Datensätze X und Y. Das Bestimmtheitsmass R^2 wurde berechnet als Quadrat des Pearson'schen Korrelationskoeffizienten R. Dabei bedeutet:

- R = 1: Die beiden Datenreihen korrelieren miteinander
- R = 0: Die beiden Datenreihen korrelieren nicht miteinander
- R = -1: Die beiden Datenreihen sind entgegengesetzt korreliert
- R^2 = 0.8: 80% der Streuung von Y kann durch lineare Abhängigkeit von X erklärt werden.

Abbildung 3.4-34: Beispiel eines Standortvergleiches zwischen Buchs und Beznau. Die Temperatur (links) zeigt ein hohes Bestimmtheitsmass von R^2 = 0.99 und die lineare Abhängigkeit ist deutlich ersichtlich. Beim Wind (rechts) ist das Bestimmtheitsmass R^2 = 0.67 und die lineare Abhängigkeit ist nicht ersichtlich.



Aus der linearen Regression erhalten wir die beiden Koeffizienten A und B der linearen Gleichung *y = B*x+A*. Setzen wir z.B. für x die Datenreihe von Buchs ein, lässt sich die Datenreihe y für Beznau verlängern.

3.4.10.3 Generalized Extreme Value Distribution (GEV) – Extremwertverteilungen

Die Bestimmung von 50-, 100- und 200-jährigen Ereignissen wurde mit Hilfe der Extremwertverteilung GEV (Generalized Extreme Value Distribution) durchgeführt. Es wurde die "Blockmaxmethode" verwendet. Die 3 Parameter k (shape), σ (scale) und μ (location) der GEV wurden mit der Software MATLAB berechnet. Diese Parameter wurden jeweils in den Statistiken aufgeführt.

Die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion *f(x|k,μ,σ)* (pdf: probability density function) hat die Form:

$$f(x|k,\mu,\sigma) = \frac{1}{\sigma} \cdot \left(1 + k \cdot \frac{x-\mu}{\sigma}\right)^{-1-\frac{1}{k}} \cdot e^{-\left(1+k\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^{-\frac{1}{k}}}$$

Diese Funktion ist so normiert, dass die Fläche unter der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion 1 ist:

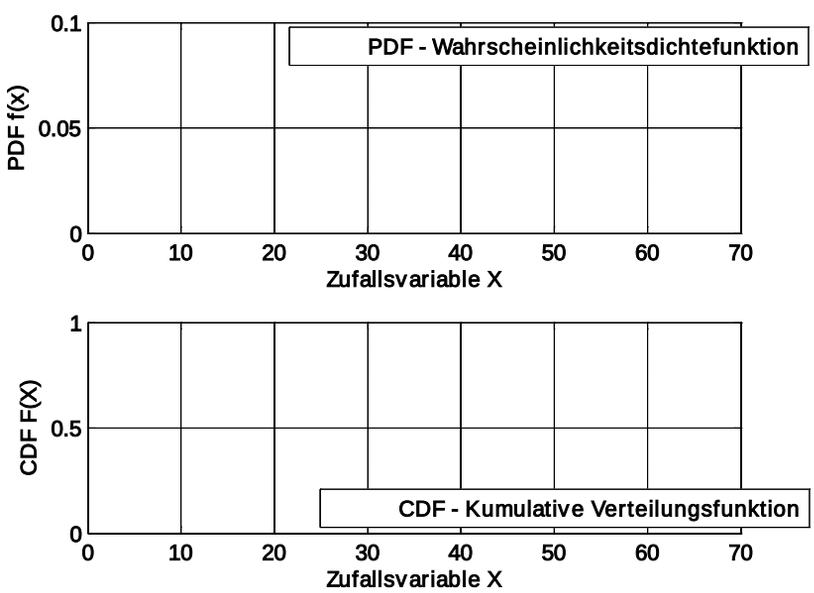
$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x|k,\mu,\sigma) = 1$$

Die kumulative Verteilungsfunktion (cdf: cumulative distribution function) *F(X)* ergibt sich durch die Integration der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion von -∞ bis X für alle X. Sie wird für die Berechnung der Wiederkehrperioden verwendet.

$$F(X) = \int_{-\infty}^{X} f(x|k,\mu,\sigma) \cdot dx$$

Ein Beispiel ist in der folgenden Abbildung gegeben.

Abbildung 3.4-35: Beispiel einer Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (pdf) und einer kumulativen Verteilungsfunktion (cdf)



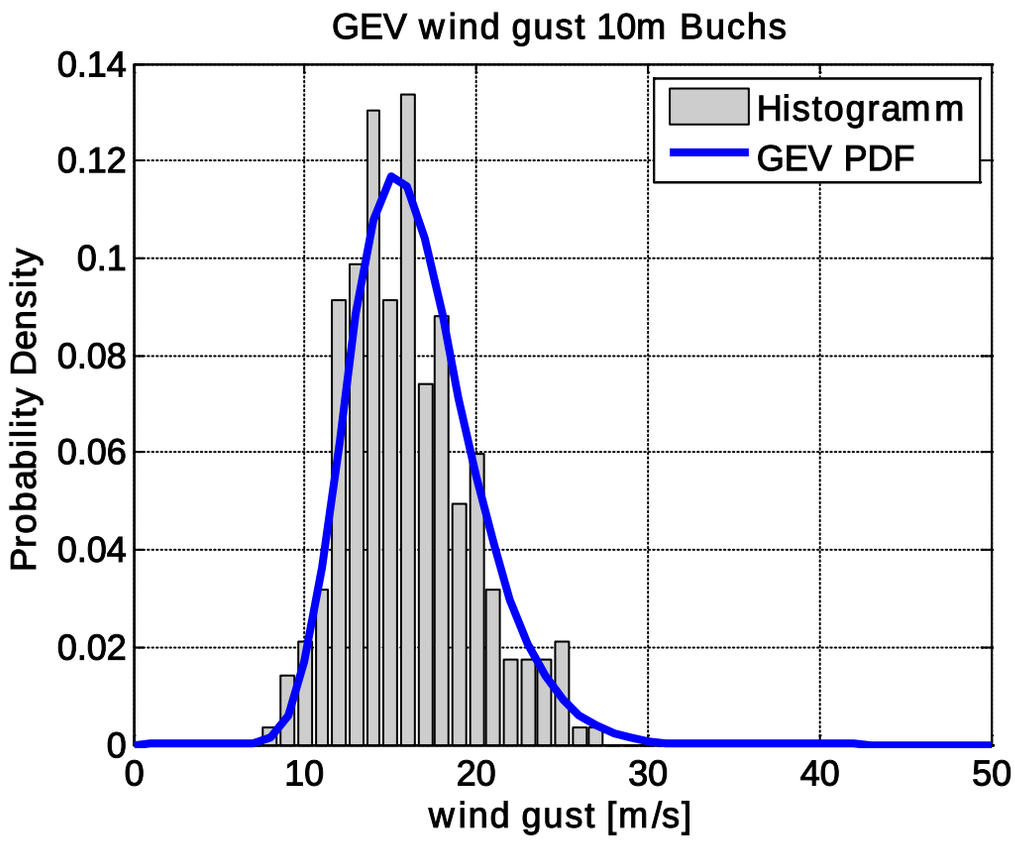
3.4.10.3.1 Blockmaxmethode

Bei der Blockmaxmethode bildet man von der gesamten Datenreihe Blöcke, von denen dann jeweils das Extremum in die Statistik einfliesst. Als Blockgrösse wird für die 150-jährigen Datenreihen 1 Jahr gewählt. Bei den kurzen Datenreihen ab 1980 wurde mit Monatsmaxima gerechnet, da sonst die Statistik sehr klein und die Unsicherheit sehr gross wird.

Eine Schwäche der Blockmaxmethode ist, dass innerhalb eines Blockes nur der höchste Wert zur Geltung kommt, auch wenn mehrere Extremereignisse innerhalb des Blockes stattgefunden haben.

Abbildung 3.4-36 zeigt ein Beispiel der Darstellung der GEV, wie sie in diesem Bericht verwendet wurde. Abgebildet wurde jeweils die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (pdf) als blaue Linie. Zusätzlich wurde ein Histogramm mit den Blockmaxima hinterlegt, zur Visualisierung der Güte der gefitteten GEV. Das Histogramm wurde mit der Anzahl Blöcke normiert.

Abbildung 3.4-36: Beispiel einer GEV mit hinterlegtem Histogramm der Blockmaxima, welche in die Statistik eingeflossen sind.



3.4.10.3.2 Wiederkehrperioden

Mit Hilfe der kumulativen Verteilungsfunktion wurden die Wiederkehrperioden $T_{return}(\theta)$ bestimmt, wobei θ das Return Level bezeichnet.

$$T_{return}(\theta) = d \cdot \frac{1}{1 - F(\theta)}$$ [29,30]

Für das Return Level $\theta(T)$ gilt somit:

$$\theta(T_{return}) = F^{-1}\left(1 - \frac{d}{T_{return}}\right)$$

F ist dabei die kumulative Verteilungsfunktion und F^{-1} die inverse kumulative Verteilungsfunktion. Der Parameter d ist der zeitliche Abstand zwischen zwei Messpunkten. Für eine Blockgrösse bei der Blockmaxmethode von 1 Jahr ist d = 1 Jahr und für eine Blockgrösse von 1 Monat ist d = 1/12 Jahr.

Abbildung 3.4-37 zeigt ein Ablesebeispiel des 100-jährigen Ereignisses einer GEV. Das 100-jährige Ereignis liegt bei $F(\theta)$ = 0.99 (das 50-jährige bei $F(\theta)$ = 0.98) der kumulativen Verteilungsfunktion. Oder anders ausgedrückt: Das 100-jährige Ereignis wird mit einer Wahrscheinlichkeit von 1% überschritten.

MATLAB liefert für die Parameter k, μ und σ 95% Konfidenzintervalle, mit Hilfe deren wir die Konfidenzintervalle der Extremereignisse berechnet haben.

Die Return Levels der Wiederkehrperioden werden präziser geschätzt, je länger die Datenreihen sind.

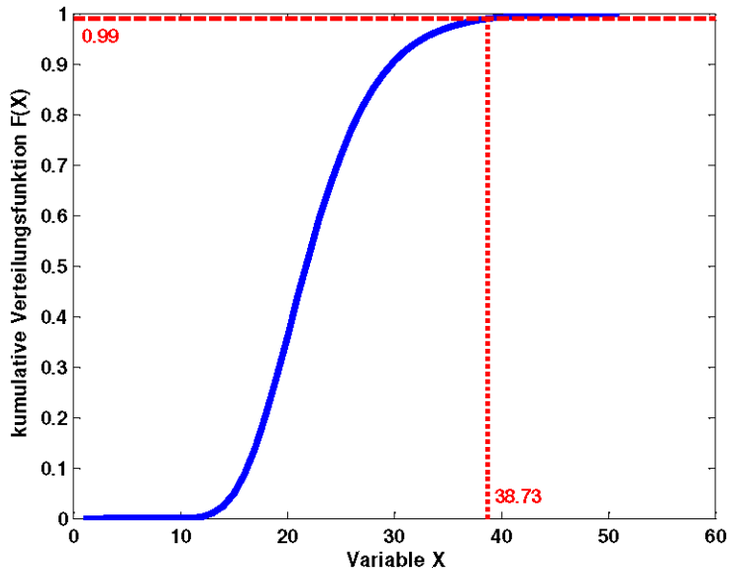
Auf Grund der Anforderungen wurden in diesem Bericht auch das 1'000- und 10'000-jährige Ereignis berechnet. Allerdings sind die Datenreihen zu kurz, um eine statistisch gute Aussage machen zu können.

---

[29] M. Mudelsee, 2002, *Statistische Methoden in der Meteorologie – Extremwertverteilungen*, Short Course Notes, http://www.manfredmudelsee.com/

[30] M. Mudelsee, 2007, Fehlergrenzen von Extremwerten des Wetters

Abbildung 3.4-37: Bestimmung des 100-jährigen Ereignisses aus einer GEV mit Blockmax von 1 Jahr. Das 100-jährige Ereignis liegt bei F(θ)=0.99. Für das Return Level θ ergibt sich der Wert 38.73.



3.4.10.3.3 Überschreitungswahrscheinlichkeit

Die Überschreitungswahrscheinlichkeit oder Eintretenswahrscheinlichkeit *p(Z)*, dass ein Ereignis einen bestimmten Wert *Z* übersteigt, ist gegeben durch das Integral von *Z* bis ∞∞ über die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (dies wird in Statistik S27 verwendet):

$$p(Z) = \int_{Z}^{\infty} f(x|k,\mu,\sigma) \cdot dx$$

3.4.10.4 Darstellung der Parameter P1-P6

Die graphischen Darstellungen der Parameter P1-P6 beinhalten Verteilungsfunktionen. Diese wurden jeweils so normiert, dass der häufigste vorkommende Wert den Wert 1 erhält.

3.4.10.5 Winddruckberechnung

Die Winddrücke p_W auf eine ebene quadratische Fläche A von 1 m² Grösse für die 50-, 100- und 200-jährigen Ereignisse (Statistiken S23-S25) sowie für die Beobachtungen von Tornados (S48) und starken Stürmen (S49) wurde die physikalische Formel angewendet:

$$p_W = \frac{F}{A} = c_w \cdot \frac{\rho_{Luft}}{2} \cdot v^2$$

wobei c_w: Widerstandswert quadratische Fläche (c_w = 1.5); ρ_{Luft}: Dichte von Luft; v: Windgeschwindigkeit. Die Luftdichte ist abhängig vom Luftdruck und von der Lufttemperatur, deshalb ist der Winddruck im Mittelland grösser als auf einem hohen Berg in den Alpen bei gleicher Windgeschwindigkeit.

3.4.11 Anhang 9: Statistik zu Temperaturen

Statistik S4: Tagesmittelwerte

Tabelle 3.4-72: Basel 1865-1980 höchster / tiefster Tages-Mittelwert Temperatur [°C]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Min	-20.2	-18.1	-10.6	-1.5	2.7	5.4	9.7	8.9	3.9	-2.1	-8.2	-19.0	-20.2
Max	14.3	14.0	17.0	20.1	24.3	28.0	29.7	27.6	24.6	23.3	17.0	16.0	29.7

Tabelle 3.4-73: Basel 1981-2007 höchster / tiefster Tages-Mittelwert Temperatur [°C]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Min	-18.5	-12.0	-7.6	-0.9	4.2	7.6	11.8	10.5	6.4	-0.1	-6.3	-12.1	-18.5
Max	13.7	14.6	17.2	19.9	23.5	27.1	28.1	29.0	22.9	20.3	16.4	15.8	29.0

Tabelle 3.4-74: Buchs 1984-2007 höchster / tiefster Tages-Mittelwert Temperatur [°C]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Min	-18.6	-12.1	-8.9	-1.5	4.2	7.6	10.7	10.6	5.7	-1.4	-7.8	-10.8	-18.6
Max	12.2	11.6	16.6	18.1	22.9	26.1	26.2	26.8	22.2	19.6	13.5	12.9	26.8

Tabelle 3.4-75: Beznau 10 m ü.B. 1987-2007 höchster / tiefster Tages-Mittelwert Temperatur [°C]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Min	-9.2	-8.5	-7.6	1.1	4.4	7.4	11.0	10.4	5.5	-0.8	-6.4	-11.0	-11.0
Max	14.3	14.6	16.6	18.1	22.5	26.0	26.3	27.2	22.6	20.0	14.1	14.9	27.2

Tabelle 3.4-76: Beznau 70 m ü.B. 1987-2007 höchster / tiefster Tages-Mittelwert Temperatur [°C]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Min	-9.7	-9.1	-7.8	0.4	3.8	7.2	10.5	10.0	5.0	-0.8	-6.8	-11.7	-11.7
Max	13.9	14.1	16.2	18.7	23.1	26.2	26.6	27.7	22.6	19.9	13.6	14.5	27.7

Tabelle 3.4-77: Leibstadt Sensor 1 10 m.ü.B 1987-2007 höchster / tiefster Tages-Mittelwert Temperatur [°C]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Min	-9.6	-8.6	-7.5	1.0	3.9	7.4	10.7	10.3	5.4	-0.7	-6.5	-11.2	-11.2
Max	13.4	14.2	16.5	18.9	22.8	26.2	26.6	27.5	22.6	18.6	13.0	15.0	27.5

Statistik S5: Monatliche Mittelwerte

Tabelle 3.4-78: Basel 1865-1980 höchste / tiefste monatliche Mittelwerte Temperatur [°C]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Min	-6.5	-9.3	1.6	6.0	9.8	13.2	15.7	14.8	9.9	5.3	1.4	-9.3	-9.3
Max	5.4	7.0	7.0	13.8	18.5	20.4	22.1	21.8	18.4	12.6	8.7	7.3	22.1

Tabelle 3.4-79: Basel 1981-2007 höchste / tiefste monatliche Mittelwerte Temperatur [°C]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Min	-4.7	-5.0	3.1	7.1	10.6	15.3	17.3	16.3	12.1	7.9	2.1	0.1	-5.0
Max	5.8	7.8	10.3	14.4	16.2	23.3	23.7	23.8	18.0	14.2	8.8	5.6	23.8

Tabelle 3.4-80: Buchs 1984-2007 höchste / tiefste monatliche Mittelwerte Temperatur [°C]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Min	-5.4	-4.6	1.9	6.7	10.1	14.4	16.6	15.4	11.2	7.1	1.6	-0.2	-5.4
Max	4.8	5.7	9.2	13.7	15.6	23.0	22.8	22.8	17.0	13.4	8.2	4.4	23.0

Tabelle 3.4-81: Beznau 10 m ü.B. 1987-2007 höchste / tiefste monatliche Mittelwerte Temperatur [°C]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Min	-1.4	-1.5	2.3	7.6	10.3	14.8	16.5	15.7	11.8	7.4	2.1	-0.2	-1.5
Max	5.6	6.0	9.5	13.8	15.7	22.8	23.1	23.0	17.3	13.2	8.6	5.0	23.1

Tabelle 3.4-82: Beznau 70 m ü.B. 1987-2007 höchste / tiefste monatliche Mittelwerte Temperatur [°C]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Min	-1.9	-1.7	1.9	7.3	10.1	14.6	16.2	15.5	11.5	7.1	1.5	-0.7	-1.9
Max	5.4	6.1	9.3	14.3	15.7	22.7	23.0	23.1	17.3	13.0	8.2	4.6	23.1

Tabelle 3.4-83: Leibstadt Sensor 1 10 m.ü.B. 1987-2007 höchste / tiefste monatliche Mittelwerte Temperatur [°C]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Min	-1.8	-1.5	2.0	7.4	9.9	14.4	16.4	15.5	11.7	7.2	2.3	-0.5	-1.8
Max	5.1	6.1	9.7	14.2	15.8	22.9	23.1	23.1	17.3	12.9	8.3	5.0	23.1

Statistik S6: Mittelwert und Standardabweichung pro Monat

Tabelle 3.4-84: Basel 1981-2007 Mittelwert und Standardabweichung pro Monat [°C]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Mittel	1.7	2.6	6.7	9.9	14.1	17.4	19.6	19.1	15.2	11.0	5.4	2.8
Std.	5.1	5.0	5.0	5.0	5.0	5.1	4.8	4.8	4.4	4.2	4.2	4.4

Tabelle 3.4-85: Buchs 1984-2007 Mittelwert und Standardabweichung pro Monat [°C]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Mittel	0.7	1.7	5.7	9.1	13.9	16.9	19.0	18.4	14.4	10.2	4.5	1.9
Std.	4.8	4.8	5.1	5.1	5.1	5.3	5.0	5.0	4.5	4.2	4.0	4.0

Tabelle 3.4-86: Beznau 10 m ü.B. 1987-2007 Mittelwert und Standardabweichung pro Monat [°C]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Mittel	1.6	2.5	6.1	9.4	14.0	17.1	19.1	18.7	14.6	10.4	4.9	2.3
Std.	4.4	4.5	4.9	5.0	4.9	5.1	4.7	4.7	4.3	3.9	3.9	4.2

Tabelle 3.4-87: Beznau 70 m ü.B. 1987-2007 Mittelwert und Standardabweichung pro Monat [°C]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Mittel	1.3	2.3	6.0	9.3	13.9	16.9	18.9	18.5	14.5	10.2	4.6	1.9
Std.	4.5	4.5	4.9	5.0	4.9	5.0	4.6	4.7	4.2	4.0	3.9	4.3

Tabelle 3.4-88: Leibstadt Sensor 1 10 m ü.B. 1987-2007 Mittelwert und Standardabweichung pro Monat [°C]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Mittel	1.3	2.3	6.1	9.5	14.0	17.1	19.1	18.7	14.6	10.2	4.7	1.9
Std.	4.4	4.4	4.9	5.0	5.0	5.2	4.8	4.9	4.3	3.9	3.8	4.1

Statistik S7a: mittlere monatliche Tagesmaxima

Tabelle 3.4-89: Basel 1865-1980 mittlere monatliche Tagesmaxima [°C]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Mittel	3.6	6.1	10.6	14.8	19.5	22.8	24.8	24.2	20.4	14.4	8.2	4.4
Std.	4.8	4.9	5.0	5.0	5.1	4.6	4.6	4.4	4.7	4.6	4.3	4.8

Tabelle 3.4-90: Basel 1981-2007 mittlere monatliche Tagesmaxima [°C]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Mittel	4.6	6.4	11.4	15.1	19.5	22.9	26.2	24.8	20.4	15.3	8.6	5.4
Std.	5.2	2.1	4.9	5.1	4.9	4.8	4.3	4.4	4.1	4.3	4.3	4.6

Tabelle 3.4-91: Buchs 1984-2007 mittlere monatliche Tagesmaxima [°C]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Mittel	3.1	5.3	10.3	14.1	19.2	22.2	24.7	24.2	19.7	14.3	7.2	3.9
Std.	4.7	4.9	5.0	5.1	4.9	5.2	4.5	4.7	4.3	4.3	4.0	4.1

Tabelle 3.4-92: Beznau 10 m ü.B. 1987-2007 mittlere monatliche Tagesmaxima [°C]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Mittel	4.0	6.0	10.7	14.4	19.1	22.0	24.2	24.0	19.4	14.1	7.5	4.3
Std.	4.6	4.7	5.0	5.1	4.7	5.1	4.4	4.6	4.1	4.0	4.0	4.4

Tabelle 3.4-93: Beznau 70 m ü.B. 1987-2007 mittlere monatliche Tagesmaxima [°C]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Mittel	3.5	5.5	10.0	13.7	18.5	21.4	23.6	23.4	18.8	13.6	7.0	3.9
Std.	4.7	4.8	5.0	5.1	4.8	5.1	4.4	4.6	4.2	4.0	4.0	4.5

Tabelle 3.4-94: Leibstadt Sensor 1 10 m.ü.B. 1987-2007 mittlere monatliche Tagesmaxima [°C]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Mittel	3.6	5.7	10.5	14.3	19.0	22.1	24.4	24.1	19.4	14.0	7.2	4.0
Std.	4.6	4.6	5.0	5.1	4.9	5.1	4.5	4.7	4.2	4.0	3.9	4.4

Statistik S7b. mittlere monatliche Tagesminima

Tabelle 3.4-95: Basel 1865-1980 mittlere monatliche Tagesminima [°C]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Mittel	-2.2	-1.0	1.4	4.6	8.3	11.6	13.5	13.1	10.5	6.2	2.0	-1.1
Std.	4.9	4.7	3.7	3.3	3.4	2.9	2.8	2.8	3.3	3.6	3.5	4.7

Tabelle 3.4-96: Basel 1981-2007 mittlere monatliche Tagesminima [°C]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Mittel	-1.0	-0.6	2.6	5.0	9.0	12.3	14.4	14.2	10.9	7.5	2.5	0.3
Std.	4.8	4.4	3.8	3.3	3.1	3.1	2.7	2.7	3.1	3.5	3.7	4.0

Tabelle 3.4-97: Buchs 1984-2007 mittlere monatliche Tagesminima [°C]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Mittel	-1.6	-1.5	1.5	4.3	8.8	11.8	13.7	13.3	10.0	6.9	2.0	-0.2
Std.	4.6	4.3	3.9	3.1	3.0	3.1	2.6	2.7	3.	3.4	3.6	3.7

Tabelle 3.4-98: Beznau 10 m ü.B. 1987-2007 mittlere monatliche Tagesminima [°C]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Mittel	-0.6	-0.4	2.2	4.9	9.3	12.4	14.4	14.1	10.9	7.5	2.7	0.3
Std.	3.9	3.6	3.7	3.1	2.9	2.9	2.4	2.4	2.9	3.3	3.5	3.7

Tabelle 3.4-99: Beznau 70 m.ü.B. 1987-2007 mittlere monatliche Tagesminima [°C]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Mittel	-0.8	-0.5	2.3	5.0	9.4	12.4	14.3	14.1	10.8	7.4	2.4	0.0
Std.	4.0	3.7	3.8	3.2	3.0	3.0	2.4	2.5	2.9	3.3	3.5	3.8

Tabelle 3.4-100: Leibstadt Sensor 1 10 m.ü.B. 1987-2007 mittlere monatliche Tagesminima [°C]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Mittel	-0.8	-0.5	2.2	5.0	9.3	12.4	14.2	14.0	10.6	7.3	2.4	0.0
Std.	3.8	3.5	3.7	3.1	2.9	3.0	2.5	2.5	2.9	3.3	3.4	3.7

Statistik S8: mittlere Monatsmaxima

Tabelle 3.4-101: Basel 1865-1980 mittlere Monatsmaxima [°C]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Mittel	11.8	13.9	18.8	23.4	28.1	30.5	32.6	31.7	27.7	22.2	15.8	13.0
Std.	2.8	3.1	2.4	2.7	2.5	2.4	2.6	2.5	3.1	3.0	2.6	3.0

Tabelle 3.4-102: Basel 1981-2007 mittlere Monatsmaxima [°C]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Mittel	13.6	14.2	20.1	23.9	27.4	30.7	32.8	32.3	27.0	23.1	16.7	14.1
Std.	2.7	3.6	2.9	2.4	2.3	2.0	2.4	2.5	2.3	2.7	1.9	2.3

Tabelle 3.4-103: Buchs 1984-2007 mittlere Monatsmaxima [°C]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Mittel	10.9	12.8	18.9	22.7	26.8	30.1	32.1	31.5	26.2	21.5	14.4	11.5
Std.	2.5	2.9	2.4	2.6	2.7	2.3	2.0	2.3	2.3	2.4	1.8	2.2

Tabelle 3.4-104: Beznau 10 m ü.B. 1987-2007 mittlere Monatsmaxima [°C]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Mittel	12.2	13.5	19.5	22.9	26.9	30.0	31.7	31.0	25.7	21.2	15.1	12.9
Std.	3.8	2.6	2.6	2.6	2.1	2.4	2.2	2.5	2.4	2.2	1.8	2.2

Tabelle 3.4-105: Beznau 70 m ü.B. 1987-2007 mittlere Monatsmaxima [°C]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Mittel	11.9	13.1	18.8	22.4	26.5	29.5	31.2	30.6	25.3	20.8	14.6	12.5
Std.	3.7	2.6	2.6	2.6	2.1	2.4	2.2	2.6	2.4	2.3	1.8	2.2

Tabelle 3.4-106: Leibstadt Sensor 1 10 m.ü.B. 1987-2007 mittlere Monatsmaxima [°C]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Mittel	12.1	13.4	19.2	23.0	27.0	30.2	32.0	31.4	25.7	21.2	14.6	12.5
Std.	3.8	2.5	2.6	2.5	2.0	2.4	2.1	2.6	2.4	2.1	1.8	2.7

Statistik S9: mittlere Monatsminima

Tabelle 3.4-107: Basel 1865-1980 mittlere Monatsminima [°C]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Mittel	-10.1	-8.2	-5.3	-1.2	1.7	6.3	8.4	7.7	4.3	-0.4	-4.3	-8.9
Std.	5.1	5.3	3.3	1.6	1.9	1.7	1.6	1.7	2.2	2.1	2.5	4.8

Tabelle 3.4-108: Basel 1981-2007 mittlere Monatsminima [°C]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Mittel	-8.8	-7.3	-3.6	-0.7	3.4	7.1	9.8	8.9	5.3	1.3	-3.5	-6.5
Std.	4.7	4.4	3.4	1.5	1.9	2.1	1.5	1.8	2.0	2.8	3.1	3.3

Tabelle 3.4-109: Buchs 1984-2007 mittlere Monatsminima [°C]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Mittel	-9.6	-7.9	-5.0	-1.1	3.2	6.6	9.0	8.3	4.6	0.8	-3.9	-7.0
Std.	4.9	4.3	3.6	1.4	2.0	2.0	2.0	1.9	2.1	2.9	3.1	3.3

Tabelle 3.4-110: Beznau 10 m ü.B. 1987-2007 mittlere Monatsminima [°C]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Mittel	-7.5	-6.5	-3.8	-0.3	3.8	7.5	10.2	9.3	5.6	1.6	-2.8	-6.4
Std.	2.9	3.4	3.5	1.2	1.9	2.1	1.7	1.6	1.9	2.8	3.3	2.8

Tabelle 3.4-111: Beznau 70 m ü.B. 1987-2007 mittlere Monatsminima [°C]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Mittel	-7.8	-6.7	-3.9	-0.4	3.8	7.3	10.1	9.1	5.5	1.4	-3.0	-6.7
Std.	2.8	3.4	3.7	1.3	2.0	2.1	1.9	1.7	1.9	2.9	3.2	2.7

Tabelle 3.4-112: Leibstadt 1 Sensor 1 10 m ü.B. 1987-2007 mittlere Monatsminima [°C]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Mittel	-7.6	-6.7	-3.8	-0.4	3.8	7.3	10.1	8.9	5.0	1.4	-3.0	-6.5
Std.	2.8	3.3	3.6	1.2	2.1	2.2	1.9	1.7	1.6	2.8	3.3	2.7

3.4.12 Anhang 10: Statistik zu Windgeschwindigkeit

Statistik S18

Tabelle 3.4-113: Basel 1981-2007 mittlere Monatswerte und Standardabweichung gerechnet aus Stundenwerten 16 m ü.B. [m/s]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Mittel	3.0	2.9	2.8	2.1	2.2	2.2	2.1	2.0	2.0	2.2	2.1	2.9
Std.	1.5	1.5	1.5	1.3	1.1	1.1	1.0	0.9	1.0	1.2	1.3	1.5

Tabelle 3.4-114: Buchs 1984-2007 mittlere Monatswerte und Standardabweichung gerechnet aus Stundenwerten 10 m ü.B. [m/s]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Mittel	1.8	1.8	1.8	1.7	1.5	1.4	1.4	1.2	1.2	1.2	1.4	1.8
Std.	1.5	1.5	1.5	1.3	1.1	1.1	1.0	0.9	1.0	1.2	1.3	1.5

Tabelle 3.4-115: Beznau 1987-2007 mittlere Monatswerte und Standardabweichung gerechnet aus Stundenwerten 10 m ü.B. [m/s]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Mittel	1.4	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.2	1.1	1.1	1.1	1.2	1.5
Std.	1.0	1.1	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.9	1.0

Tabelle 3.4-116: Beznau 1987-2007 mittlere Monatswerte und Standardabweichung gerechnet aus Stundenwerten 70 m ü.B. [m/s]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Mittel	2.5	2.4	2.3	2.3	2.2	2.1	2.0	1.8	1.9	1.8	2.1	2.5
Std.	1.8	1.8	1.7	1.6	1.6	1.5	1.4	1.3	1.4	1.5	1.6	1.8

Tabelle 3.4-117: Leibstadt 1987-2007 mittlere Monatswerte und Standardabweichung gerechnet aus Stundenwerten 10 m ü.B. [m/s]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Mittel	2.0	2.0	2.1	2.0	1.9	1.8	1.8	1.5	1.6	1.5	1.7	2.0
Std.	1.8	2.0	1.9	1.6	1.5	1.5	1.4	1.3	1.4	1.4	1.5	1.8

Tabelle 3.4-118: Leibstadt 1987-2007 mittlere Monatswerte und Standardabweichung gerechnet aus Stundenwerten 110 m ü.B. [m/s]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Mittel	3.4	3.5	3.6	3.4	3.3	3.2	3.2	2.7	3.0	2.9	3.1	3.5
Std.	2.8	3.0	2.8	2.5	2.4	2.4	2.3	2.2	2.3	2.4	2.5	2.8

Tabelle 3.4-119: PSI 1992-2007 mittlere Monatswerte und Standardabweichung gerechnet aus Stundenwerten 70 m ü.B. [m/s]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Mittel	2.9	2.9	2.6	2.5	2.4	2.2	2.2	1.9	2.0	2.1	2.3	2.9
Std.	2.5	2.3	2.1	1.8	1.8	1.6	1.6	1.5	1.6	1.9	1.9	2.3

Statistik S19

Tabelle 3.4-120: Basel 1981-2007 mittlere Monatsmaxima und Standardabweichung gerechnet aus Stundenmaxima 10 m ü.B. [m/s]

Mean	25.2	23.3	22.9	20.4	19.3	20.9	20.6	19.6	18.5	21.9	21.2	24.0
Std.	7.2	6.2	5.6	5.2	3.6	4.2	3.2	4.9	3.6	5.6	5.8	5.6
Mean	25.2	23.3	22.9	20.4	19.3	20.9	20.6	19.6	18.5	21.9	21.2	24.0

Tabelle 3.4-121: Buchs 1984-2007 mittlere Monatsmaxima und Standardabweichung gerechnet aus Stundenmaxima 10 m ü.B. [m/s]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Mean	18.7	17.7	17.6	15.3	15.5	16.2	16.5	15.3	14.7	16.0	16.2	17.6
Std.	5.1	3.8	3.1	2.9	2.3	2.4	2.9	4.0	3.5	4.0	3.4	3.5

Tabelle 3.4-122: Leibstadt 1987-2007 mittlere Monatsmaxima und Standardabweichung gerechnet aus Stundenmaxima 10 m ü.B. [m/s]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Mean	16.7	16.0	15.9	13.9	13.1	13.0	12.7	12.5	11.9	14.6	14.3	16.8
Std.	4.9	3.4	3.2	1.7	2.3	2.2	1.4	2.3	1.7	4.0	2.5	4.5

Tabelle 3.4-123: Leibstadt 1987-2007 mittlere Monatsmaxima und Standardabweichung gerechnet aus Stundenmaxima 110 m ü.B. [m/s]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Mean	21.5	20.3	20.0	17.5	16.8	17.0	16.5	16.8	15.9	19.0	18.3	21.8
Std.	6.1	4.4	4.0	2.5	3.1	2.8	1.8	3.6	2.2	4.9	3.2	5.9

Tabelle 3.4-124: PSI 1992-2007 mittlere Monatsmaxima und Standardabweichung gerechnet aus Stundenmaxima 70 m ü.B. [m/s]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Mean	21.0	19.7	19.4	17.8	18.8	18.6	17.4	15.6	16.7	18.4	18.7	21.5
Std.	6.2	2.7	3.8	2.5	2.6	3.4	2.7	5.5	3.3	4.9	3.6	4.7

3.4.13 Anhang 11: Windrosen pro Monat der Standorte Basel, Buchs, Beznau und PSI

Abbildung 3.4-38: Windrose der Hauptwindrichtung Basel 1981-2007 pro Monat (Jan-Mar, Apr-Jun, Jul-Sep, Okt-Dez)

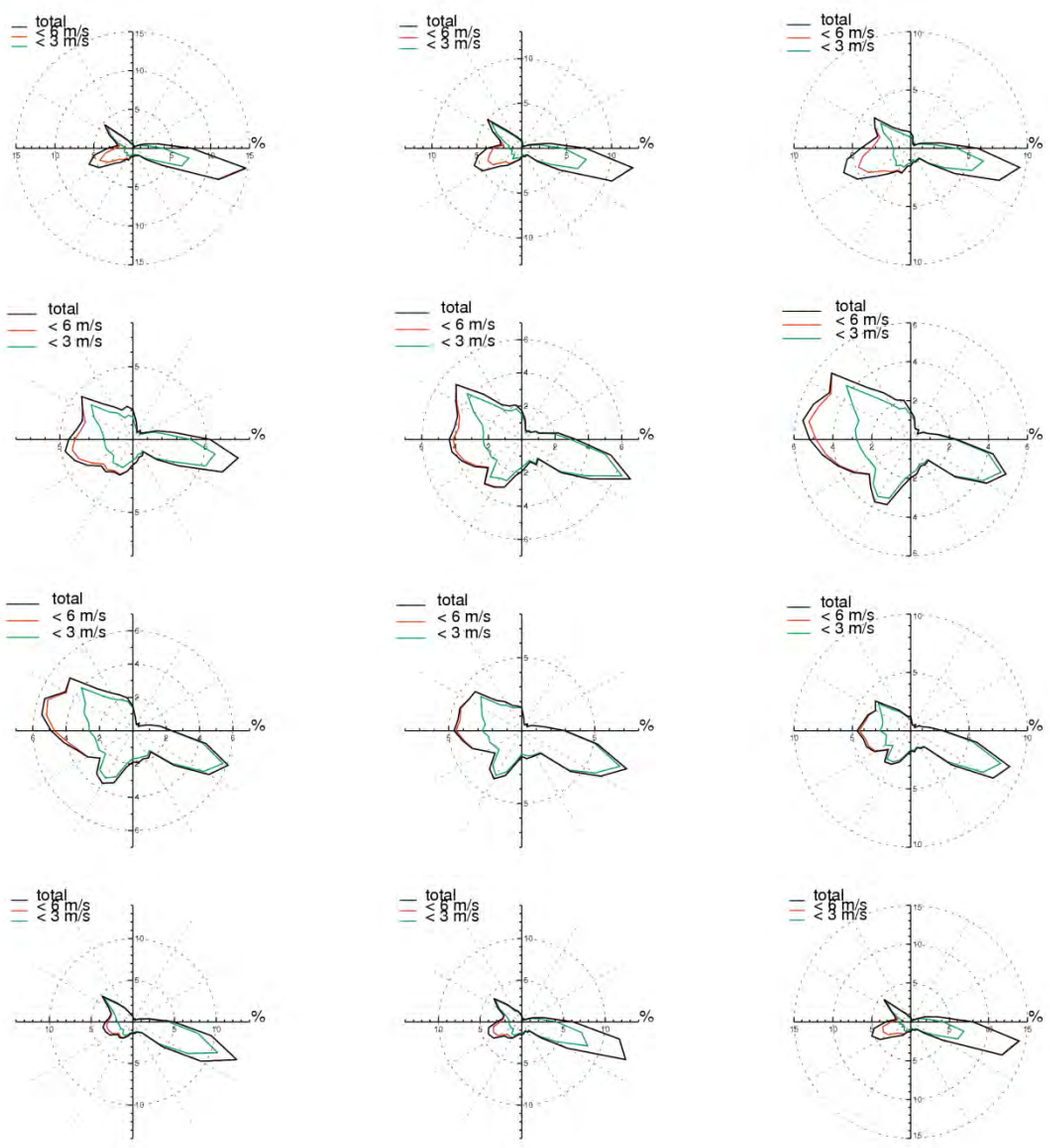


Abbildung 3.4-39: Windrose der Hauptwindrichtung Buchs 1984-2007 pro Monat (Jan-Mar, Apr-Jun, Jul-Sep, Okt-Dez)

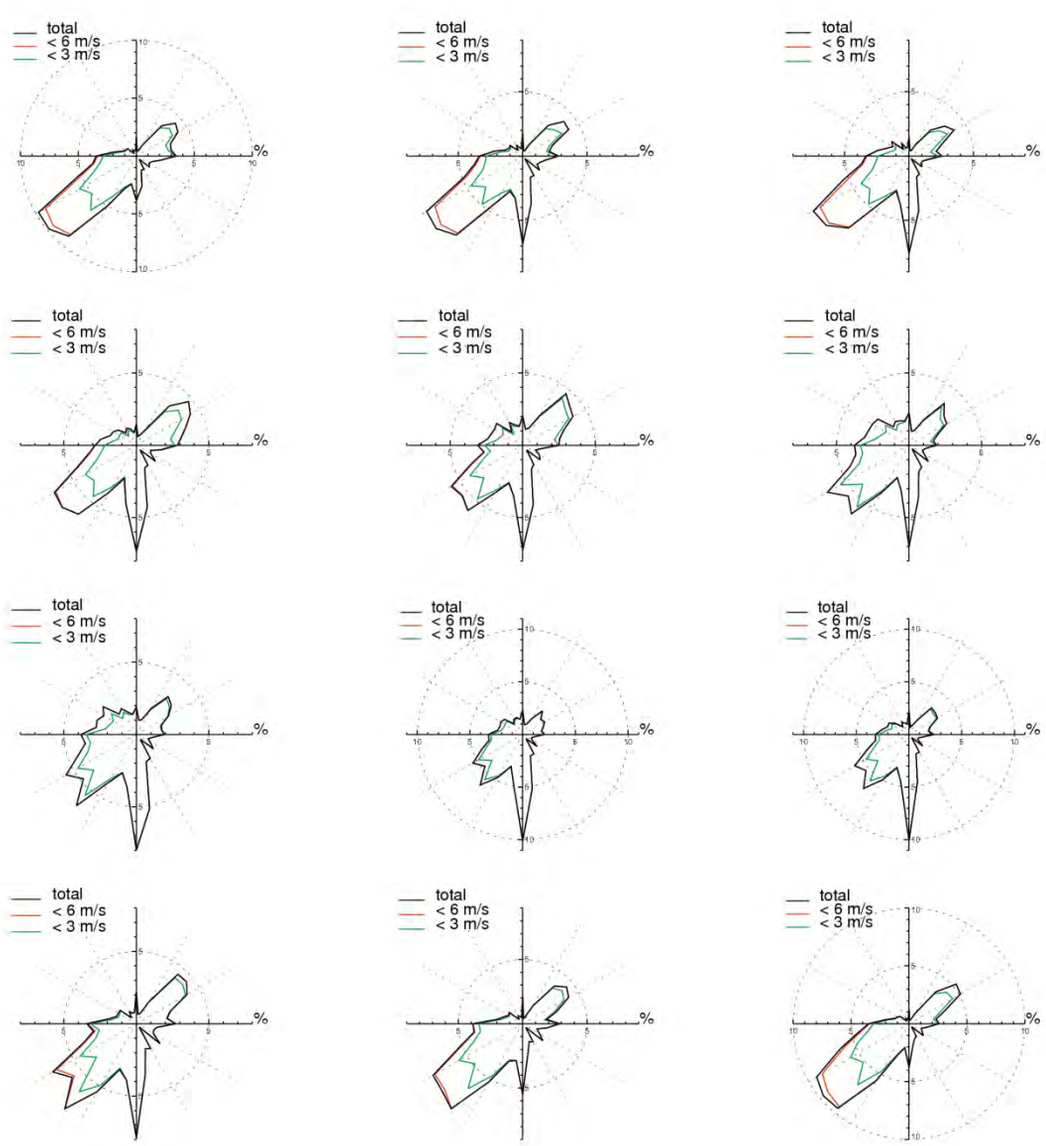


Abbildung 3.4-40: Windrose der Hauptwindrichtung Beznau 1987-2007 10 m ü.B. pro Monat (Jan-Mar, Apr-Jun, Jul-Sep, Okt-Dez)

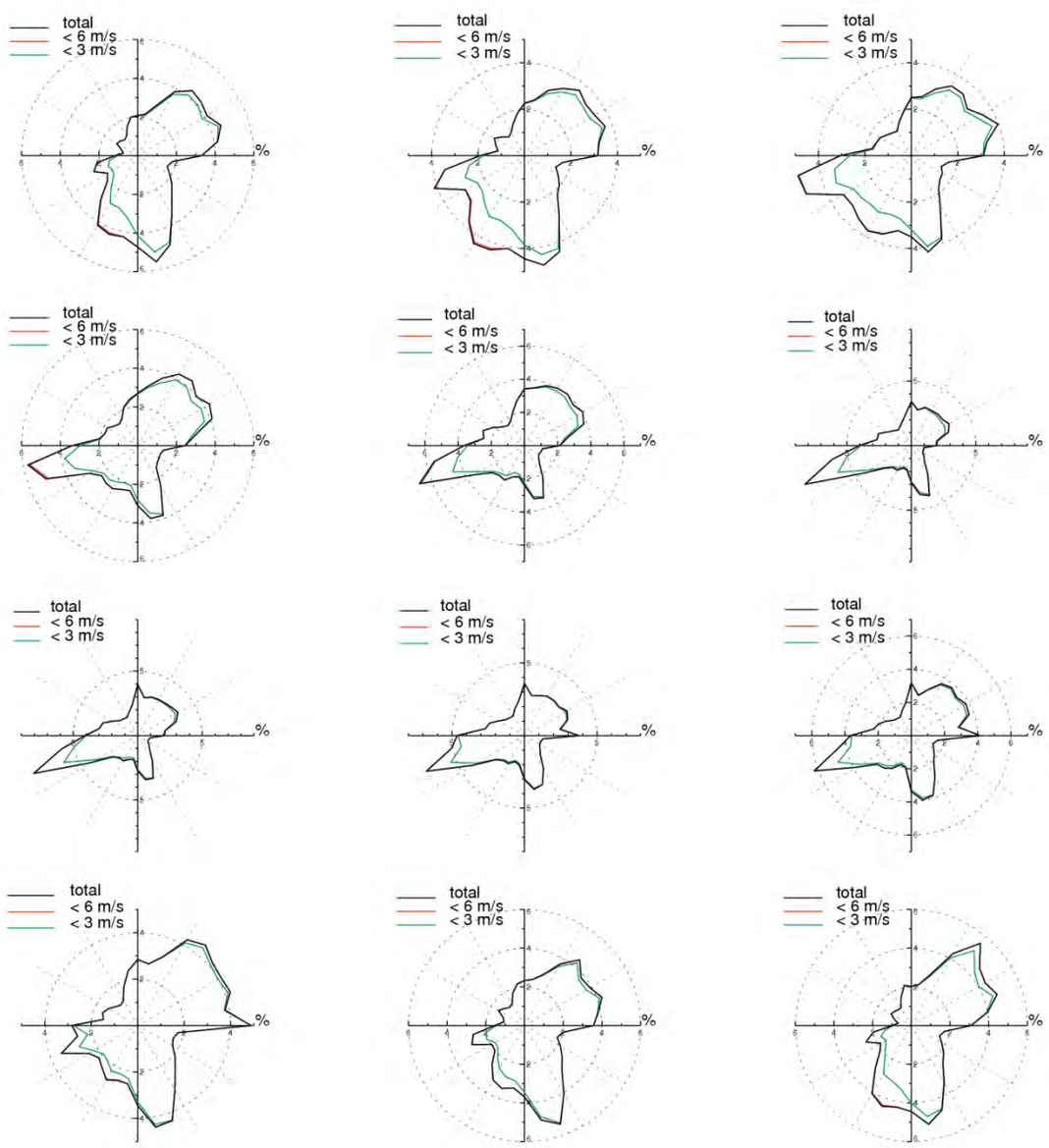


Abbildung 3.4-41: Windrose der Hauptwindrichtung Beznau 1987-2007 70 m ü.B. pro Monat (Jan-Mar, Apr-Jun, Jul-Sep, Okt-Dez)

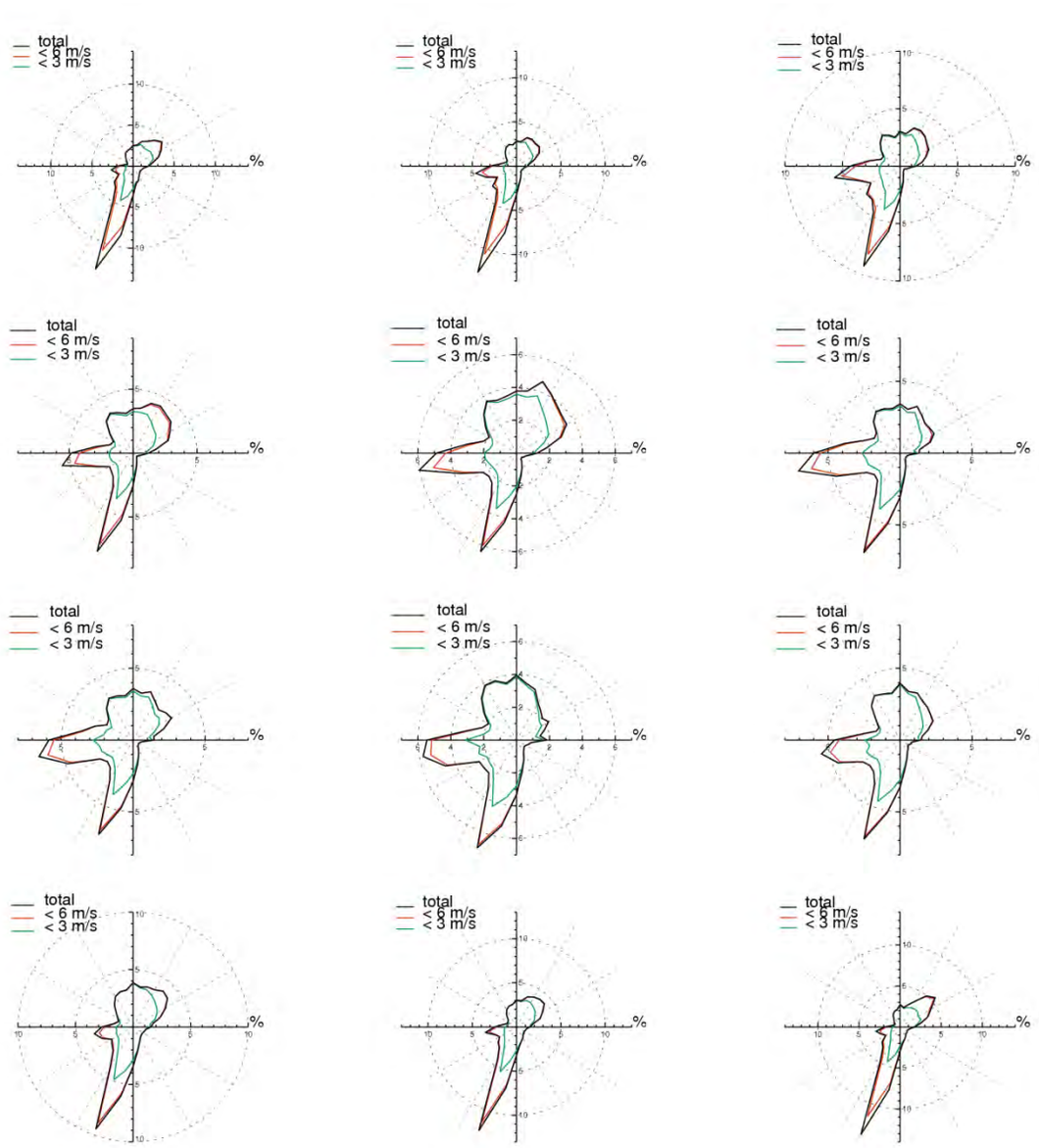
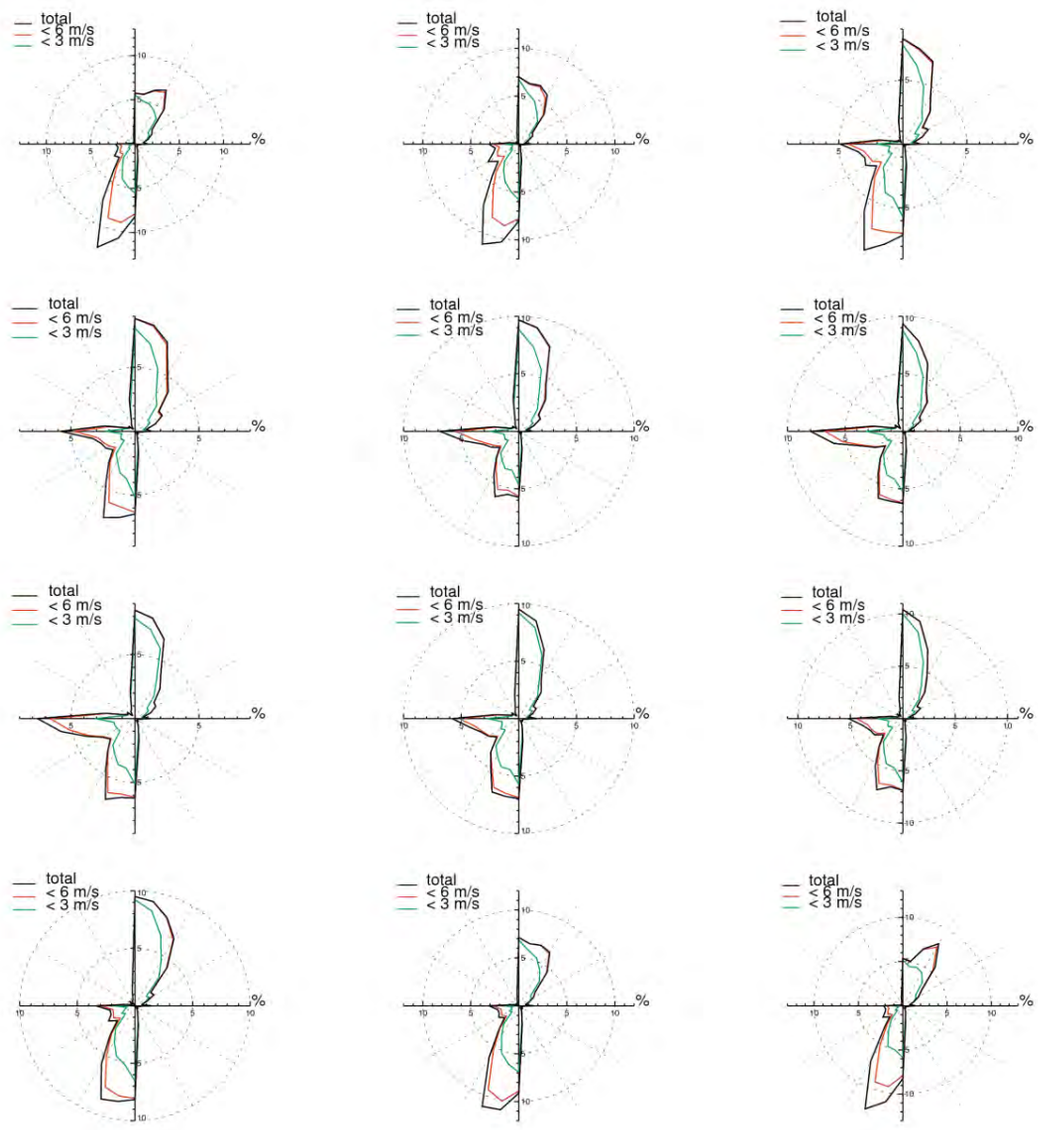


Abbildung 3.4-42: Windrose der Hauptwindrichtung PSI 1992-2007 70 m ü.B. pro Monat (Jan-Mar, Apr-Jun, Jul-Sep, Okt-Dez)



3.4.14 Anhang 12: Korrelation Windverteilung, Ausbreitungskategorien und Niederschlagsintensität / Ausbreitungsklassen nach Dokument KTA 1508

Statistik S56

Anzahl Stunden der ausgewerteten Zeitperiode: 168'572 h

(10. Oktober 1988 bis 31. Dezember 2007)

Fehlende Ausbreitungsklasse oder Niederschlagsmenge: 4'401 h

"ohne Niederschlag": 142'808 h

"wenig Niederschlag": 11'830 h

"Niederschlag": 8'470 h

"starker Niederschlag": 1'018 h

4-Parametrige Statistik: Die tabellierten Werte sind Anzahl Stunden [h] im Zeitraum vom 1989 bis 2007

Tabelle 3.4-125: Kein Niederschlag; Ausbreitungsklasse A

ABK	Windrich-tung [°]	Windgeschwindigkeit [m/s]											
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18	Total	%
A	15-45	905	1426	418	218	24	0	0	0	0	0	2991	1.8
A	45-75	860	1166	979	686	118	4	0	0	0	0	3813	2.3
A	75-105	465	691	417	179	0	0	0	0	0	0	1752	1.1
A	105-135	264	389	36	3	0	0	0	0	0	0	692	0.4
A	135-165	208	416	105	17	1	0	0	0	0	0	747	0.4
A	165-195	118	384	338	463	167	13	0	0	0	0	1483	0.9
A	195-225	97	195	98	125	47	3	0	0	0	0	565	0.3
A	225-255	123	226	241	166	10	0	0	0	0	0	766	0.5
A	255-285	209	238	234	172	9	0	0	0	0	0	862	0.5
A	285-315	216	143	45	22	0	0	0	0	0	0	426	0.3
A	315-345	448	268	22	2	1	0	0	0	0	0	741	0.4
A	345-15	900	1119	125	38	2	0	0	0	0	0	2184	1.3
	Summe	4813	6661	3058	2091	379	20	0	0	0	0		
	%	2.9	4.0	1.8	1.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

Tabelle 3.4-126: Kein Niederschlag; Ausbreitungsklasse B

ABK	Windrich-tung [°]	Windgeschwindigkeit [m/s]											
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18	Total	%
B	15-45	21	527	532	401	99	3	0	0	0	0	1583	1.0
B	45-75	30	612	839	652	193	17	0	0	0	0	2343	1.4
B	75-105	8	403	348	117	9	0	0	0	0	0	885	0.5
B	105-135	1	186	39	0	1	0	0	0	0	0	227	0.1
B	135-165	2	340	205	33	0	0	0	0	0	0	580	0.3
B	165-195	6	228	348	646	270	43	1	0	0	0	1542	0.9
B	195-225	2	153	185	243	149	23	0	0	0	0	755	0.5
B	225-255	5	193	390	430	90	2	0	0	0	0	1110	0.7
B	255-285	9	151	335	383	79	1	0	0	0	0	958	0.6
B	285-315	7	53	44	33	1	0	0	0	0	0	138	0.1
B	315-345	7	86	61	15	0	0	0	0	0	0	169	0.1
B	345-15	25	449	197	58	7	0	0	0	0	0	736	0.4
	Summe	123	3381	3523	3011	898	89	1	0	0	0		
	%	0.1	2.0	2.1	1.8	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0		

Tabelle 3.4-127: Kein Niederschlag; Ausbreitungsklasse C

ABK	Windrich-tung [°]	Windgeschwindigkeit [m/s]											
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18	Total	%
C	15-45	524	669	575	1473	220	11	0	0	0	0	3472	2.1
C	45-75	523	724	653	1575	306	26	2	0	0	0	3809	2.3
C	75-105	347	557	332	242	2	0	0	0	0	0	1480	0.9
C	105-135	245	345	32	2	0	0	0	0	0	0	624	0.4
C	135-165	195	625	362	96	1	0	0	0	0	0	1279	0.8
C	165-195	86	447	557	1462	519	56	4	0	0	0	3131	1.9
C	195-225	64	320	451	1082	452	79	11	0	0	0	2459	1.5
C	225-255	54	382	930	2243	454	19	4	0	0	0	4086	2.5
C	255-285	107	310	630	1538	360	53	3	0	0	0	3001	1.8
C	285-315	128	169	92	76	0	0	0	0	0	0	465	0.3
C	315-345	227	280	75	34	0	0	0	0	0	0	616	0.4
C	345-15	426	617	234	193	16	2	0	0	0	0	1488	0.9
	Summe	2926	5445	4923	10016	2330	246	24	0	0	0		
	%	1.8	3.3	3.0	6.0	1.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0		

Tabelle 3.4-128: Kein Niederschlag; Ausbreitungsklasse D

ABK	Windrich-tung [°]	Windgeschwindigkeit [m/s]											
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18	Total	%
D	15-45	1375	947	447	892	224	9	0	0	0	0	3894	2.3
D	45-75	2074	814	367	549	174	17	2	0	0	0	3997	2.4
D	75-105	1428	591	239	81	1	0	0	0	0	0	2340	1.4
D	105-135	1042	515	69	1	0	0	0	0	0	0	1627	1.0
D	135-165	887	1618	1132	422	19	0	0	0	0	0	4078	2.4
D	165-195	308	966	1244	1838	494	116	13	0	0	0	4979	3.0
D	195-225	134	584	968	1397	581	204	46	3	0	0	3917	2.4
D	225-255	157	668	1333	2242	793	153	30	0	0	0	5376	3.2
D	255-285	262	384	802	1532	595	150	48	0	0	0	3773	2.3
D	285-315	448	396	200	126	8	0	0	0	0	0	1178	0.7
D	315-345	552	619	201	52	2	0	0	0	0	0	1426	0.9
D	345-15	837	921	354	350	32	0	0	0	0	0	2494	1.5
	Summe	9504	9023	7356	9482	2923	649	139	3	0	0		
	%	5.7	5.4	4.4	5.7	1.8	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0		

Tabelle 3.4-129: Kein Niederschlag; Ausbreitungsklasse E

ABK	Windrich-tung [°]	Windgeschwindigkeit [m/s]											
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18	Total	%
E	15-45	1455	1152	186	108	0	0	0	0	0	0	2901	1.7
E	45-75	2504	930	111	35	0	0	0	0	0	0	3580	2.1
E	75-105	2452	395	54	8	0	0	0	0	0	0	2909	1.7
E	105-135	1914	345	45	3	0	0	0	0	0	0	2307	1.4
E	135-165	1409	789	353	118	7	0	0	0	0	0	2676	1.6
E	165-195	403	531	496	588	100	19	1	0	0	0	2138	1.3
E	195-225	219	274	254	181	21	6	1	0	0	0	956	0.6
E	225-255	234	349	264	123	16	0	0	0	0	0	986	0.6
E	255-285	590	338	253	169	12	3	0	0	0	0	1365	0.8
E	285-315	914	765	221	62	1	0	0	0	0	0	1963	1.2
E	315-345	863	769	214	59	0	0	0	0	0	0	1905	1.1
E	345-15	929	763	262	133	2	0	0	0	0	0	2089	1.3
	Summe	13886	7400	2713	1587	159	28	2	0	0	0		
	%	8.3	4.4	1.6	1.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

Tabelle 3.4-130: Kein Niederschlag; Ausbreitungsklasse F

ABK	Windrich-tung [°]	Windgeschwindigkeit [m/s]											
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18	Total	%
F	15-45	937	2251	154	20	0	0	0	0	0	0	3362	2.0
F	45-75	1008	1146	68	4	0	0	0	0	0	0	2226	1.3
F	75-105	1056	519	36	10	0	0	0	0	0	0	1621	1.0
F	105-135	1124	237	32	8	0	0	0	0	0	0	1401	0.8
F	135-165	1036	260	73	31	1	0	0	0	0	0	1401	0.8
F	165-195	580	234	158	161	18	1	0	0	0	0	1152	0.7
F	195-225	503	299	132	48	2	0	0	0	0	0	984	0.6
F	225-255	903	616	174	27	0	0	0	0	0	0	1720	1.0
F	255-285	1792	1066	240	54	0	0	0	0	0	0	3152	1.9
F	285-315	934	1106	400	46	0	0	0	0	0	0	2486	1.5
F	315-345	440	946	239	44	0	0	0	0	0	0	1669	1.0
F	345-15	473	1242	180	27	0	0	0	0	0	0	1922	1.2
	Summe	10786	9922	1886	480	21	1	0	0	0	0		
	%	6.5	6.0	1.1	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

Tabelle 3.4-131: Niederschlag bis 0.5 mm; Ausbreitungsklasse A

ABK	Windrich-tung [°]	Windgeschwindigkeit [m/s]											
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18	Total	%
A	15-45	21	16	1	1	0	0	0	0	0	0	39	0.0
A	45-75	24	9	1	3	1	0	0	0	0	0	38	0.0
A	75-105	16	8	0	2	0	0	0	0	0	0	26	0.0
A	105-135	14	4	0	0	0	0	0	0	0	0	18	0.0
A	135-165	8	11	2	3	0	0	0	0	0	0	24	0.0
A	165-195	5	6	6	31	14	1	0	0	0	0	63	0.0
A	195-225	2	3	8	28	13	0	0	0	0	0	54	0.0
A	225-255	2	4	13	17	6	2	0	0	0	0	44	0.0
A	255-285	5	7	9	7	1	0	0	0	0	0	29	0.0
A	285-315	4	7	2	2	0	0	0	0	0	0	15	0.0
A	315-345	4	6	1	1	0	0	0	0	0	0	12	0.0
A	345-15	18	18	2	0	0	0	0	0	0	0	38	0.0
	Summe	123	99	45	95	35	3	0	0	0	0		
	%	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

Tabelle 3.4-132: Niederschlag bis 0.5 mm; Ausbreitungsklasse B

ABK	Windrich-tung [°]	Windgeschwindigkeit [m/s]											
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18	Total	%
B	15-45	0	8	13	6	0	0	0	0	0	0	27	0.0
B	45-75	0	7	10	1	0	0	0	0	0	0	18	0.0
B	75-105	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	4	0.0
B	105-135	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	3	0.0
B	135-165	0	3	6	2	0	0	0	0	0	0	11	0.0
B	165-195	0	5	26	67	32	11	0	0	0	0	141	0.1
B	195-225	0	6	39	74	55	2	0	0	0	0	176	0.1
B	225-255	0	12	46	77	52	1	0	0	0	0	188	0.1
B	255-285	0	5	22	35	20	1	1	0	0	0	84	0.1
B	285-315	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	3	0.0
B	315-345	0	4	4	0	0	0	0	0	0	0	8	0.0
B	345-15	0	8	3	3	0	0	0	0	0	0	14	0.0
	Summe	0	63	172	266	160	15	1	0	0	0		
	%	0.0	0.0	0.1	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

Tabelle 3.4-133: Niederschlag bis 0.5 mm; Ausbreitungsklasse C

ABK	Windrich-tung [°]	Windgeschwindigkeit [m/s]											
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18	Total	%
C	15-45	54	34	25	57	6	0	0	0	0	0	176	0.1
C	45-75	39	24	9	15	0	0	0	0	0	0	87	0.1
C	75-105	26	14	3	2	0	0	0	0	0	0	45	0.0
C	105-135	14	9	2	0	0	0	0	0	0	0	25	0.0
C	135-165	18	31	16	15	0	0	0	0	0	0	80	0.0
C	165-195	3	22	52	257	93	14	4	0	0	0	445	0.3
C	195-225	6	23	106	415	160	33	7	0	0	0	750	0.5
C	225-255	7	35	128	488	137	20	3	0	0	0	818	0.5
C	255-285	5	24	57	159	57	15	1	0	0	0	318	0.2
C	285-315	12	10	7	9	0	0	0	0	0	0	38	0.0
C	315-345	18	25	10	8	0	0	0	0	0	0	61	0.0
C	345-15	45	54	22	11	1	0	0	0	0	0	133	0.1
	Summe	247	305	437	1436	454	82	15	0	0	0		
	%	0.1	0.2	0.3	0.9	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

Tabelle 3.4-134: Niederschlag bis 0.5 mm; Ausbreitungsklasse D

ABK	Windrich-tung [°]	Windgeschwindigkeit [m/s]											
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18	Total	%
D	15-45	139	92	19	20	6	0	0	0	0	0	276	0.2
D	45-75	198	33	11	3	0	0	0	0	0	0	245	0.1
D	75-105	164	37	7	1	0	0	0	0	0	0	209	0.1
D	105-135	144	47	6	1	0	0	0	0	0	0	198	0.1
D	135-165	152	333	265	114	1	0	0	0	0	0	865	0.5
D	165-195	37	183	364	500	113	16	2	0	0	0	1215	0.7
D	195-225	22	105	225	384	172	66	13	1	0	0	988	0.6
D	225-255	17	64	181	250	142	20	7	0	0	0	681	0.4
D	255-285	28	49	61	104	46	18	4	0	0	0	310	0.2
D	285-315	45	55	27	24	0	0	0	0	0	0	151	0.1
D	315-345	50	79	33	8	0	0	0	0	0	0	170	0.1
D	345-15	100	91	41	28	1	0	0	0	0	0	261	0.2
	Summe	1096	1168	1240	1437	481	120	26	1	0	0		
	%	0.7	0.7	0.7	0.9	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0		

Tabelle 3.4-135: Niederschlag bis 0.5 mm; Ausbreitungsklasse E

ABK	Windrich-tung [°]	Windgeschwindigkeit [m/s]											
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18	Total	%
E	15-45	80	58	5	1	0	0	0	0	0	0	144	0.1
E	45-75	132	31	1	0	0	0	0	0	0	0	164	0.1
E	75-105	78	36	5	2	0	0	0	0	0	0	121	0.1
E	105-135	70	42	2	0	0	0	0	0	0	0	114	0.1
E	135-165	75	121	54	13	0	0	0	0	0	0	263	0.2
E	165-195	25	80	82	102	7	4	0	0	0	0	300	0.2
E	195-225	12	40	63	47	5	0	0	0	0	0	167	0.1
E	225-255	17	31	28	18	2	1	0	0	0	0	97	0.1
E	255-285	46	40	15	7	1	0	0	0	0	0	109	0.1
E	285-315	41	55	21	3	1	0	0	0	0	0	121	0.1
E	315-345	37	32	14	2	0	0	0	0	0	0	85	0.1
E	345-15	56	31	8	2	0	0	0	0	0	0	97	0.1
	Summe	669	597	298	197	16	5	0	0	0	0		
	%	0.4	0.4	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

Tabelle 3.4-136: Niederschlag bis 0.5 mm; Ausbreitungsklasse F

ABK	Windrich-tung [°]	Windgeschwindigkeit [m/s]											
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18	Total	%
F	15-45	23	36	7	0	0	0	0	0	0	0	66	0.0
F	45-75	16	17	4	1	0	0	0	0	0	0	38	0.0
F	75-105	3	7	1	0	0	0	0	0	0	0	11	0.0
F	105-135	2	4	2	1	0	0	0	0	0	0	9	0.0
F	135-165	1	10	5	0	0	0	0	0	0	0	16	0.0
F	165-195	3	9	10	8	0	0	0	0	0	0	30	0.0
F	195-225	2	8	5	7	0	0	0	0	0	0	22	0.0
F	225-255	4	13	6	4	0	0	0	0	0	0	27	0.0
F	255-285	4	8	6	3	0	0	0	0	0	0	21	0.0
F	285-315	6	11	3	2	0	0	0	0	0	0	22	0.0
F	315-345	3	3	2	1	0	0	0	0	0	0	9	0.0
F	345-15	12	6	5	1	0	0	0	0	0	0	24	0.0
	Summe	79	132	56	28	0	0	0	0	0	0		
	%	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

Tabelle 3.4-137: Niederschlag: mehr als 0.5 mm und bis 3 mm; Ausbreitungsklasse A

ABK	Windrich-tung [°]	Windgeschwindigkeit [m/s]											
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18	Total	%
A	15-45	8	2	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0.0
A	45-75	5	2	1	0	0	0	0	0	0	0	8	0.0
A	75-105	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0.0
A	105-135	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0.0
A	135-165	3	3	5	2	0	0	0	0	0	0	13	0.0
A	165-195	0	3	11	32	12	6	0	0	0	0	64	0.0
A	195-225	0	2	11	53	9	0	0	0	0	0	75	0.0
A	225-255	2	2	4	19	4	1	0	0	0	0	32	0.0
A	255-285	1	2	0	9	0	0	0	0	0	0	12	0.0
A	285-315	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	3	0.0
A	315-345	3	4	1	0	0	0	0	0	0	0	8	0.0
A	345-15	3	2	0	1	0	0	0	0	0	0	6	0.0
	Summe	33	29	33	117	25	7	0	0	0	0		
	%	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

Tabelle 3.4-138: Niederschlag: mehr als 0.5 mm und bis 3 mm; Ausbreitungsklasse B

ABK	Windrich-tung [°]	Windgeschwindigkeit [m/s]											
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18	Total	%
B	15-45	0	1	4	0	0	0	0	0	0	0	5	0.0
B	45-75	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	3	0.0
B	75-105	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
B	105-135	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.0
B	135-165	0	3	4	3	0	0	0	0	0	0	10	0.0
B	165-195	0	6	11	50	20	4	0	0	0	0	91	0.1
B	195-225	0	4	28	97	61	8	0	0	0	0	198	0.1
B	225-255	0	4	31	76	45	2	0	0	0	0	158	0.1
B	255-285	0	0	6	22	8	4	0	0	0	0	40	0.0
B	285-315	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	4	0.0
B	315-345	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	4	0.0
B	345-15	0	2	4	0	0	0	0	0	0	0	6	0.0
	Summe	0	23	96	249	134	18	0	0	0	0		
	%	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

Tabelle 3.4-139: Niederschlag: mehr als 0.5 mm und bis 3 mm; Ausbreitungsklasse C

ABK	Windrich-tung [°]	Windgeschwindigkeit [m/s]											
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18	Total	%
C	15-45	20	24	9	14	5	0	0	0	0	0	72	0.0
C	45-75	17	11	5	0	0	0	0	0	0	0	33	0.0
C	75-105	16	8	2	0	0	0	0	0	0	0	26	0.0
C	105-135	9	7	1	1	0	0	0	0	0	0	18	0.0
C	135-165	10	19	20	12	0	0	0	0	0	0	61	0.0
C	165-195	2	21	41	168	89	12	1	0	0	0	334	0.2
C	195-225	0	17	61	382	153	38	5	0	0	0	656	0.4
C	225-255	1	14	71	326	120	27	8	0	0	0	567	0.3
C	255-285	6	13	21	130	51	16	1	0	0	0	238	0.1
C	285-315	3	5	7	5	0	0	0	0	0	0	20	0.0
C	315-345	10	11	7	3	0	0	0	0	0	0	31	0.0
C	345-15	25	25	15	14	1	0	0	0	0	0	80	0.0
	Summe	119	175	260	1055	419	93	15	0	0	0		
	%	0.1	0.1	0.2	0.6	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0		

Tabelle 3.4-140: Niederschlag: mehr als 0.5 mm und bis 3 mm; Ausbreitungsklasse D

ABK	Windrich-tung [°]	Windgeschwindigkeit [m/s]											
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18	Total	%
D	15-45	83	49	21	12	1	0	0	0	0	0	166	0.1
D	45-75	86	38	10	0	0	0	0	0	0	0	134	0.1
D	75-105	79	29	5	1	0	0	0	0	0	0	114	0.1
D	105-135	65	42	4	1	1	0	0	0	0	0	113	0.1
D	135-165	82	215	152	59	2	0	0	0	0	0	510	0.3
D	165-195	39	154	265	411	98	27	4	0	0	0	998	0.6
D	195-225	11	102	207	346	172	60	12	0	0	0	910	0.5
D	225-255	10	53	152	216	93	29	5	0	0	0	558	0.3
D	255-285	21	38	61	85	31	11	2	0	0	0	249	0.1
D	285-315	22	48	28	15	0	0	0	0	0	0	113	0.1
D	315-345	35	62	37	13	0	0	0	0	0	0	147	0.1
D	345-15	57	77	53	34	3	0	0	0	0	0	224	0.1
	Summe	590	907	995	1193	401	127	23	0	0	0		
	%	0.4	0.5	0.6	0.7	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0		

Tabelle 3.4-141: Niederschlag: mehr als 0.5 mm und bis 3 mm; Ausbreitungsklasse E

ABK	Windrich-tung [°]	Windgeschwindigkeit [m/s]											
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18	Total	%
E	15-45	38	24	1	0	0	0	0	0	0	0	63	0.0
E	45-75	44	23	1	0	0	0	0	0	0	0	68	0.0
E	75-105	50	23	0	0	0	0	0	0	0	0	73	0.0
E	105-135	35	29	3	0	0	0	0	0	0	0	67	0.0
E	135-165	29	62	25	7	0	0	0	0	0	0	123	0.1
E	165-195	9	65	75	65	19	1	0	0	0	0	234	0.1
E	195-225	4	36	52	44	5	0	0	0	0	0	141	0.1
E	225-255	4	31	34	31	2	1	0	0	0	0	103	0.1
E	255-285	17	13	15	16	6	0	0	0	0	0	67	0.0
E	285-315	15	20	15	2	0	0	0	0	0	0	52	0.0
E	315-345	14	26	12	2	0	0	0	0	0	0	54	0.0
E	345-15	26	29	10	1	1	0	0	0	0	0	67	0.0
	Summe	285	381	243	168	33	2	0	0	0	0		
	%	0.2	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

Tabelle 3.4-142: Niederschlag: mehr als 0.5 mm und bis 3 mm; Ausbreitungsklasse F

ABK	Windrich-tung [°]	Windgeschwindigkeit [m/s]											
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18	Total	%
F	15-45	7	22	4	1	0	0	0	0	0	0	34	0.0
F	45-75	8	6	1	0	0	0	0	0	0	0	15	0.0
F	75-105	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	3	0.0
F	105-135	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	4	0.0
F	135-165	0	2	3	1	0	0	0	0	0	0	6	0.0
F	165-195	0	6	6	4	1	0	0	0	0	0	17	0.0
F	195-225	1	5	7	5	0	1	0	0	0	0	19	0.0
F	225-255	0	4	4	1	0	0	0	0	0	0	9	0.0
F	255-285	0	4	5	1	0	0	0	0	0	0	10	0.0
F	285-315	0	4	1	2	0	0	0	0	0	0	7	0.0
F	315-345	1	0	5	0	0	0	0	0	0	0	6	0.0
F	345-15	0	8	3	0	0	0	0	0	0	0	11	0.0
	Summe	17	66	41	15	1	1	0	0	0	0		
	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

Tabelle 3.4-143: Niederschlag > 3 mm; Ausbreitungsklasse A

ABK	Windrich-tung [°]	Windgeschwindigkeit [m/s]											
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18	Total	%
A	15-45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
A	45-75	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0.0
A	75-105	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0.0
A	105-135	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.0
A	135-165	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0.0
A	165-195	0	0	3	4	3	0	0	0	0	0	10	0.0
A	195-225	0	2	5	12	2	1	0	0	0	0	22	0.0
A	225-255	0	1	3	8	6	1	0	0	0	0	19	0.0
A	255-285	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0.0
A	285-315	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
A	315-345	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
A	345-15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
	Summe	0	6	13	25	11	2	0	0	0	0		
	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

Tabelle 3.4-144: Niederschlag > 3 mm; Ausbreitungsklasse B

ABK	Windrich-tung [°]	Windgeschwindigkeit [m/s]											
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18	Total	%
B	15-45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
B	45-75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
B	75-105	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
B	105-135	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
B	135-165	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0.0
B	165-195	0	1	1	2	0	1	0	0	0	0	5	0.0
B	195-225	0	0	3	10	7	1	0	0	0	0	21	0.0
B	225-255	0	1	4	11	16	4	0	0	0	0	36	0.0
B	255-285	0	0	2	1	7	3	0	0	0	0	13	0.0
B	285-315	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
B	315-345	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
B	345-15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
	Summe	0	2	11	24	30	9	0	0	0	0		
	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

Tabelle 3.4-145: Niederschlag > 3 mm; Ausbreitungsklasse C

ABK	Windrich-tung [°]	Windgeschwindigkeit [m/s]											
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18	Total	%
C	15-45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
C	45-75	1	3	0	1	0	0	0	0	0	0	5	0.0
C	75-105	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.0
C	105-135	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0.0
C	135-165	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
C	165-195	0	5	3	12	7	0	0	0	0	0	27	0.0
C	195-225	0	1	6	36	11	4	1	0	0	0	59	0.0
C	225-255	0	0	5	41	19	9	2	0	0	0	76	0.0
C	255-285	0	1	5	15	18	7	0	0	0	0	46	0.0
C	285-315	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2	0.0
C	315-345	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0.0
C	345-15	0	2	3	2	0	0	0	0	0	0	7	0.0
	Summe	2	12	23	110	55	20	3	0	0	0		
	%	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

Tabelle 3.4-146: Niederschlag > 3 mm; Ausbreitungsklasse D

ABK	Windrich-tung [°]	Windgeschwindigkeit [m/s]											
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18	Total	%
D	15-45	2	8	4	2	1	0	0	0	0	0	17	0.0
D	45-75	4	6	1	0	0	0	0	0	0	0	11	0.0
D	75-105	2	5	1	0	0	0	0	0	0	0	8	0.0
D	105-135	5	5	2	0	1	0	0	0	0	0	13	0.0
D	135-165	6	14	12	4	0	0	0	0	0	0	36	0.0
D	165-195	3	13	29	30	8	4	0	0	0	0	87	0.1
D	195-225	0	10	23	51	21	7	2	0	0	0	114	0.1
D	225-255	0	10	16	35	18	3	1	0	0	0	83	0.0
D	255-285	2	6	13	22	12	4	0	0	0	0	59	0.0
D	285-315	3	4	5	5	0	0	0	0	0	0	17	0.0
D	315-345	5	7	9	4	0	0	0	0	0	0	25	0.0
D	345-15	4	8	9	2	0	0	0	0	0	0	23	0.0
	Summe	36	96	124	155	61	18	3	0	0	0		
	%	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

Tabelle 3.4-147: Niederschlag > 3 mm; Ausbreitungsklasse E

ABK	Windrich-tung [°]	Windgeschwindigkeit [m/s]											
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18	Total	%
E	15-45	5	9	0	0	0	0	0	0	0	0	14	0.0
E	45-75	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0.0
E	75-105	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0.0
E	105-135	2	5	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0.0
E	135-165	1	10	1	0	0	0	0	0	0	0	12	0.0
E	165-195	0	10	6	4	3	0	0	0	0	0	23	0.0
E	195-225	0	4	4	2	1	0	0	0	0	0	11	0.0
E	225-255	0	3	6	2	0	0	0	0	0	0	11	0.0
E	255-285	1	5	1	8	0	1	0	0	0	0	16	0.0
E	285-315	1	2	9	5	2	0	0	0	0	0	19	0.0
E	315-345	1	3	3	0	0	0	0	0	0	0	7	0.0
E	345-15	2	6	3	1	2	0	0	0	0	0	14	0.0
	Summe	16	61	33	22	8	1	0	0	0	0		
	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

Tabelle 3.4-148: Niederschlag > 3 mm; Ausbreitungsklasse F

ABK	Windrich-tung [°]	Windgeschwindigkeit [m/s]											
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18	Total	%
F	15-45	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	3	0.0
F	45-75	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0.0
F	75-105	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0.0
F	105-135	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
F	135-165	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
F	165-195	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0.0
F	195-225	0	0	2	2	1	0	0	0	0	0	5	0.0
F	225-255	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0.0
F	255-285	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	3	0.0
F	285-315	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	3	0.0
F	315-345	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.0
F	345-15	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.0
	Summe	2	8	5	6	2	0	0	0	0	0		
	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

3.4.15 Anhang 13: Starke Tornadoereignisse in der Schweiz

3.4.15.1 Das Ereignis vom 19. August 1890

Das Tornadoereignis vom 19. August 1890 in der Vallée de Joux ist deshalb etwas Besonderes, weil es sich mit dem Tornado vom 26. August 1971 in praktisch identischer Weise wiederholte. Beide Tornados nahmen ab Le Brassus den absolut gleichen Pfad. Derjenige von 1890 ist jedoch bereits über dem Französischen Jura entstanden und hat dort auch grosse Verwüstungen angerichtet sowie mehrere Menschenleben gefordert. Morgens um etwa 08.00 Uhr überschritt er die Grenze zur Schweiz. Insgesamt legte er eine Strecke von rund 80 km zurück, etwa ein Drittel davon auf Schweizer Boden. Fotografien zerstörter Gebäude und Wälder aus dem Jahre 1890 dokumentieren, dass das Vallée de Joux 1890 und 1971 mit ungefähr derselben Wucht getroffen wurde [16]. Das Ereignis erreichte die Stärke F-3 bzw. T-6.

3.4.15.2 Das Ereignis vom 12. Juni 1926

Ein starkes Tornado-Ereignis hat sich am Nachmittag des 12. Juni 1926 unweit der Stadt La Chaux-de-Fonds ereignet. Der Tornado formierte sich über einem Hügelzug nordöstlich der Stadt und zog nördlich daran vorbei in Richtung der Franches Montagnes [17]. Sein Pfad zeigte wiederum die charakteristische fast schnurgerade SW-NE Ausrichtung. Der Tornado legte eine Strecke von 22 km zurück, wobei er nach 7 km vom Boden abhob und 3 km weiter wieder aufschlug. Ein achtjähriger Junge, zusammen mit seiner Mutter unterwegs, wurde vom Sturm derart heftig durch die Luft geschleudert, dass er den dabei erlittenen Verletzungen erlag. Seine Mutter und mehrere weitere Personen wurden schwer verletzt. Nach dem Sturm gab es wieder dieselben Bilder zerstörter Wohnhäuser und kahlgeschlagener Waldpartien [16], [17]. Dazu kommt die sehr aufschlussreiche Fotografie einer stehengebliebenen Rottanne, deren Äste im mittleren Teil des Baumes mehrfach um den Stamm gewickelt wurden [17]. Eindrücklicher kann die Tornado-Natur des Gewittersturms vom 12. Juni 1926 wohl kaum zum Ausdruck gebracht werden. Das Ereignis erreichte mind. die Stärke F-2 bzw. T-4 bis T-5.

3.4.15.3 Das Ereignis vom 23. August 1934

Am 23. August 1934 haben sich im Neuenburger- und im damaligen Berner-Jura (heute Kanton Jura) mehrere Tornados in zwei Gruppen entwickelt. Die eine Gruppe betraf abermals die Region La Chaux-de-Fonds (Neuenburger Jura), die andere die Region Saignelégier (Kanton Jura). Beide Tornadogruppen hinterliessen Schäden, wie sie von den anderen Tornadoereignissen bekannt sind [16]. Die Ereignisse erreichten vermutlich die Stärke F-2 bzw. T-4.

3.4.15.4 Das Ereignis vom 26. August 1971

Der sehr gut dokumentierte starke Tornado vom 26. August 1971 entwickelte sich über der Vallée de Joux nachmittags um etwa 15.00 Uhr. Er bewegte sich gemäss den Ermittlungen von Piaget [16] mit ungefähr 60 km/h vorwärts. Der Wirbel hatte die erste Bodenberührung im Talgrund bei der Ortschaft Le Brassus auf 1000 m ü.M., stieg entlang der Flanke des Mont Tendre bis auf eine Höhe von 1400 m ü.M., um schliesslich bei Romainmôtier in 600 m ü.M. seine Bahn zu beenden. Ohne dass ihn diese Orographie wesentlich beeinflusst hätte, hinterliess der Tornado eine schnurgerade und praktisch durchgehende Waldschneise von etwa 20 km. Die anschliessend aufgenommenen Luftbilder zeigen eindrücklich die in wirbelförmiger Anordnung am Boden liegenden Baumstämme. Der Tornado zog insgesamt 79 Gebäude in Mitleidenschaft, 18 davon schwer. Drei Scheunen wurden vollständig zerstört. Beim Überqueren eines Campingplatzes schleuderte der Tornado einen Wohnwagen über die Wipfel ausgewachsener Tannen hinweg 30 m ins freie Gelände. Mehrere Autos, welche sich auf seinem Pfad befanden, liess er zermalmt und zum Teil in ihre Einzelteile zerlegt zurück [16]. Das Ereignis erreichte mindestens die Stärke F-2 bzw. T-5.

3.4.15.5 Das Ereignis vom 22. Juli 1995

Mit modernsten Methoden wurden im Starkgewitter des 22. Juli 1995 über Oberhofen im Kanton Aargau tornadoartige Strukturen nachgewiesen. Die Aufzeichnungen des Wetterradars der ETH Zürich zeigten in der Gewitterzelle eindeutig Rotationsbewegungen, wie sie auch von den amerikanischen Tornados her bekannt sind [14]. Der am Boden offenbar unsichtbare Schlauch legte einen Pfad von etwa 15 km zurück. Ein vom Gewitter überquerter Windmesser zeigte für einen ganz kurzen Augenblick eine maximale Windgeschwindigkeit von 158 km/h. Das erklärt, weshalb in einer der betroffenen Ortschaften 70% der Hausdächer zum Teil erhebliche Schäden davontrugen. In einigen der zerstörten Waldstücke zeigten die Bäume markante Verdrehungen, welche auf rotierende Windbewegungen schliessen lassen. Das Ereignis erreichte die Stärke von F-1 bzw. T-3.

3.5 Oberflächenwasser

3.5.1 Einleitung

Das Kapitel Oberflächenwasser befasst sich mit den hydrologischen Standorteigenschaften von Oberflächengewässern. Die Standorteigenschaften zum Thema Grundwasser werden unter Kapitel 3.6 beschrieben.

Für die Bewertung der hydrologischen Standorteigenschaften wurde eine Studie zur Bestimmung der Jährlichkeiten und Grössen von Hochwasserabflüssen (Kapitel 3.5.4) durchgeführt.

Für die Herleitung von seltenen Hochwasserabflüssen erfolgten verschiedene, sich ergänzende Teiluntersuchungen, die am Ende zu einer Synthese zusammengefügt wurden. Dabei wurden probabilistische und deterministische Ansätze kombiniert. Dies verleiht der Hochwasserabschätzung mehr Zuverlässigkeit und zeigt den Unsicherheitsbereich der Abschätzung auf. Die Hochwasserabschätzung basiert auf folgenden Teiluntersuchungen:

- Zusammenstellen der Einzugsgebiets-Charakteristika und wasserbaulichen Veränderungen (Kapitel 3.5.2).
- Die Pegel-Abflussbeziehungen der wichtigen Pegel wurden geprüft. Die Verlässlichkeit der Abflussdaten im Hochwasserfall ist eine wesentliche Voraussetzung für die nachfolgenden statistischen Auswertungen.
- Mit der Erkundung historischer Hochwasser wurden grosse Hochwasser vor Messbeginn zusammengetragen und die Abflussspitzen soweit möglich rekonstruiert. Dies ermöglicht Aussagen über die Häufigkeit extremer Hochwasser.
- Die Auswertung der Abflussmessungen ergänzt durch historische Hochwasser liefert eine verbesserte Basis für die statistische Extrapolation.
- Basierend auf beobachteten Hochwasserereignissen wurden Szenarien für extreme Hochwasser an der Aare in Beznau entwickelt.
- Erkenntnisse aus der Abflussmessreihe, historischen Hochwasserereignissen und Szenarien wurden in der Synthese zueinander in Beziehung gesetzt.

Zusätzlich wurden in dieser Studie die Wahrscheinlichkeiten des Auftretens von Niedrigwasser (Kapitel 3.5.5) und Vereisungen (Kapitel 3.5.9) betrachtet. Zudem wurden die durchschnittlich am Standort zu erwartenden Abflüsse und Temperaturen der Aare untersucht.

Weiter wurde eine Überflutungsstudie (Kapitel 3.5.7) durchgeführt, um die bei verschiedenen Szenarien zu erwartenden Überflutungskoten zu bestimmen. Die unter Kapitel 3.5.4 beschriebenen Hochwasserabflüsse galten dabei als Input für die Überflutungsberechnungen.

Die oben erwähnten Analysen und die daraus hervorgehenden Erkenntnisse und Resultate werden in diesem Kapitel präsentiert. Abschliessend werden die im Kapitel beschriebenen Standorteigenschaften beurteilt und die daraus entstehenden Auswirkungen für die Auslegung beschrieben.

3.5.2 Einzugsgebiets-Charakteristika

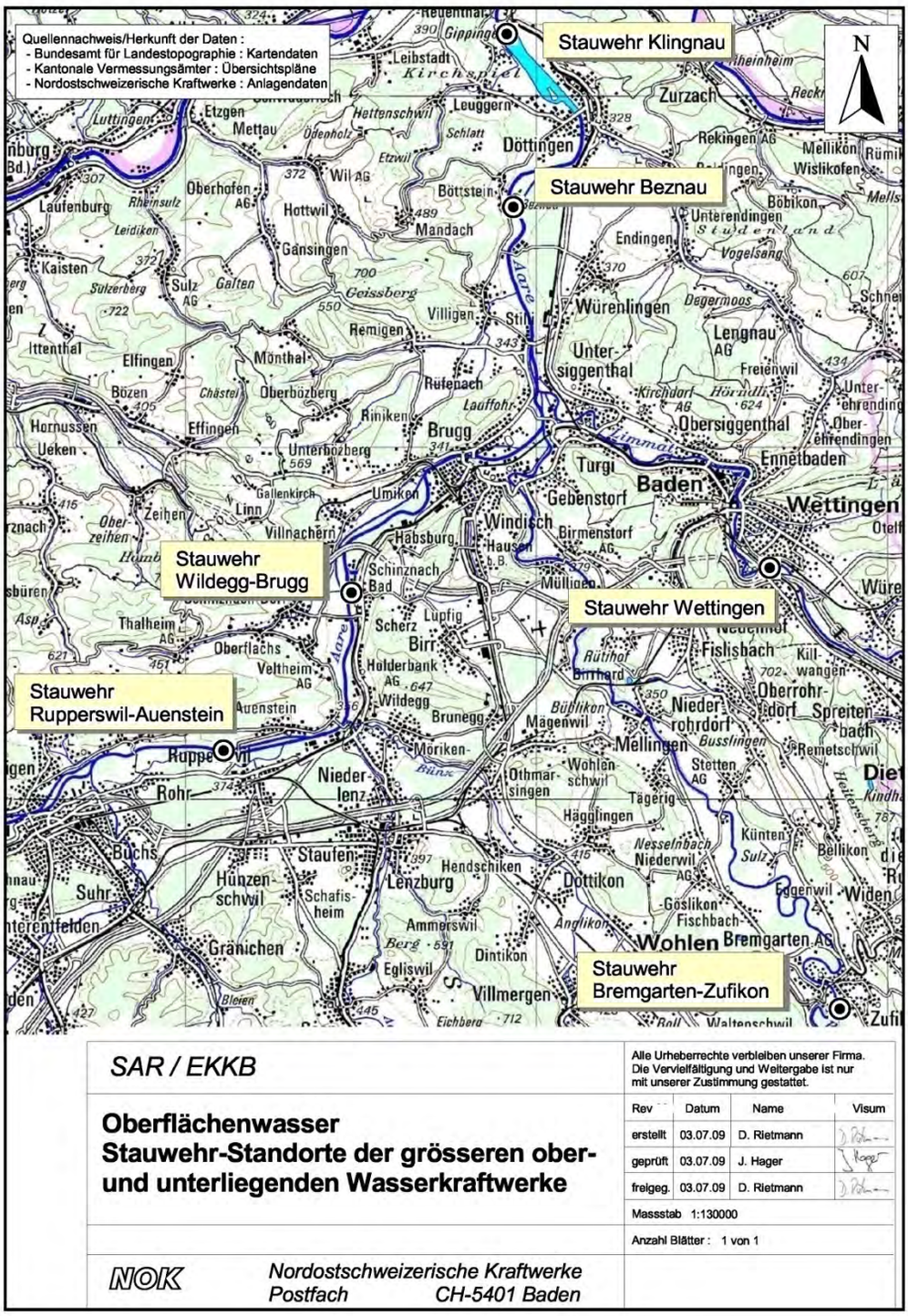
3.5.2.1 Das Einzugsgebiet der Aare

Abbildung 3.5-1 zeigt die aktuellen Ablaufcharakteristika der Aare, sowie deren Zuflüsse, Reuss und Limmat, in der weiteren Umgebung der Insel Beznau inklusive der grösseren ober – und unterliegenden Wasserkraftwerke an Aare, Reuss und Limmat.

Abbildung 3.5-2 zeigt das Einzugsgebiet der Aare in Brugg (EZG-Fläche: 17'504 km^2; 100%) mit den Seitengewässern Aare oberhalb Brugg mit 11'726 km^2 (67%), Reuss oberhalb Mellingen mit 3'382 km^2 (19%) und Limmat oberhalb Baden mit 2'396 km^2 (14%). Dazu kommt eine zusätzliche Fläche von 97 km^2 bis Aare-Untersiggenthal.

Während und nach der letzten Eiszeit vor ca. 10'000 Jahren wurde die Morphologie des Gebiets der Aare unterhalb von Aarberg massgeblich durch die glazialen und fluvialen Vorgänge geprägt. Mehrheitlich floss die Aare vor 14'000-5'000 Jahren in den Neuenburgersee. Die Aare hat bei Aarberg während Jahrtausenden einen riesigen Schwemmfächer geschüttet und dadurch das eigene Flussbett mehrmals verlagert. Schliesslich verlagerte sie ihr Bett und schuf den "alten Aarelauf", der durch die Grenchenwiti nach Solothurn führte. Bei Hochwasser staute sich am eiszeitlichen Moränenwall in Solothurn das Wasser und in der Grenchenwiti entstand zeitweise der "Solothurnersee". Bei Hochwasser wurden auch die riesigen Ebenen zwischen den Jurarandseen überschwemmt. Diese Überflutungen dieser Gebiete dämpften früher die Abflussspitzen grosser Hochwasser an der Aare.

Abbildung 3.5-1: Oberflächenwasser; Stauwehrstandorte der grösseren ober – und unterliegenden Wasserkraftwerke



3.5.2.2 Wasserbauliche Veränderungen im Einzugsgebiet der Aare

Im Einzugsgebiet der Aare wurden verschiedene flussbauliche Veränderungen im Hinblick auf Landnutzungsänderungen oder Hochwasserschutz vorgenommen. Vor der ersten Jura-Gewässerkorrektion (JGK I: 1868–1887) floss die Aare an den Jurarandseen vorbei (Abbildung 3.5-3, Alte Aare) und die Hochwasser der Aare trafen auf die Hochwasser der Seitenflüsse (Emme, Wigger, Reuss und Limmat). Seit der JGK I fliesst die Aare in den Bielersee. Die JGK II (1962–1972) zielte auf die Absenkung der Höchstwasserstände in den Seen, die Hebung der Niedrigstwasserstände, die Schaffung der hydraulischen Einheit der drei Seen und die Absenkung der Aare-Hochwasserspiegel zwischen Bielersee und Emmemündung ab.

Bei Hochwasser funktioniert heute das System Bieler- / Neuenburger- / Murtensee als 280 km^2 grosse Retentionsfläche, wobei beim Bielersee die Möglichkeit besteht, den Ausfluss zu regulieren. Nach der "Murgenthaler Bedingung" darf beim Auslauf des Bielersees in Port nur so viel Wasser abgelassen werden, dass in Murgenthal ein Abfluss von 850 m^3/s nicht überschritten wird.

Der Ausfluss des Vierwaldstättersees kann mit dem 1859-1861 erstellten und heute noch bestehenden Nadelwehr in Luzern auf urtümliche Weise reguliert werden. Durch den See werden die Hochwasser der alpinen Gewässer (Reuss, Sarneraa, Engelbergeraa, Muota) gedämpft. Unterhalb von Luzern mündet die Kleine Emme ungedämpft in die Reuss.

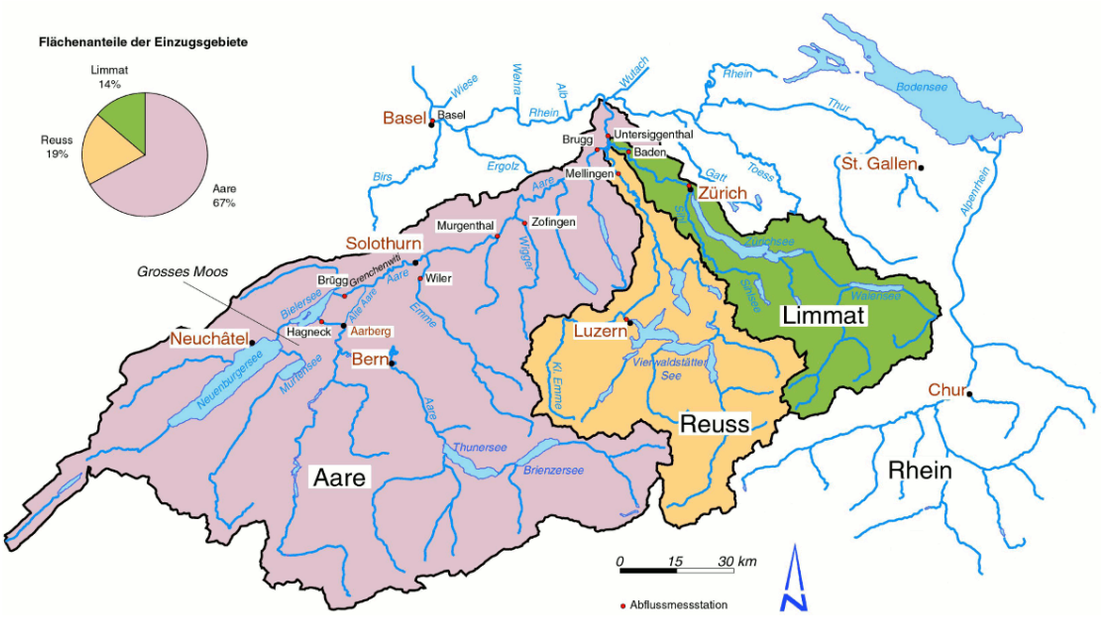
Im Einzugsgebiet der Limmat fanden verschiedene flussbauliche Veränderungen statt. Zur Römerzeit erstreckte sich der Zürichsee bis weit in die heutige Linthebene ("Tuggensee") [83]. Mit der Linth-Korrektion (1807-1816) wurde die Linth neu in den Walensee geleitet und der Linthkanal zwischen Walen- und Zürichsee angelegt. Der Auslauf des Zürichsees im Bereich der Stadt Zürich war bis ins 19. Jahrhundert teilweise mit Mühlen und anderen Gebäuden bebaut. Diese Gebäude behinderten den Abfluss und wurden bis Mitte des 20. Jahrhundert zusehends beseitigt. Das Limmat-Wehr beim Ausfluss des Zürichsees in Zürich wurde erst 1949-1951 erstellt und ersetzte ebenfalls ein älteres Nadelwehr.

Der Abfluss der Limmat wird durch den Zürichsee gedämpft. Unterhalb des Zürichsees mündet die Sihl bei Zürich in die Limmat. Seit der Inbetriebnahme des Etzelwerks 1937 (Sihlsee bei Einsiedeln) reagiert die Sihl weniger heftig auf Starkregen.

Die Aarekorrektion zwischen Beznau und Rhein von 1886-1904 veränderte die dynamische Flusslandschaft durch den Bau von Hochwasser-Schutzdämmen und die Kanalisierung der Aare. Zwischen 1898 und 1902 wurde das Wasserkraftwerk Beznau gebaut. 1930 wurde die Anlage, welche am Ende eines künstlichen Oberwasserkanals steht, umgebaut. 1935 wurde das Flusskraftwerk Klingnau in Betrieb genommen. Seither staut sich die Aare unterhalb Döttingen im Klingnauer Stausee.

Diese Auswahl wasserbaulicher Veränderungen zeigt, dass im Einzugsgebiet der Aare in den letzten 150 Jahren wesentliche Veränderungen erfolgt sind. Die Auswirkung dieser Veränderungen auf die Hochwasserführung der Flüsse wird in Kapitel 3.5.2.3 diskutiert.

Abbildung 3.5-2: Das Einzugsgebiet der Aare



3.5.2.3 Die Wirkung wasserbaulicher Veränderungen auf die Hochwasserabflüsse

Der Einfluss wasserbaulicher Massnahmen (z.B. Juragewässerkorrektion) auf die Hochwasser der Unterlieger lässt sich anhand der Jahreshochwasser am Rhein bei Basel aufzeigen. Mit der Fertigstellung der JGK I 1887 wurden im Rhein bei Basel nur noch selten Abflüsse > 4000 m^3/s beobachtet, d. h. es wurden weniger oft und weniger grosse Hochwasser festgestellt. Dem ist entgegenzuhalten, dass das 19. Jahrhundert schweizweit für seine grossen Hochwasser bekannt ist, das
20. Jahrhundert zwischen 1910 und 1990 hingegen eher hochwasserarm war.

Verschiedene hydrologische Untersuchungen befassten sich mit dem Abfluss der Aare bei Hochwasser ([84]; [85]; [86]; [87]). Eine systematische Untersuchung der Wirkung der JGK bei extremen Abflüssen (> 100 jährliche Abflüsse) ist bis anhin noch nicht erfolgt. Daher wurde hier der Einfluss der JGK und sonstiger dämpfender Effekte auf die Grösse extremer Hochwasser im Aare-Unterlauf mit überschlägigen Überlegungen beurteilt.

Die Juragewässerkorrektionen wirken sich dämpfend auf die Abflussspitzen grosser Hochwasser aus, wobei die Dämpfung beim Ausfluss des Bielersees reguliert werden kann. Bei extremen Hochwasserereignissen muss hingegen damit gerechnet werden, dass die dämpfende Wirkung modifiziert wird (vgl. Abbildung 3.5-3):

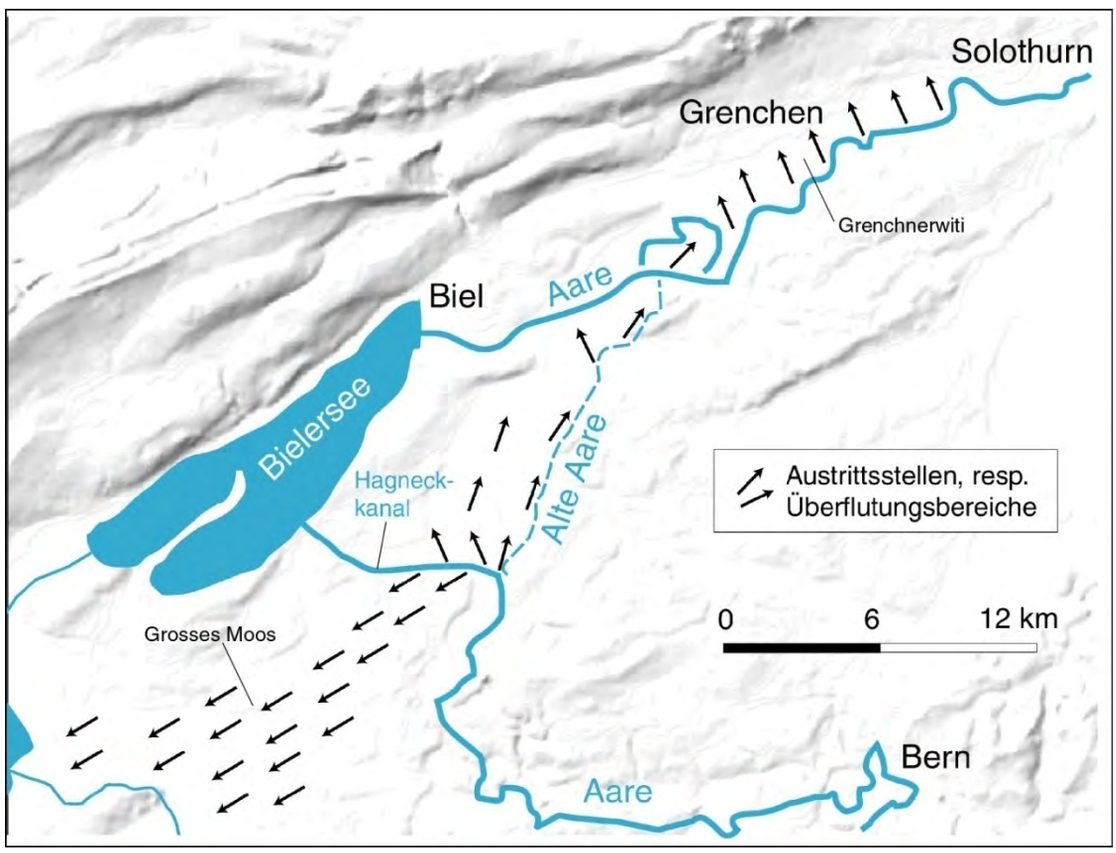
- Bei extremen Hochwasserereignissen kann die Aare bei Aarberg ausufern und den Lauf der "alten Aare" vor der JGK durch einen rechtsseitigen Dammbruch des Hagneckkanals aktivieren (Abbildung 3.5-3). Die dämpfende Wirkung des Rückhaltebeckens Murten-, Bieler-, Neuenburgersee würde damit abgeschwächt.

Es ist aber zu erwarten, dass auch extreme Hochwasser zwischen Aarberg und Solothurn im Unterlauf der Aare gedämpft werden:

- Zusätzlich zum Retentionsraum von Murten-, Bieler- und Neuenburgersee (280 km^2) sind noch weitere ca. 100 km^2 Retentionsflächen (z.B. Grosses Moos, Grenchenwiti) unmittelbar oberhalb und unterhalb des Bielersees vorhanden. Durch einen linksseitigen Dammbruch am Hagneckkanal werden die Flächen im Grossen Moos aktiviert.
- Zwischen Bielersee und Solothurn erstreckt sich die Grenchenwiti. In diesem Abschnitt besitzt die Aare seit der JGK II eine grosse Abflusskapazität. Erste Ausuferungen beginnen bei einem Abfluss von ca. 600 m^3/s. Grosse Überflutungen von vielen Quadratkilometern Fläche treten erst ab einem Abfluss von ca. 1'000 m^3/s auf und können den Abfluss der Aare bei extremen Hochwasserereignissen massgeblich dämpfen.
- Die kleinen, unterhalb von Solothurn liegenden Retentionsflächen können keine relevante dämpfende Wirkung entfalten.

Die Abflussspitzen der Aare in Brugg werden in jedem der Fälle (vor und nach der JGK) gedämpft.

Abbildung 3.5-3: Potentielle Austrittsstellen und Überflutungsbereiche zwischen Hagneckkanal, Bielersee und Solothurn bei extremen Hochwasserereignissen

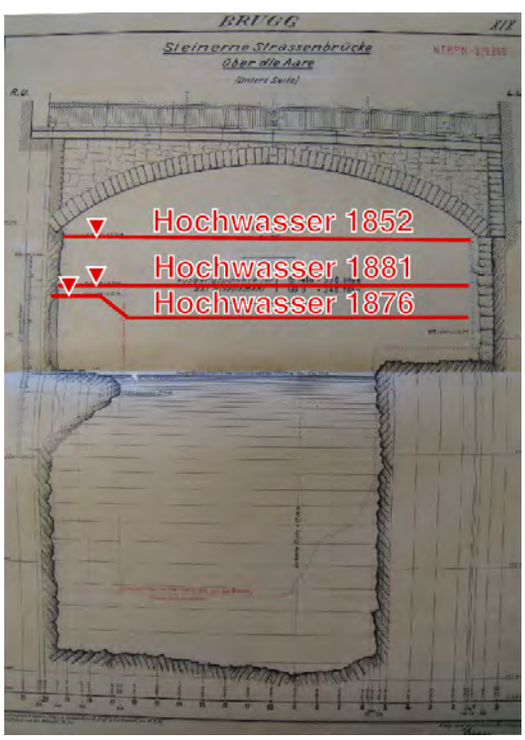


3.5.3 Pegelmessungen und historische Hochwasser

3.5.3.1 Historische Hochwasser

Um die im 20. und Anfang 21. Jahrhundert beobachteten Hochwasser besser einordnen zu können, wurden Informationen über historische Hochwasser zusammengetragen und ausgewertet. Vom grossen Hochwasser vom September 1852 sind mehrere Hochwassermarken bis heute erhalten geblieben (Abbildung 3.5-4). Die unmittelbar oberhalb der Aarebrücke in Brugg sichtbare Hochwassermarke liegt etwa 1.90 m höher als eine heute nicht mehr sichtbare Hochwassermarke direkt unterhalb der Aarebrücke. Beide Marken wurden um 1900 von der Landeshydrologie [88] vermessen. Die Höhendifferenz erklärt sich durch den Aufstau vor der Engstelle der Brücke und entspricht in etwa der Geschwindigkeitshöhe. Die daraus abgeschätzte mittlere Fliessgeschwindigkeit lag demnach bei ca. 6 m/s. Die durchflossene Querschnittsfläche konnte aus Querprofilaufnahmen um 1900 [88] auf 280 m^2 resp. 240 m^2 (Profil La Nicca) abgeschätzt werden. Die Abflussspitze vom 18.9.1852 lag demnach bei 1'500-1'700 m^3/s. Neben Zschokke ([89]; 1'540 m^3/s) schätzte auch die Flussbau AG ([87]; 1'700 m^3/s) den Abfluss dieses Hochwassers in der gleichen Grössenordnung ab. In gleicher Weise wurden weitere historische Hochwasserabflüsse an Aare, Reuss und Limmat rekonstruiert.

Abbildung 3.5-4: Die Steinerne Strassenbrücke über die Aare in Brugg mit den drei Hochwassermarken von 1852, 1881 und 1876 [88]



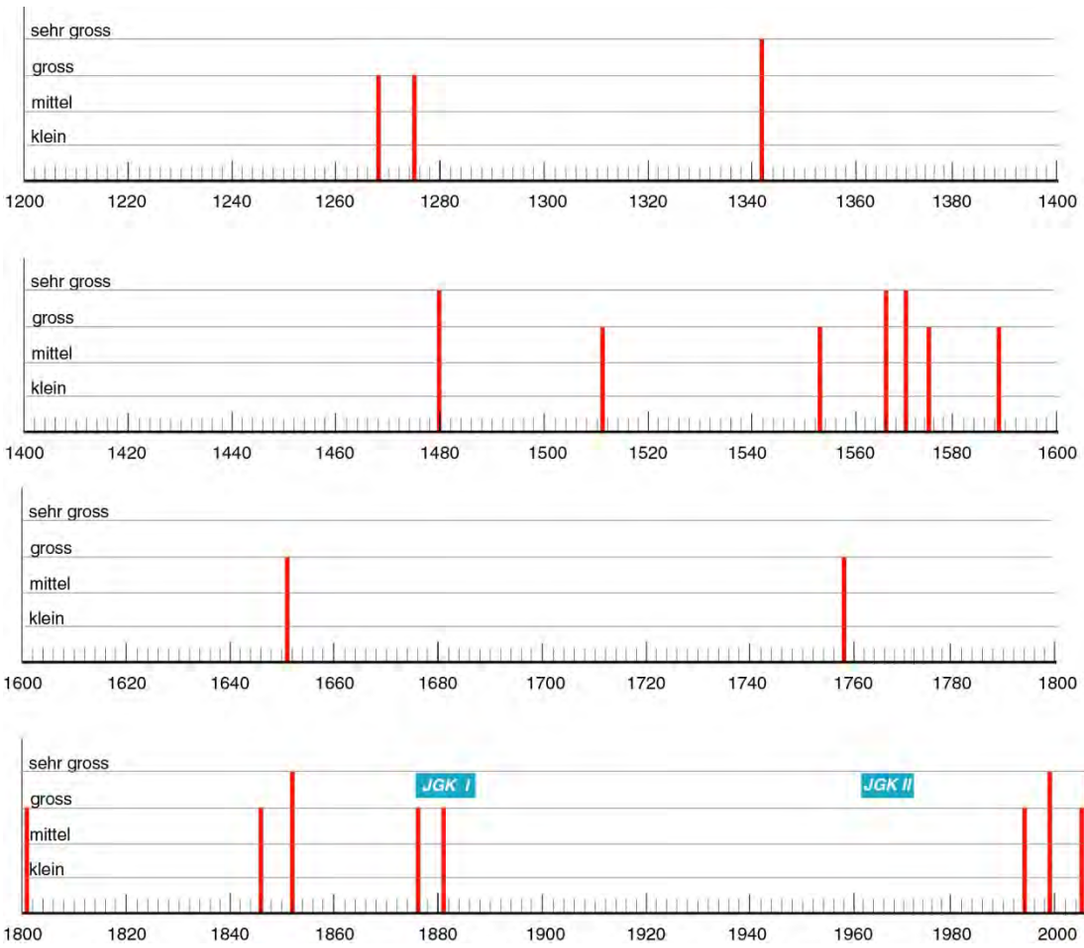
Die erkundeten Hochwasser wurden anhand der Schilderungen und des Vergleichs von Hochwassermarken nach ihrer Grösse bei der Aare in Untersiggenthal klassifiziert (Tabelle 3.5-1) und in den Zeitpfeil (Abbildung 3.5-5) eingetragen. Dies ergibt einen Gesamtüberblick über die Hochwassergeschichte der letzten 800 Jahre. Sieben sehr grosse Hochwasser sind aus dieser

Periode bekannt. Die letzten sehr grossen Ereignisse fanden in den Jahren 1852, 1999 und 2007 statt. Detaillierte Angaben zu den historischen Hochwassern sind unter 3.5.13 aufgeführt.

Tabelle 3.5-1: Kriterien zur Klassifizierung der Hochwasser der Aare in Untersiggenthal anhand von Schilderungen in historischen Quellen und dem Vergleich von Hochwassermarken

Klassifizierung	Abfluss Aare- Untersiggenthal	Beschreibung
sehr gross	> 2'600 m^3/s	grossräumige Überschwemmungen, sehr grosse Schäden, Zerstörung von Brücken
gross	2'300 – 2'600 m^3/s	Überschwemmungen, Schäden

Abbildung 3.5-5: Historische Hochwasser an der Aare seit ca. 1200, Charakterisierung der einzelnen Hochwasser anhand der Schilderungen in den untersuchten Quellen



3.5.3.2 Pegelmessungen

Sämtliche verfügbaren Informationen über Pegelaufzeichnungen im Unterlauf der Aare und an der Limmat in Baden und an der Reuss in Mellingen wurden zusammengetragen und gesichtet. Die PQ-Beziehungen der Messstationen von Reuss-Mellingen, Limmat-Baden, Aare-Brugg und Aare-Untersiggenthal wurden basierend auf Quer- und Längsprofilen des BAFU hydraulisch nachgerechnet und als brauchbar bis gut beurteilt. An allen Pegeln liegen auch bei Hochwasser Eichmessungen vor. An alten Pegellatten sind teilweise Hochwassermarken vor Beginn der eigentlichen Messungen vorhanden.

An der Aare in Döttingen wurden die Wasserstände bereits ab 1866 beobachtet ([88], aufgehobene Stationen). Ein Limnigraph war an dieser Station ab 1879 in Betrieb bis zur Inbetriebnahme des Flusskraftwerks Klingnau 1935 und dem Aufstau des Klingnauer Stausees. 1934 wurde als Ersatz flussaufwärts die Station Aare-Stilli in Betrieb genommen. Sie lag oberhalb des Dorfes Stilli rund 250 m oberhalb der Brücke, wurde 1975 ersetzt und an den neuen Standort ca. 250 m unterhalb der Brücke verschoben und heisst seither Aare-Untersiggenthal-Stilli.

Das Kraftwerk Beznau beeinflusst die Pegelstand-Abflussbeziehungen (PQ-Beziehungen) der Station Stilli. Die Genauigkeit der Messungen zwischen 1935 und 1992 ist deshalb eingeschränkt. Die älteren PQ-Beziehungen bis Mitte 1963 erwähnen diese Problematik und beschränken deshalb ihre Gültigkeit auf die Annahme von Normalstau im KW Beznau. Während der Periode von 1945-1992 wurden regelmässig Eichmessungen vorgenommen.

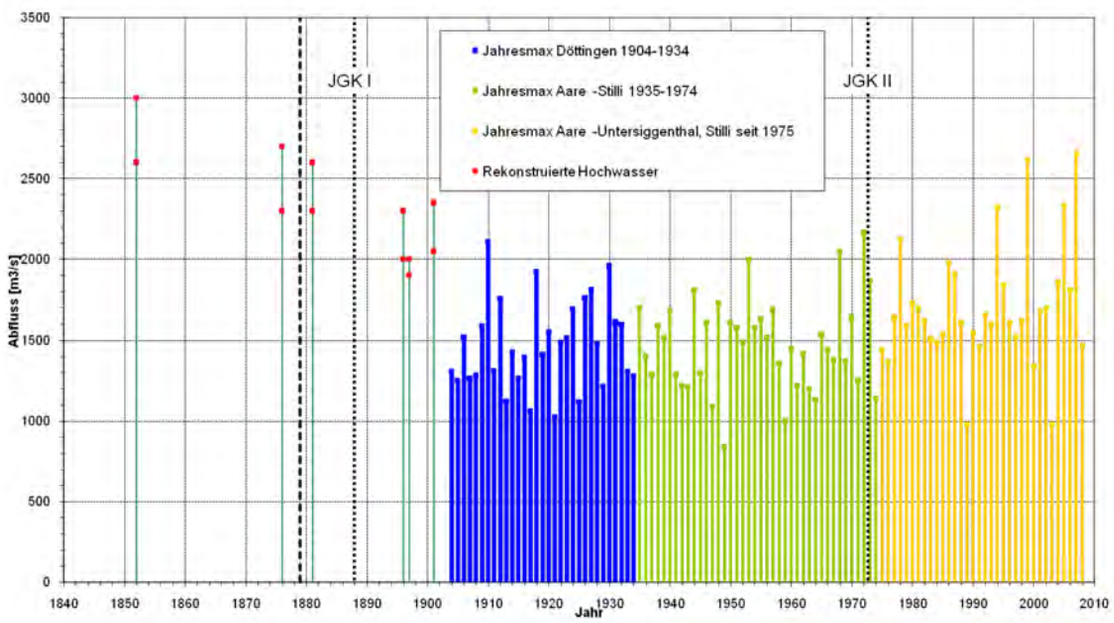
Seit 1992 wird der Abfluss durch Überlagerung der Werte aus den Stationen Aare-Brugg, Reuss-Mellingen und Limmat-Baden ermittelt. In Tabelle 3.5-2 sind die Stationen mit den jeweiligen Einzugsgebieten und der Betriebsdauer aufgeführt.

Tabelle 3.5-2: Pegelstationen und Einzugsgebiete

Stationsname	Stations-Nr.	Koordinaten	Höhe m. ü. M.	EZG [km²]	Pegelstand	Abfluss
Aare-Brugg	2016	657000 / 259360	332	11'726	seit 1866	seit 1916
Reuss-Mellingen	2018	662830 / 252580	345	3'382	seit 1866	seit 1904
Limmat-Baden	2243	665640 / 258690	351	2'396	seit 1904	1904-1921, seit 1951
Aare-Stilli, bzw. Untersiggenthal-Stilli	2205	659970 / 263180	326	17'601	seit 1934	seit 1934
Aare-Döttingen		661450 / 269110	315	17'752	Aug. 1866 bis Dez. 1937	1904-1934

Aus der Kombination der drei Messreihen Aare-Döttingen, Aare-Stilli und Aare-Untersiggenthal ergibt sich eine über 100-jährige Messreihe (Abbildung 3.5-6).

Abbildung 3.5-6: Jahreshochwasser am Pegel Aare-Döttingen, Stilli und Untersiggenthal (BAFU) ergänzt mit rekonstruierten Hochwasserabflüssen basierend auf Pegelablesungen resp. Hochwassermarken



3.5.4 Herleitung Hochwasser bestimmter Jährlichkeit

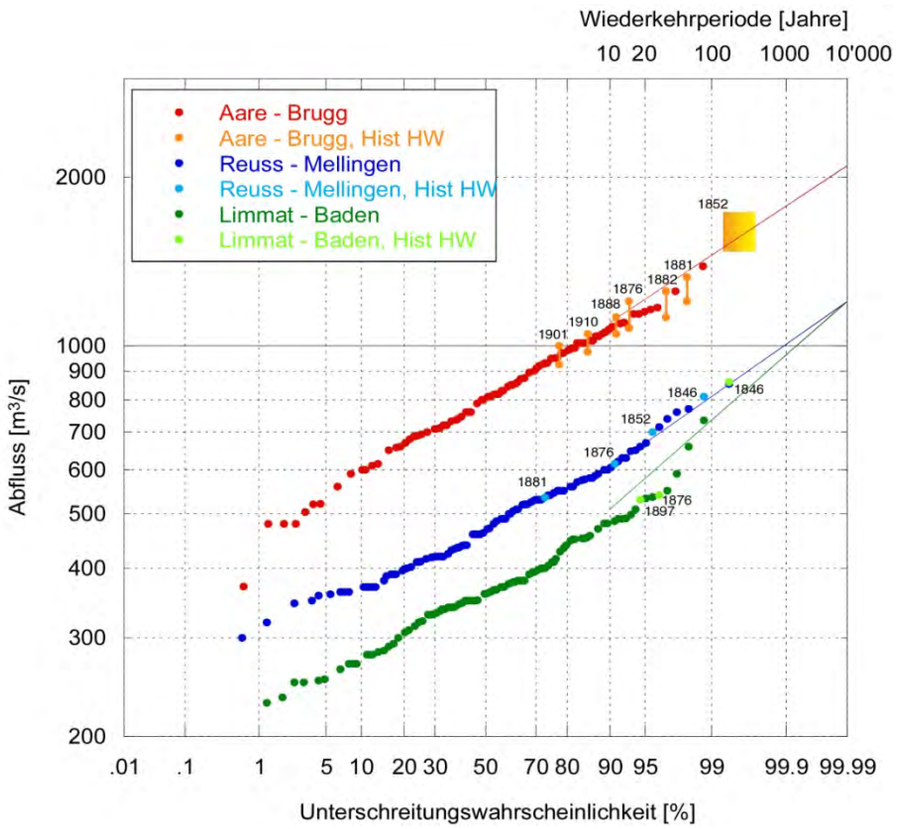
3.5.4.1 Ausgangslage für die Szenarien

Mit den Pegelmessungen und den Abflussrekonstruktionen kann die Hochwassergeschichte der vergangenen 160 Jahre überblickt werden. Durch die vorhandenen Schilderungen früherer Hochwasser und den Vergleich von Hochwassermarken erweitert sich der überblickbare Zeitraum auf ca. 800 Jahre. Um Angaben über extreme Hochwasser kleiner Wahrscheinlichkeit ($HQ_{1'000}$, $HQ_{10'000}$) gewinnen zu können, werden ausgehend von den Hochwasserstatistiken der Hauptzuflüsse Aare-Brugg, Reuss-Mellingen, Limmat-Baden Szenarien gebildet. Dieses Vorgehen kombiniert probabilistische und deterministische Überlegungen.

Die Hochwasserabflüsse der Hauptzuflüsse wurden folgendermassen ermittelt: In Mellingen wird seit 1904 der Pegel der Reuss aufgezeichnet, zudem konnten die Abflüsse der Hochwasser 1846, 1852, 1876 und 1881 rekonstruiert werden. Das Hochwasser vom 22.08.2005 war das grösste Ereignis der letzten 160 Jahre. Aus Messungen und Rekonstruktion historischer Hochwasser wurde die Statistik (Frequenzdiagramm) für Reuss-Mellingen, Aare-Brugg und Limmat-Baden erstellt (Abbildung 3.5-7).

Die Extrapolation auf seltene Hochwasser (rote, blaue und grüne Geraden in Abbildung 3.5-7) wurde graphisch vorgenommen, wobei nur die grössten Hochwasser berücksichtigt wurden. Bei standardisiertem Vorgehen werden kleine wie grosse Hochwasser gleichermassen berücksichtigt, was bei der Extrapolation auf seltene Hochwasser nicht sinnvoll ist [90][31].

Abbildung 3.5-7: Frequenzdiagramm der Jahreshochwasser am Pegel Aare-Brugg, Reuss-Mellingen und Limmat-Baden ergänzt mit rekonstruierten Hochwasserabflüssen basierend auf Pegelablesungen resp. Hochwassermarken.



Das gelb-orange Quadrat stellt die Ereignisbandbreite des Hochwassers 1852 dar.

Aus Abbildung 3.5-7 ergeben sich die in der Tabelle 3.5-3 aufgeführten Hochwasserabflüsse unterschiedlicher Jährlichkeit.

[31] Werden historische Hochwasser mit einer Bandbreite statistisch in ein Frequenzdiagramm eingeordnet, ist es nicht möglich, ein Vertrauensintervall anzugeben.

Tabelle 3.5-3: Hochwasserabflüsse unterschiedlicher Jährlichkeit am Pegel Aare-Brugg, Reuss-Mellingen und Limmat-Baden

Wiederkehrperiode Jahre	Aare-Brugg Abfluss [m^3/s]	Reuss-Mellingen Abfluss [m^3/s]	Limmat-Baden Abfluss [m^3/s]
100	1'450	810	735
1'000	1'800	1'000	950
10'000	2'100	1'200	1'200

Die mit der Erkundung historischer Hochwasser (Abbildung 3.5-5) erweiterten Abflussmessreihen bilden die Grundlage für dieses Vorgehen. Im überblickbaren Zeitraum von ca. 800 Jahren ereigneten sich einzelne sehr grosse Hochwasser. Die auf heutigen Erkenntnissen basierende Einschätzung ihres Ausmasses lieferte keine Hinweise auf ein verschärftes ("nicht-lineares") Abflussverhalten der Aare bei seltenen Hochwasserereignissen. Mit der Berücksichtigung der vor und während der Jura-Gewässer-Korrektion (JGK) aufgetretenen Hochwasserereignisse in der 2. Hälfte des 19. Jahrhundert wurde das gemäss Kapitel 3.5.2.3 zu erwartende Abflussverhalten der Aare bei extremen Hochwassern berücksichtigt (vgl. Ausführungen Kapitel 3.5.4.3). Bei der durch Vierwaldstättersee, Zugersee, Lauerzer- und Sarnersee gedämpften Reuss ist ebenfalls keine Verschärfung bei extremen Hochwasserereignissen zu erwarten. Bei der Limmat in Baden wurde eine moderate Verschärfung angenommen unter Berücksichtigung des in den 1930-Jahren angelegten Sihlsees als weiteres dämpfendes Element.

3.5.4.2 Festlegung der Szenarien

Für die Bildung von Hochwasserszenarien sind folgende Beobachtungen wesentlich:

- Die Abflussspitzen der Aare-Brugg, der Reuss-Mellingen und der Limmat-Baden können aufgrund der Beobachtungen früherer Hochwasser (1999, 2005, 2007) superponiert werden, weil die Abflussspitzen der drei Flüsse mehrere Stunden dauern.
- Es ist sehr unwahrscheinlich, dass bei einem extremen Hochwasser das Gesamteinzugsgebiet der Aare bei Untersiggenthal von ca. 17'600 km^2 gleichermassen überregnet wird.

Es werden daher zur Abschätzung eines $HQ_{1'000}$ und eines $HQ_{10'000}$ jeweils ein Szenario "West" und ein Szenario "Ost" festgelegt (Tabelle 3.5-4). Beim Szenario "West" fallen die grössten Niederschläge im Einzugsgebiet der Aare oberhalb Brugg und der Reuss. Das $HQ_{1'000}$ der Aare-Untersiggenthal bildet sich aus der Summe der $HQ_{1'000}$ an der Aare-Brugg und der Reuss-Mellingen, während die Limmat-Baden nur am Rande getroffen wird und ein HQ_{100} beiträgt. Entsprechend werden beim Szenario "Ost" die Einzugsgebiete der Reuss und der Limmat voll getroffen. Die Szenarien für ein $HQ_{1'000}$ ergeben Abflüsse von 3400-3535 m^3/s in Untersiggenthal. Die Werte der $HQ_{10'000}$-Szenarien liegen bei ca. 4'200 m^3/s.

Tabelle 3.5-4: Extremhochwasserszenarien für die Aare-Untersiggenthal

Szenario	Aare-Brugg Abfluss [m^3/s]	Reuss-MellingenAbfluss [m^3/s]	Limmat-Baden Abfluss [m^3/s]	Aare-Untersiggenthal Abfluss [m^3/s]
$HQ_{1'000}$ West	1'800	1'000	735	3'535
$HQ_{1'000}$ Ost	1'450	1'000	950	3'400
$HQ_{10'000}$ West	2'100	1'200	950	4'250
$HQ_{10'000}$ Ost	1'800	1'200	1'200	4'200

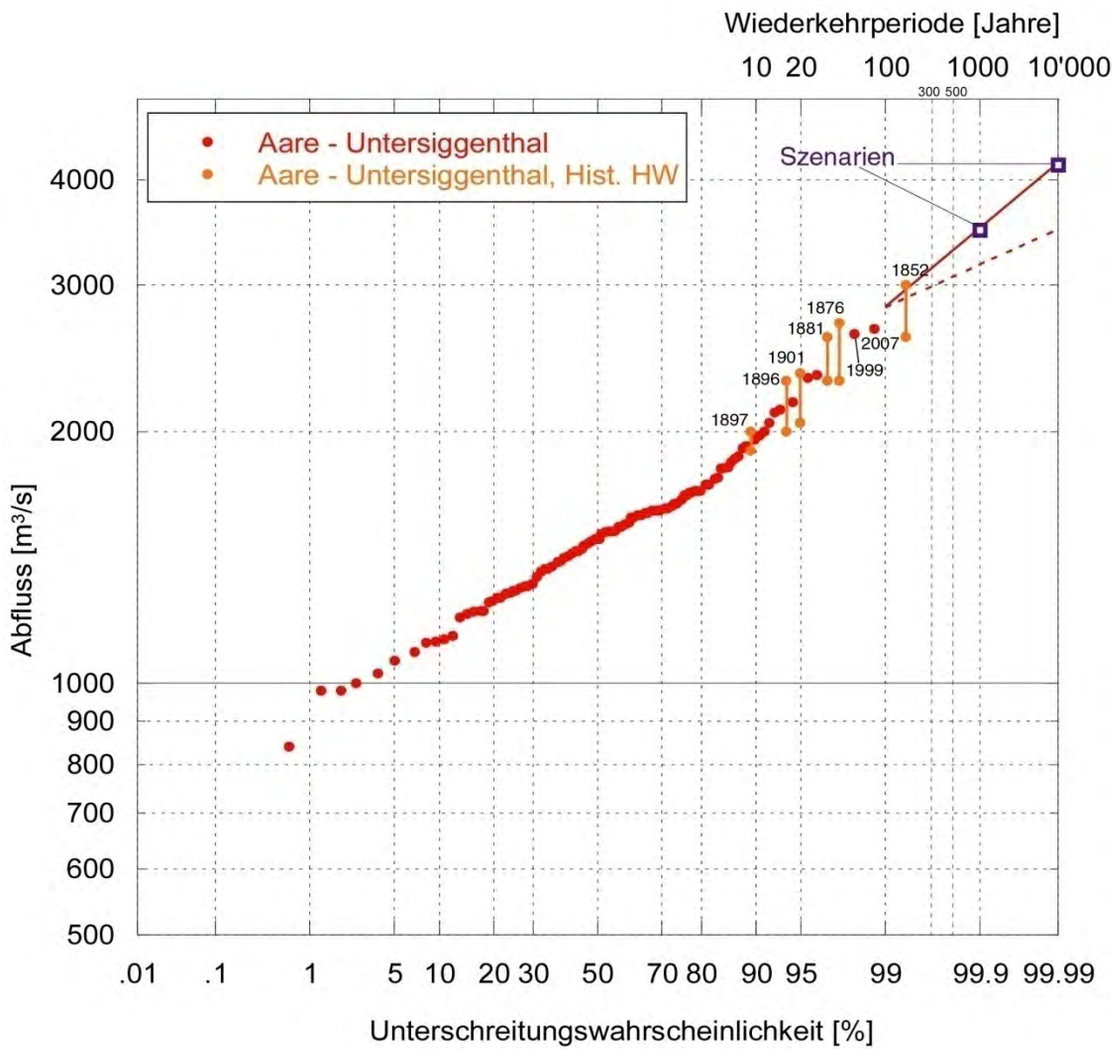
3.5.4.3 Hochwasser definierter Jährlichkeit an der Aare in Untersiggenthal

Abbildung 3.5-8 zeigt das Frequenzdiagramm der Jahreshochwasser der Station Aare-Untersiggenthal (rot) ergänzt mit den rekonstruierten historischen Hochwasserabflüssen (orange) und den aus den Szenarien ermittelten Abflüssen (violett).

Das Hochwasser vom 09.08.2007 wurde wahrscheinlich durch das Hochwasser von 1852 übertroffen. Entsprechend der vorliegenden Messreihe (Abbildung 3.5-6) wurde das Hochwasser 1852 als grösstes Hochwasser der vergangenen 160 Jahre eingeordnet. Da sich in den letzten 800 Jahren (vgl. Abbildung 3.5-5) weitere grosse und sehr grosse Aare-Hochwasser ereigneten, welche möglicherweise das Hochwasser von 1852 übertrafen, wurde dem Hochwasser 1852 keine höhere Wiederkehrperiode zugewiesen.

Die ausgezogene rote Linie zeigt die obere Grenze der Extrapolation auf seltene Hochwasser ($HQ_{1'000}$ und $HQ_{10'000}$) unter Berücksichtigung der Szenarien (Kapitel 3.5.4.1). Die $HQ_{1'000}$-Szenarien ergeben Abflüsse von 3400-3535 m^3/s bei der Aare in Untersiggenthal. Die Werte der $HQ_{10'000}$-Szenarien liegen bei ca. 4200 m^3/s. Bei Hochwassern dieser Grössenordnung werden die Abflüsse durch das breite Überfluten der Talböden eventuell zusätzlich gedämpft (strichlierte rote Linie).

Abbildung 3.5-8: Das Frequenzdiagramm der Jahreshochwasser der Aare in Untersiggenthal (1904–2007) ergänzt mit den rekonstruierten Hochwasserabflüssen aus historischen Daten (orange) und den Abflüssen aus den Szenarien (violett). Die roten Linien geben den wahrscheinlichen Bereich der Hochwasserabflüsse unterschiedlicher Jährlichkeit an.



Während mittlere bis grosse Hochwasser durch die Jurarandseen gedämpft werden, kann bei extremen Hochwassersituationen der Lauf der "alten Aare" durch einen Dammbruch des Hagneckkanals wieder aktiviert und auch das Grosse Moos überflutet werden (vgl. auch Kapitel 3.5.2.3). Die Dämpfung durch die Jurarandseen reduziert sich dadurch. Stattdessen wird der Aareabfluss im überflutbaren Grossen Moos und in der "Grenchenwiti" (Überflutungsfläche ca. 100 km^2) gedämpft. Die Abflussspitzen der Aare in Brugg werden in jedem Fall massgeblich gedämpft. Die durch die Rekonstruktion historischer Hochwasser erweiterte Datenreihe ist damit "quasi-homogen", da sich heute bei Abflüssen sehr seltener Hochwasser (z. B. $HQ_{1'000}$) an der Aare unterhalb Aarberg ähnliche Überflutungen einstellen dürften wie vor der JGK. Eine Extrapolation der Abflussmessreihe unter Einbezug der historischen Hochwasser aus dem 19. Jahrhundert ist daher möglich.

Die rot gestrichelte Linie in Abbildung 3.5-8 zeigt die vermutete untere Grenze der Extrapolation auf seltene Hochwasser an, wenn die Dämpfung aller drei Flüsse ideal verläuft. Die ausgezogene Linie makiert den ungünstigsten Fall. Aus Abbildung 3.5-8 ergeben sich damit für die Aare bei Untersiggenthal die nachfolgenden Hochwasserabflüsse unterschiedlicher Jährlichkeit (Tabelle 3.5-5). Effekte aufgrund von Klimaänderungen sind in den vorliegenden Betrachtungen nicht berücksichtigt, allerdings sind Abflusserhöhungen aufgrund klimatischer Effekte, die im Zeitfenster von 1200 bis heute erfolgt sind, enthalten.

Tabelle 3.5-5: Hochwasserabflüsse unterschiedlicher Jährlichkeit für die Aare in Untersiggenthal

Wiederkehrperiode	Abfluss [m^3/s]
100	2800
1000	3200-3500
10'000	3500-4200

Die hier ermittelten Abflüsse unterschiedlicher Jährlichkeit sind für die Beurteilung der Standorteignung des KKW erforderlich. In der Schweiz werden bei der Planung von Hochwasserschutzmassnahmen vermehrt Aussagen zum Überlastfall verlangt. Wichtige Schutzanlagen dürfen bei Abflüssen, die über dem Dimensionierungswert liegen, nicht versagen. Die obere Grenze des hier ermittelten $HQ_{10'000}$ geht jedoch bereits von einem ungünstigen Ablauf des Hochwassers aus.

Im Zusammenhang mit der Standorteignung stellt sich die Frage, wie sich Überflutungen (Höhe und Ausdehnung) verhalten, wenn Abflüsse > $HQ_{10'000}$ eintreffen. Um diese hydraulische Sensitivität des Standorts zu analysieren, wurde das $HQ_{10'000}$ noch um 20% erhöht (Kapitel 3.5.7.6)[32]. Diese zusätzliche Untersuchung zeigt die Robustheit des Standorts im Hinblick auf noch höhere Hochwassermengen auf. Diesem Extremhochwasser kann keine Wiederkehrperiode zugeordnet werden.

3.5.4.4 Effekte von Klimaänderungen auf die Grösse der Abflüsse in Beznau

Bei Hochwasserabschätzungen stellt sich die Frage, wie sich Klimaänderungen auf das Hochwassergeschehen der Zukunft auswirken werden. Im Rahmen der Ereignisanalyse des Hochwassers 2005 [22] wurde von Naef et al. die Häufung der Hochwasser der letzten Jahre untersucht.

Zitat: *"Gemäss der Zusammenstellung der historischen Hochwasser wechseln sich über die Jahrhunderte Perioden mit erhöhter Hochwasserhäufigkeit mit ruhigeren Perioden ab. Der mittlere Teil des 20. Jahrhundert war eher ruhig, seit Ende des 20. Jahrhundert erhöhten sich die Frequenzen stark. Bisher sprengen diese aber nicht den Rahmen früherer intensiver Perioden. Häufungen von Hochwassern sind auch bei rein zufälliger Verteilung zu erwarten. Die Regelmässigkeit mit der dies über die Jahrhunderte geschah, deutet jedoch auf zyklische Komponenten hin. Die heutigen Erfahrungen und Messreihen sind wesentlich durch die*

[32] Die Richtlinien für die Sicherheit von Stauanlagen (2002) [91] verlangen beispielsweise, dass solche Überlastfälle berücksichtigt werden indem das $HQ_{1'000}$ mit einem Faktor n multipliziert wird (n = 1.3 – 1.5).

vorangehende ruhigere Periode in der Mitte des 20. Jahrhundert geprägt. Auch aus diesem Grund wird die jetzige Häufung als so ungewöhnlich erlebt."

Falls an der Aare die in den letzten Jahren beobachtete Häufung grosser Hochwasser (1994, 1999, 2005 und 2007) einer zyklischen Häufung entspricht, müsste auch wieder eine ruhigere Phase folgen. Wie stark die Häufung der letzten Jahre durch Klimaänderungen erzeugt resp. verschärft wurde und wie sich diese in Zukunft auswirken wird, lässt sich aufgrund der hydrologischen Daten nicht voraussagen. Hingegen ermöglicht das hier gewählte Vorgehen (Auswertung der Abflussdaten ergänzt mit historischen Hochwassern aus früheren hochwasserreichen Perioden) eine realistische Einschätzung der Grösse seltener Hochwasser.

3.5.5 Abflussmengen und Niedrigwasser

Die Abflussmengen der Aare werden von der Landeshydrologie in Untersiggenthal gemessen. Das Einzugsgebiet an der Messstelle entspricht praktisch dem Einzugsgebiet beim Stauwehr Beznau. Die mittleren Dauerkurven der Abflüsse der Aare-Untersiggenthal von 1904-1961 (vor der Juragewässerkorrektion II) und von 1973-2007 (nach der Juragewässerkorrektion II) unterscheiden sich, wie aus Abbildung 3.5-9 ersichtlich, nur geringfügig. Aus der Dauerkurve der Periode 1904-2007 ergibt sich ein mittlerer Abfluss von 565 m^3/s. Dauerkurven des Abflusses der Aare in Untersiggenthal in trockenen und in nassen Jahren können der Abbildung 3.5-10 entnommen werden. Die Monatsmittelwerte des Abflusses (1904-2007) der Aare in Untersiggenthal und ihr Schwankungsbereich kann der Abbildung 3.5-11 entnommen werden. Der niedrigste momentane Abfluss betrug 138 m^3/s im Januar 1963. Abbildung 3.5-12 zeigt ein Frequenzdiagramm der Jahresabflussminima. Ein 100-jährliches Niedrigwasser liegt bei ca. 130 m^3/s. Abbildung 3.5-13 zeigt die Häufigkeit von Perioden mit Niedrigwasserführung (Abflüsse < 300 m^3/s) unterschiedlicher Dauer der Aare in Untersiggenthal von 1904-2007. Zwei Mal traten Niedrigwasserperioden mit einem Abfluss < 300 m^3/s von mehr als 160 Tagen auf, zwölf Mal von 41 bis 60 Tagen Dauer. Abbildung 3.5-14 zeigt die Abflussjahre 1912, 1979 und 1994. Sie entsprechen bezüglich der Dauerkurve einem mittleren Jahr.

Abbildung 3.5-9: Die Dauerkurven des Abflusses der Aare in Untersiggenthal vor und nach der JGK II und als Mittel (1904-2007)

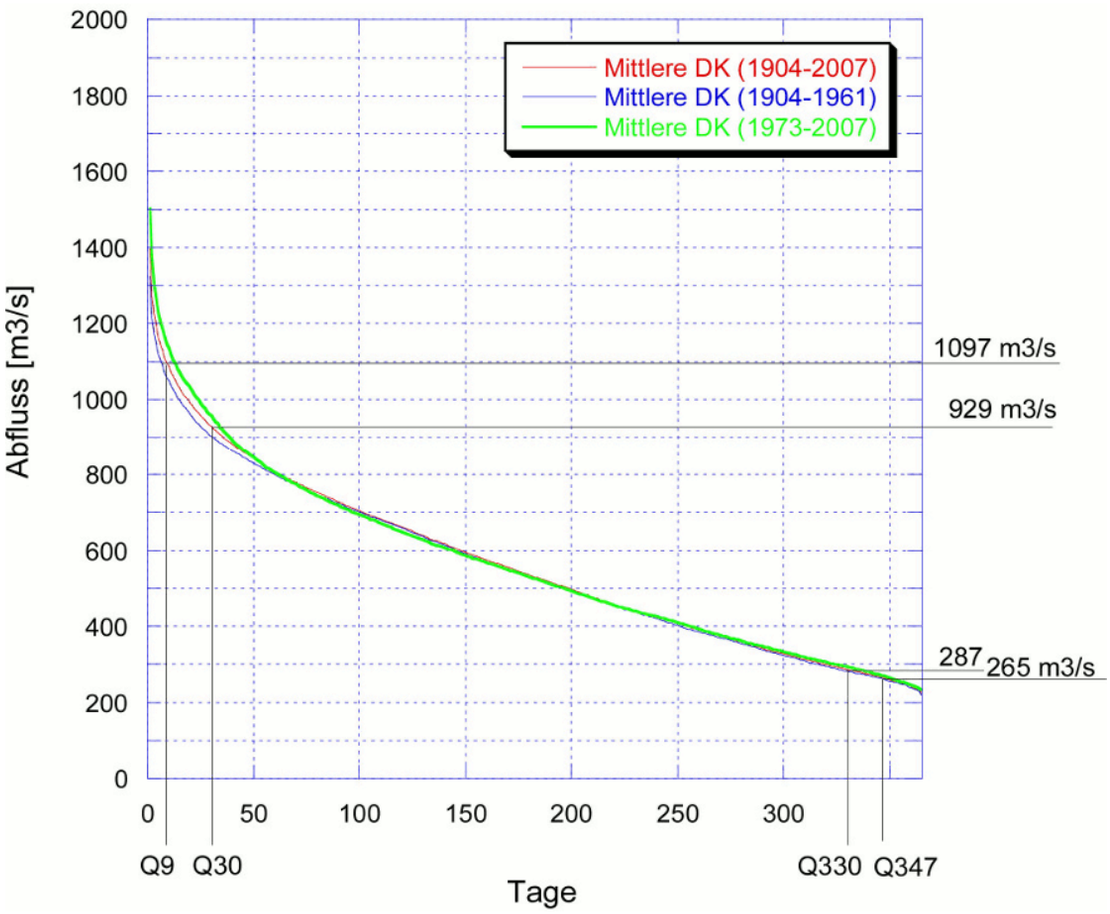


Abbildung 3.5-10: Die Dauerkurven des Abflusses der Aare in Untersiggenthal in trockenen Jahren (1921,1949 und 2003) und in nassen Jahren (1970 und 1999)

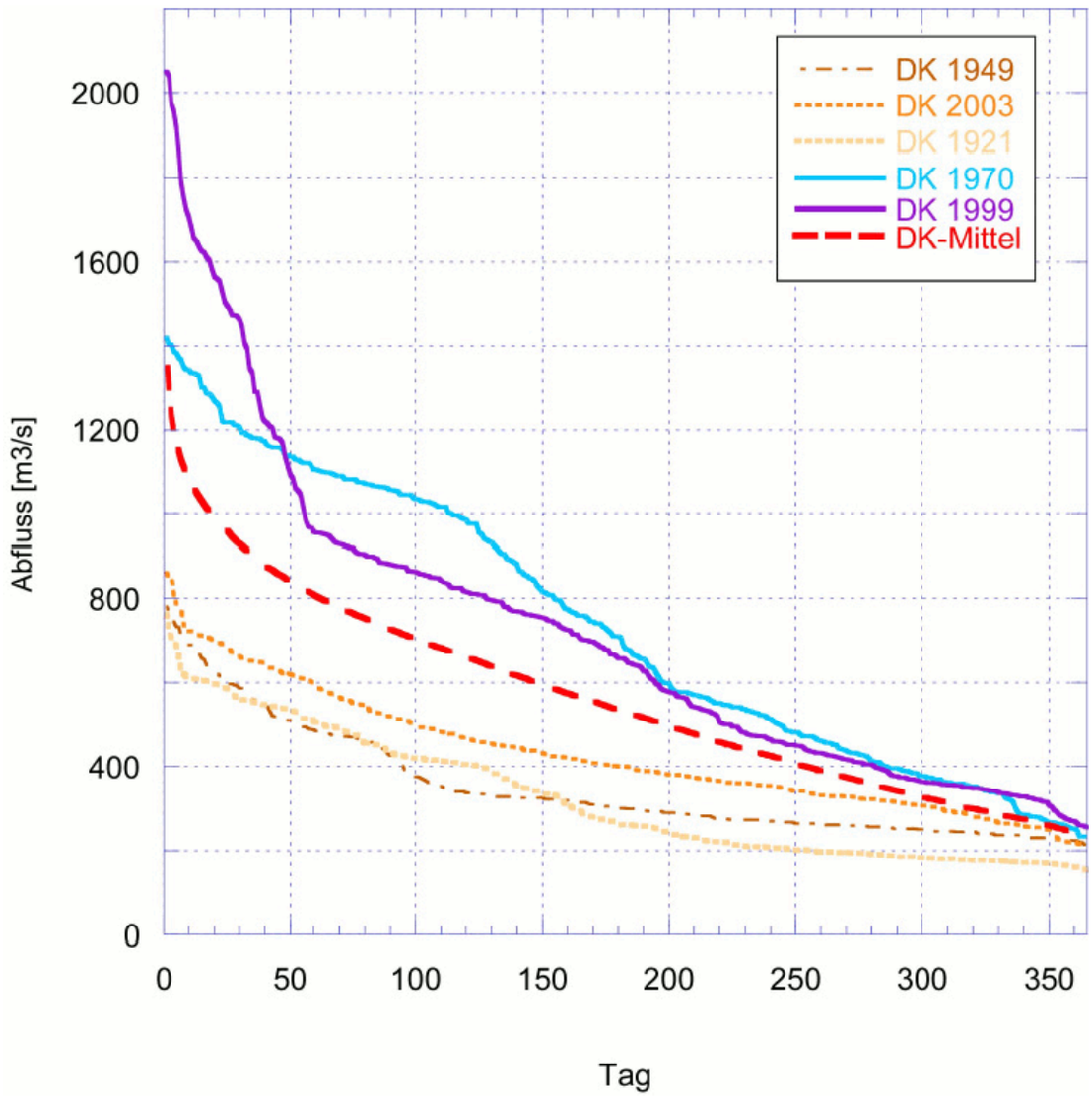


Abbildung 3.5-11: Die Monatsmittel des Abflusses der Station Aare-Untersiggenthal von 1904-2007 (1904-1934: Döttingen, 1935-1974: Stilli) und ihr Schwankungsbereich

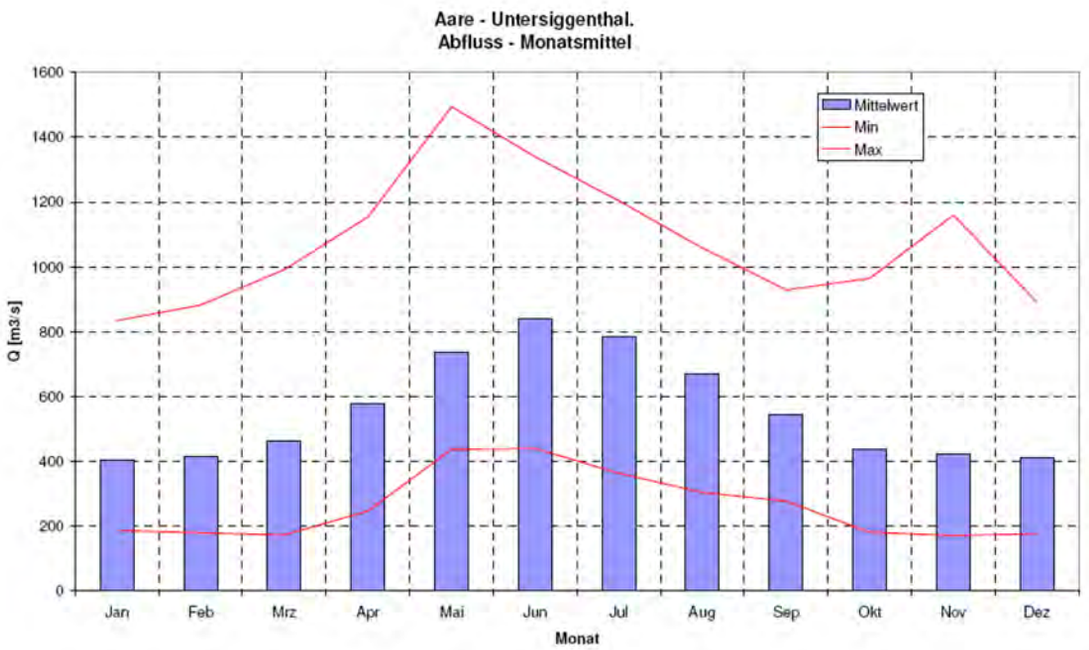


Abbildung 3.5-12: Frequenzdiagramm der Jahresabflussminima der Aare-Untersiggenthal

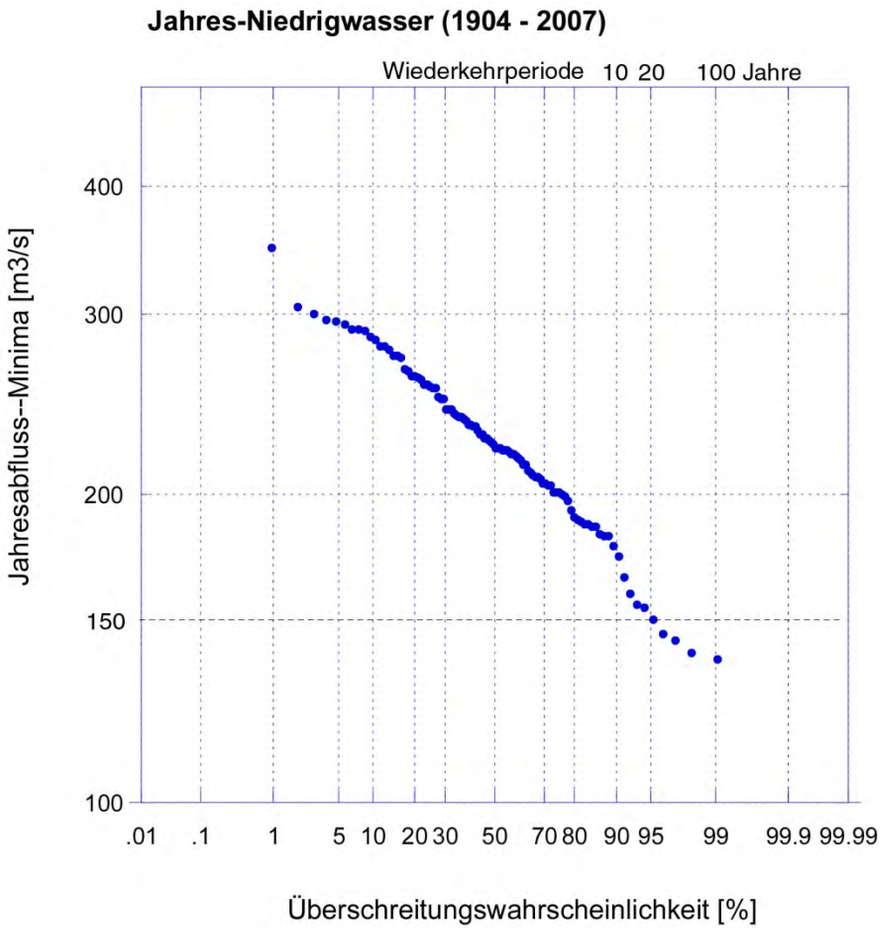


Abbildung 3.5-13: Die Häufigkeit von Perioden mit Niedrigwasserführung (Abflüsse < 300 m^3/s) unterschiedlicher Dauer der Aare in Untersiggenthal von 1904-2007

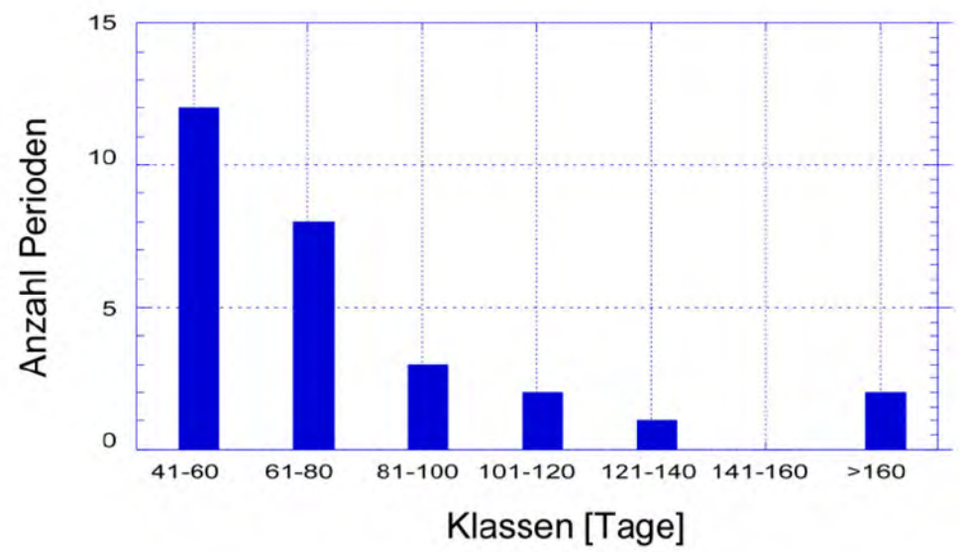
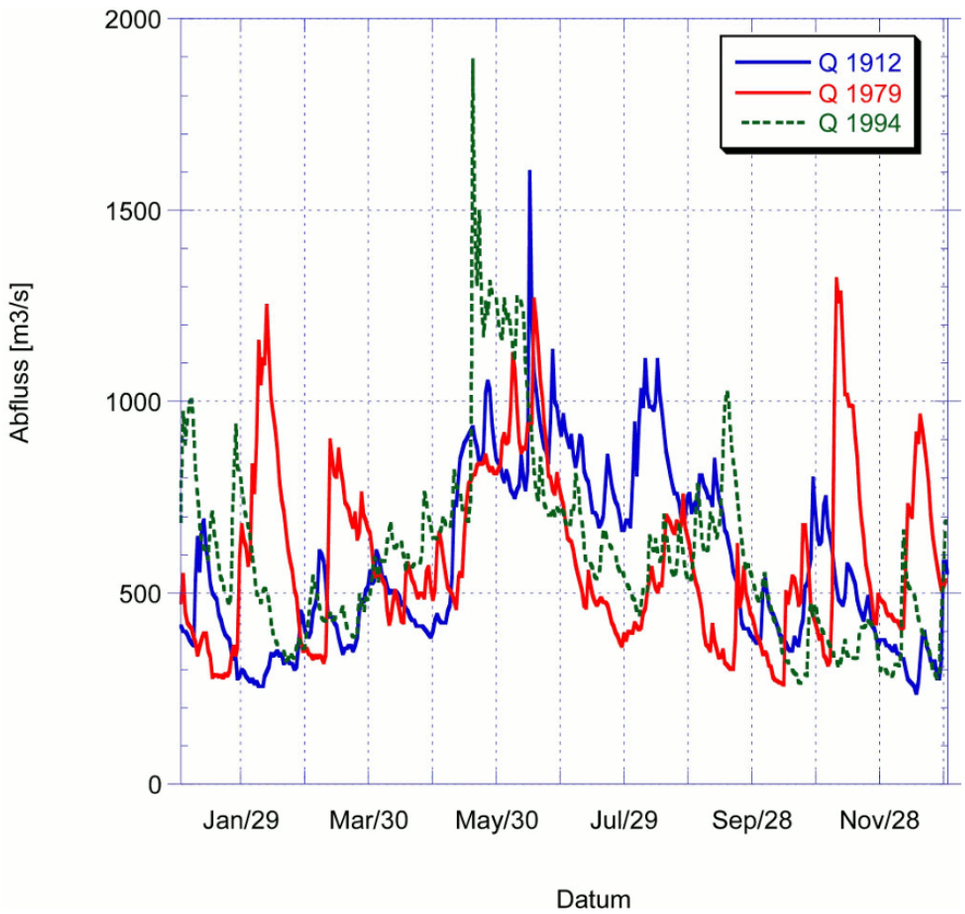


Abbildung 3.5-14: Die Abflussjahre 1912, 1979 und 1994, die bezüglich Dauerkurve einem mittleren Jahr entsprechen



3.5.6 Stauhaltung

Der Stauspiegel am Wehr südlich der Insel Beznau wird durch eine automatische Regelung konstant auf 325.25 m ü.M. gehalten. Dadurch variiert der Wasserspiegel bei der Kühlwasserentnahmestelle von KKB 1 und 2 nur geringfügig zwischen 325.15 und 325.25 m ü.M. Der Wasserspiegel am Kühlwasserauslauf von KKB 1 und 2 wird sowohl durch die Wasserführung als auch durch die Stauhaltung Klingnau beeinflusst. Er variiert von rund 318.6 m ü.M. bei extremem Niedrigwasser bis 324.2 m ü.M. bei einem Abfluss von 2800 m^3/s. Innerhalb eines Durchschnittsjahres liegt dieser Wasserspiegel zwischen 321.9 und 318.8 m ü.M., entsprechend einer nutzbaren Fallhöhe zwischen Entnahme und Rückgabe von 3.35 bis 6.45 m. Gefälledifferenzen unter 4 m treten an rund neun Tagen im Jahr auf. Bei Wegfall der Stauhaltung Klingnau würde sich dieses Gefälle insbesondere bei kleineren Abflussmengen erhöhen, ein negativer Einfluss auf die Kühlwasserrückgabe des KKB wäre nicht zu erwarten.

Ein Wegfall der Stauhaltung, durch ein Versagen des hydraulischen Kraftwerks Beznau oder ein Versagen des Stauwehrs führt grundsätzlich zum Ereignis Niedrigwasser, welches seinerseits einen möglichen Ausfall oder eine Beeinträchtigung der externen Kühlwasserzufuhr zur Folge haben kann. Die Anlage wird gegen eine Beeinträchtigung bzw. gegen den Ausfall der externen

Kühlwasserzufuhr ausgelegt. Somit ist beim Verlust der Stauhaltung die nukleare Sicherheit der Anlage gewährleistet.

Durch den Neubau des Hydraulischen Kraftwerks Beznau (HKB) ist eine Veränderung der Standorteigenschaften bezüglich Oberflächenwasser, durch eine mögliche Veränderung der Staukote, nicht auszuschliessen. Diese Veränderungen können erst dann beurteilt werden, wenn Klarheit über deren Umsetzung vorhanden ist.

3.5.7 Überflutung

Für das Bewilligungsverfahren eines neuen Kraftwerks am Standort auf der Beznau-Insel muss die Überflutung auch bei extremen Ereignissen berechnet werden.

Es wurde deshalb ein zweidimensionales Überflutungsmodell von Aarau bis zum Rhein erstellt und verschiedene Bruch- und Hochwasserszenarien berechnet.

3.5.7.1 Grundlagen und Methodik

Die zweidimensionalen Berechnungen werden mit dem Modell Basement durchgeführt. Das Programm wird an der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich entwickelt. Es enthält nur die eigentliche hydraulische Berechnung, jedoch keine Möglichkeiten des Pre- und Postprocessings. Daher wird von der TK Consult AG für die Datenaufbereitung und Netzgenerierung und die anschliessende Darstellung der Resultate das Programmpaket SPRING verwendet, das eigentlich ein Grundwassermodell ist. Für die Berechnungen der Limmat wird zudem das Programm FLUX / FLORIS 2000 verwendet, da im engen Flussschlauch der Limmat eine eindimensionale Modellierung genügt.

3.5.7.1.1 Terrainmodell

Von swisstopo (Bundesamt für Landestopografie) sind digitale Terrainmodelle verfügbar, die mit Airborne Laser Scanning erstellt wurden. Die Punktdichte beträgt etwa 1 P/m^2. Da die Daten eine zu grosse Dichte aufweisen, müssen sie ausgedünnt werden. Dies wird mit dem Programm SIMP gemacht. Berücksichtigt wird dabei, dass in gleichmässig flachen Gebieten nur wenige Punkte notwendig sind, in Gebieten mit variabler Topografie jedoch eine Vielzahl von Stützpunkten.

Für den eigentlichen Flussbereich und den Klingnauer Stausee werden terrestrisch vermessene Querprofile verwendet. Diese müssen zuerst ausgedünnt und dann in Längsrichtung mit Bruchkanten verbunden werden. Der Flussschlauch wird anschliessend mit dem DTM vernetzt. Falls die Hochwasserschutzdämme in den Querprofilen enthalten sind, werden sie durch Bruchkanten mit dem nächsten Querprofil verbunden. Die Dämme sollten daher, sofern in den Querprofilen vermessen, mit hoher Genauigkeit nachgebildet werden. Probleme entstehen, wenn der Damm nicht von der Querprofilvermessung erfasst wird. Dies ist beispielsweise im Bereich des Klingnauer Stausees der Fall, wo die neuesten Querprofile nur den benetzten Querschnitt erfassen. In solchen Fällen muss der Damm aufgrund des nicht ausgedünnten DTM-AV von Hand eingebaut werden. Die Höhengenauigkeit des DTM-AV wird von swisstopo mit ±50 cm angegeben (einfache Standardabweichung).

3.5.7.1.2 Programm Basement

Basement ist ein Finite-Volumen-Programm zur Lösung der tiefengemittelten, zweidimensionalen Flachwassergleichungen auf unstrukturierten Netzen. Es zeichnet sich aus durch das automatische Erkennen von wechselnd nassen und trockenen Bereichen. Eine automatische Regelung des Wehres ist nicht möglich, Wehrstellungen müssen von Hand eingegeben werden, was ein iteratives Vorgehen erfordert.

Das eigentliche Berechnungsnetz aus Drei- und Vierecken wird mit dem Programm SPRING erstellt, die eigentliche Vernetzung der Oberflächenpunkte zu einem Dreiecksmaschengitter erfolgt mit dem Programm TRIANGLE und mit dem Netzgenerator von SPRING. Aus dem Dreiecksnetz wird anschliessend ein gemischtes Netz aus Drei- und Vierecken erstellt. Markante Geländepartien können dabei als Bruchkanten vorgegeben werden.

3.5.7.1.3 Modell Aarau bis Klingnau

Das Programm Basement beruht auf einer numerischen Diskretisierung mit Drei- und Vierecken, was eine flexible Anpassung an beliebige Ränder ermöglicht. Das Gesamtmodell beginnt beim Kraftwerk Aarau. Für den obersten Teil wurde ein bestehendes Modell der NOK übernommen und umformatiert. Ab Kraftwerk Wildegg-Brugg musste ein neues Modell erstellt werden. Einerseits wurden dabei Querprofildaten verwendet, die zu einem Flussschlauch vernetzt wurden. Für das Umgelände standen die Laser-Scanning-Daten der swisstopo zur Verfügung. Um die Rechenzeit zu optimieren, wurde ein möglichst regelmässiges Netz entworfen, mit einer typischen Gitterweite von 20 m. Die Daten des Höhenmodells wurden auf dieses Gitter interpoliert. Das Gesamtmodell umfasst insgesamt 130'000 Elemente. Das kleinere Modell vom Wasserschloss bis Klingnau hat nur noch 33'000 Elemente, womit die Rechenzeit wesentlich verkürzt werden kann. Trotzdem beträgt die Rechenzeit für die lang andauernde $HQ_{10'000}$-Welle immer noch mehrere Tage.

3.5.7.2 Berechnung der Überflutung der Beznau-Insel

Folgende für eine mögliche Überflutung der Insel Beznau relevanten Szenarien wurden in Zusammenarbeit mit NOK Hydro untersucht:

1. Extremhochwasser, $HQ_{10'000}$ = 4200 m^3/s (entspricht dem oberen Wert des in Kapitel 3.5.4.3 angegebenen Wertebereichs für $HQ_{10'000}$ von 3500-4200 m^3/s)
2. Sequentieller Wehrbruch Kraftwerk Rupperswil-Auenstein (KRA) und Kraftwerk Wildegg-Brugg (KWWB)
3. Wehrbruch KW Wettingen
4. Kombinierter Wehrbruch KRA, KWWB und KW Wettingen.

Ein Bruch des KW Bremgarten-Zufikon ist für den Standort nicht relevant. Das KW Bremgarten-Zufikon ist fast doppelt so weit entfernt von der Insel Beznau wie das Kraftwerk Wettingen. Ein langer Fliessweg führt erfahrungsgemäss zu einer starken Dämpfung einer Abflussspitze. Aus diesem Grund kann auf die Untersuchung der Auswirkungen eines Wehrbruchs des KW Bremgarten-Zufikon verzichtet werden.

Das Szenarium eines kombinierten gleichzeitigen Wehrbruchs dient für den Fall eines grossflächigen Erdbebens, welches gleichzeitig die betreffenden drei Stauwehre brechen lässt.

Ein sequentieller Wehrbruch wird nur für Kraftwerke an derselben Fliessstrecke untersucht.

Das Szenario "sequentieller Bruch" berücksichtigt aufeinander folgende Wehrbrüche der Aare-Kraftwerke KWA und KWWB, deren Flutwellen sich in Wildegg-Brugg superponieren. Im weiteren Verlauf bis zum EKKB wird diese Abflusspitze jedoch erheblich abgedämpft. Eine zusätzliche Flutwelle aus einem Seitengewässer (KW Wettingen) ist in diesem Szenario nicht berücksichtigt.

Im Szenario "gleichzeitiger Wehrbruch" existieren zwar 3 Einzelwellen, die nacheinender im EKKB eintreffen. Jedoch erreicht die Flutwelle aus Wettingen, die auf Grund der hohen Fallhöhe/Volumen relativ gross ausfällt und zudem im Wasserschloss auf erhöhten Aare-Abfluss trifft, eine höhere Abflussspitze als die kombinierte Flutwelle "sequentieller Bruch". Eine Superposition der Abflussspitzen aus Wettingen und Wildegg-Brugg im Wasserschloss kann jedoch auf Grund der unterschiedlichen Laufzeiten ausgeschlossen werden.

In Tabelle 3.5-6 sind die Entfernungen, Stauvolumen, Fallhöhen beim Wehr sowie die Fliesszeiten der Hochwasserwellen bis zur Insel der flussaufwärts gelegenen Wehre grösserer Stauhaltung überblicksweise angegeben. Die Lage der in Tabelle 3.5-6 aufgeführten Kraftwerke kann der Abbildung 3.5-1 entnommen werden.

Die Unterwasserbedingungen sind für alle Wehrbruchszenarien identisch, inklusiv die Annahme dass die Wehrsteuerung ausfällt.

Tabelle 3.5-6: Übersicht über die flussaufwärts gelegenen Wehre grösserer Stauhaltungen

Stauhaltung	Entfernung bis EKKB	Fliesszeiten bis EKKB	Stauvolumen	Fallhöhe beim Wehr (Niederwasser)
	(km)	(min)	Mio m^3	(m)
HKB (Hydraulisches Kraftwerk Beznau)	0	-	2.1	6.0
KRA (Kraftwerk Rupperswil-Auenstein)	23.2	104	1.0	8.9
KWWB (Kraftwerk Wildegg-Brugg)	15.6	72	0.8	7.2
KWW (Kraftwerk Wettingen)	18.1	35[33]	6.0	18.4
KWBZ (Kraftwerk Bremgarten-Zufikon)	35.8	-[34]	2.2	11.2

Auf die Darstellung der Kennzahlen dazwischen liegender kleinerer Stauhaltungen (Leistung < 10 MW) wurde verzichtet. Es sind dies z.B. bei der Reuss das Kraftwerk Windisch und bei der Limmat die Kraftwerke Aue, Kappelerhof und Schiffmühle.

3.5.7.2.1 Modellparameter

Bekannte kalibrierte Strickler-Rauhigkeitsbeiwerte für den Flussschlauch wurden als Grundlage in das Modell eingefügt. Zusätzlich mussten für die angrenzenden Agrarflächen und den Wald Werte eingegeben werden, die jedoch mangels Messdaten nicht kalibriert werden können. Nicht unterschieden werden hier die Rauhigkeitsbeiwerte der Böschungen; diese werden der Rauhigkeit des Vorlandes gleichgesetzt.

- Flussschlauch 42.0 $m^{1/3}/s$
- Agrarland 25.0 $m^{1/3}/s$
- Wald, Auen 20.0 $m^{1/3}/s$

Für das Agrarland ist eine Festsetzung der Werte schwierig, da diese vom jeweiligen Bewuchs einer Parzelle abhängig sind und damit auch von der Jahreszeit. Der verwendete Wert ist daher ein Mittelwert. Eine Kalibrierung wäre nur möglich, wenn Überflutungen von entsprechendem Ausmass stattgefunden hätten.

Im Basement-Modell werden die reziproken Werte der Strickler-Rauhigkeitsbeiwerte verwendet.

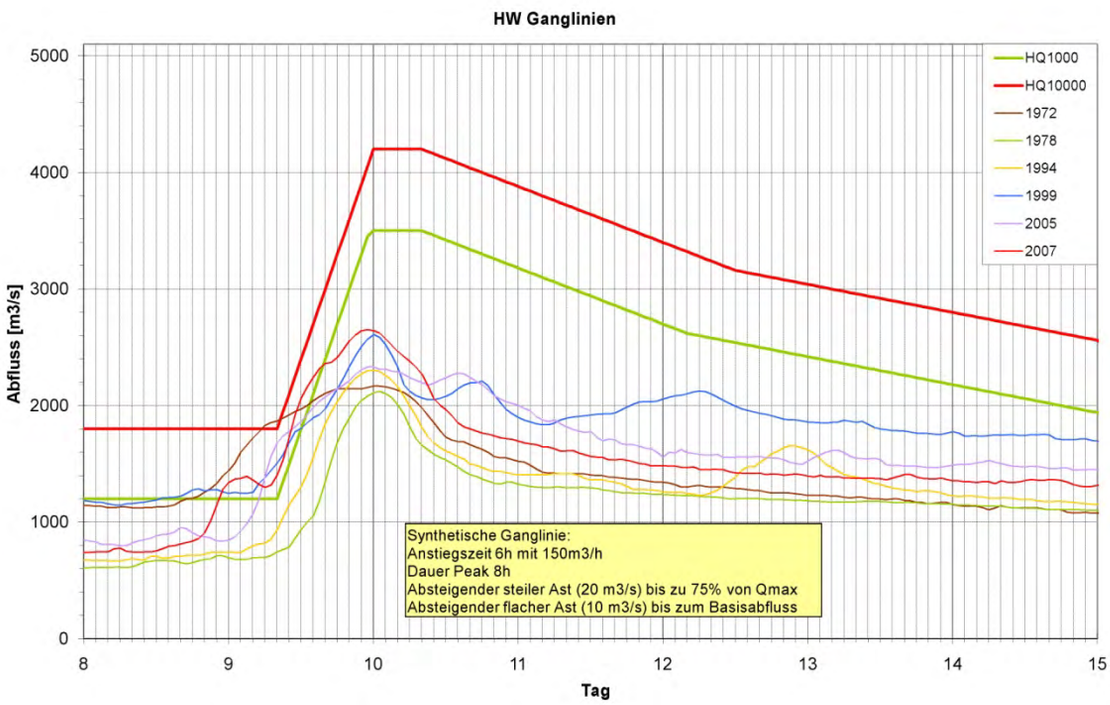
[33] Fliesszeit KW Wettingen bis Wasserschloss

[34] Das Kraftwerk Bremgarten-Zufikon ist fast doppelt so weit entfernt von der Insel Beznau wie das Kraftwerk Wettingen. Da das Szenario nicht weiter untersucht wurde kann die Fliesszeit nicht explizit angegeben werden. Aufgrund der grösseren Entfernung wird die Fliesszeit erheblich grösser sein, als die des Kraftwerks Wettingen.

3.5.7.2.2 Extremhochwasser $HQ_{10'000}$

Das für die Berechnung verwendete Modell reicht vom Wasserschloss bis zum Kraftwerk Klingnau mit einer Staukote von 318.00 m ü.M. Die verwendete Ganglinie ist aus Abbildung 3.5-15 ersichtlich.

Abbildung 3.5-15: Verlauf der Hochwasserwelle bei $HQ_{10'000}$



Dieser Zufluss wird gleich unterhalb des Limmatzuflusses eingegeben, wodurch nicht unterschieden werden muss, welche Anteile aus Aare-, Reuss- oder Limmateinzugsgebiet kommen.

Als Randbedingungen beim Wasserkraftwerk wird angenommen, dass die Turbinen nicht mehr in Betrieb sind und eine Wehröffnung geschlossen ist.

Die Variante (n-1), eine Wehröffnung geschlossen, kommt aus der Stauanlagenverordnung [91]. Dort muss ein $HQ_{1'000}$ unter Annahme, dass das leistungsfähigste Ablassorgan nicht funktioniere, ohne Bauwerksgefährdung abgeleitet werden können. Weiter muss das Sicherheitshochwasser ($1.5 \times HQ_{1'000}$) unter Einbezug sämtlicher Ablassorgane und Zulassen geringfügiger Schäden abgeführt werden können. Eine noch höhere Sicherheit gegenüber der Stauanlagenverordnung würde sich ergeben, wenn in gleicher Weise ein Sicherheitshochwasser, welches dem $HQ_{10'000}$ entspricht, unter Anwendung der (n-1)-Bedingung analysiert wird.

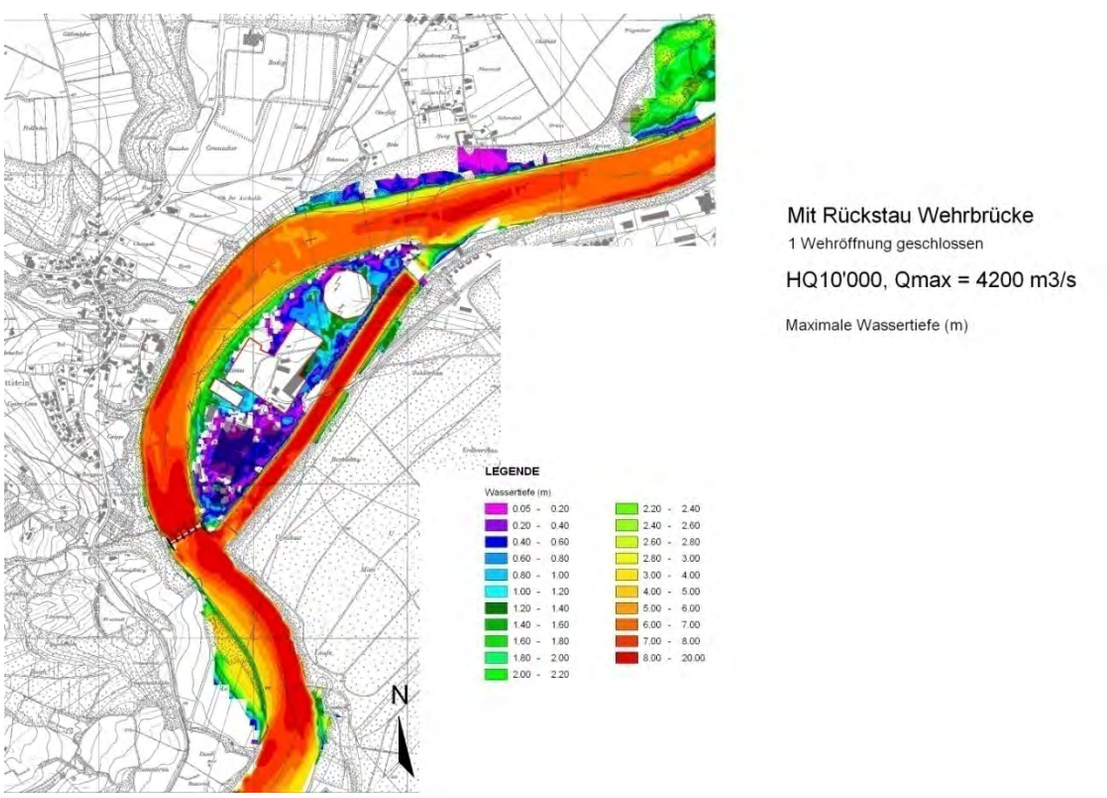
Der Gesuchsteller wird die notwendigen Schritte unternehmen, um sicher zu stellen, dass diese Bedingung (n-1) auch unter wahren Hochwasserzuständen eingehalten werden kann. Das heisst, dass die Wehröffnungen unter diesen Bedingungen offen bleiben.

Der Abfluss muss aufgrund der oben genannten (n-1)-Bedingung durch die vier verbleibenden Wehröffnungen stattfinden. Bei einem Abfluss von etwa 3'000 m^3/s schlägt zudem die niedrige Wehrbrücke zu.

Die maximal auftretende Wassertiefe im Bereich der Insel Beznau ist in Abbildung 3.5-16 dargestellt. Die Wassertiefen unter 3 m sind in einem Abstand von 20 cm dargestellt, um eine genauere Darstellung der Wassertiefe zu erhalten. Nachher sind die Abstände 1 m.

Da eine Wehröffnung geschlossen ist, ergibt sich im Stauraum ein Höherstau, wegen des Einstaus durch die Wehrbrücke. Im Oberwasserkanal liegt der Wasserspiegel auf der Höhe des geplanten Kühlturms bei 327.21 m ü.M., was zu einer Überflutung führt. Das Wasser fliesst vom Oberwasserkanal über die Insel ins Unterwasser. Ein Abfluss durch fünf Wehröffnungen hätte offensichtlich weniger gravierende Auswirkungen. Die maximale Wassertiefe beim Kühlturm beträgt ca. 1.59 m. Dies ist jedoch nur ein lokaler maximal Wert, wie aus Abbildung 3.5-16 ersichtlich ist. Die Wassertiefen im Bereich der nuklearen Bauten und im südwestlichen Teil der Insel liegen deutlich unter diesem Wert. Durch geeignete Massnahmen, zum Beispiel durch eine mögliche Erhöhung des Terrains, was das Ablaufen des Wasser vom Oberwasserkanal über die Insel ins Unterwasser verhindert, oder einen Entlastungskanal, welcher die über die Insel ablaufende Wassermenge verringert, könnten die resultierenden Wassertiefen im Bereich der Insel verringert werden. Die Realisierbarkeit und die genaue Definition der erforderlichen Gegenmassnahmen werden im Rahmen des Baubewilligungsgesuchs untersucht bzw. erarbeitet (vgl. Kapitel 3.5.12).

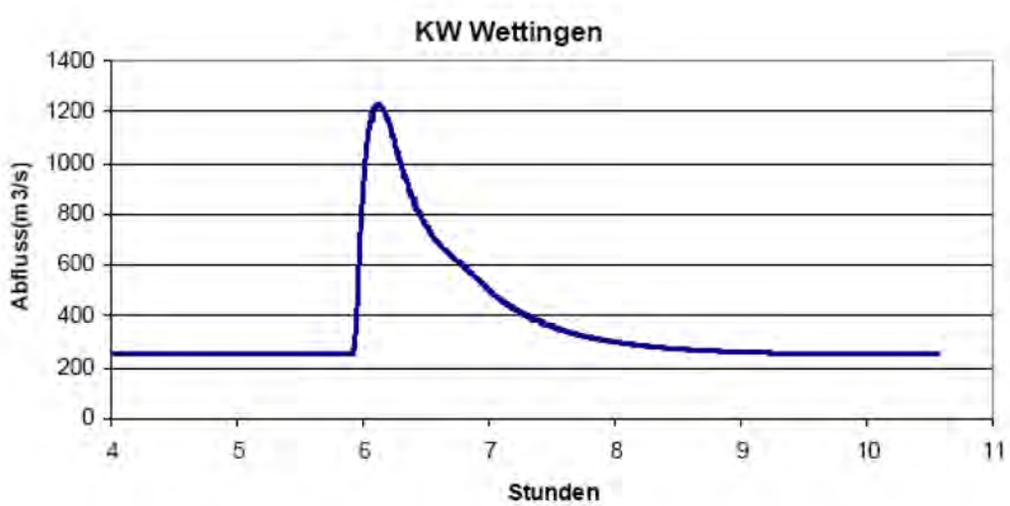
Abbildung 3.5-16: Maximal auftretende Wassertiefe im Bereich der Insel Beznau



3.5.7.2.3 Bruch KW Wettingen

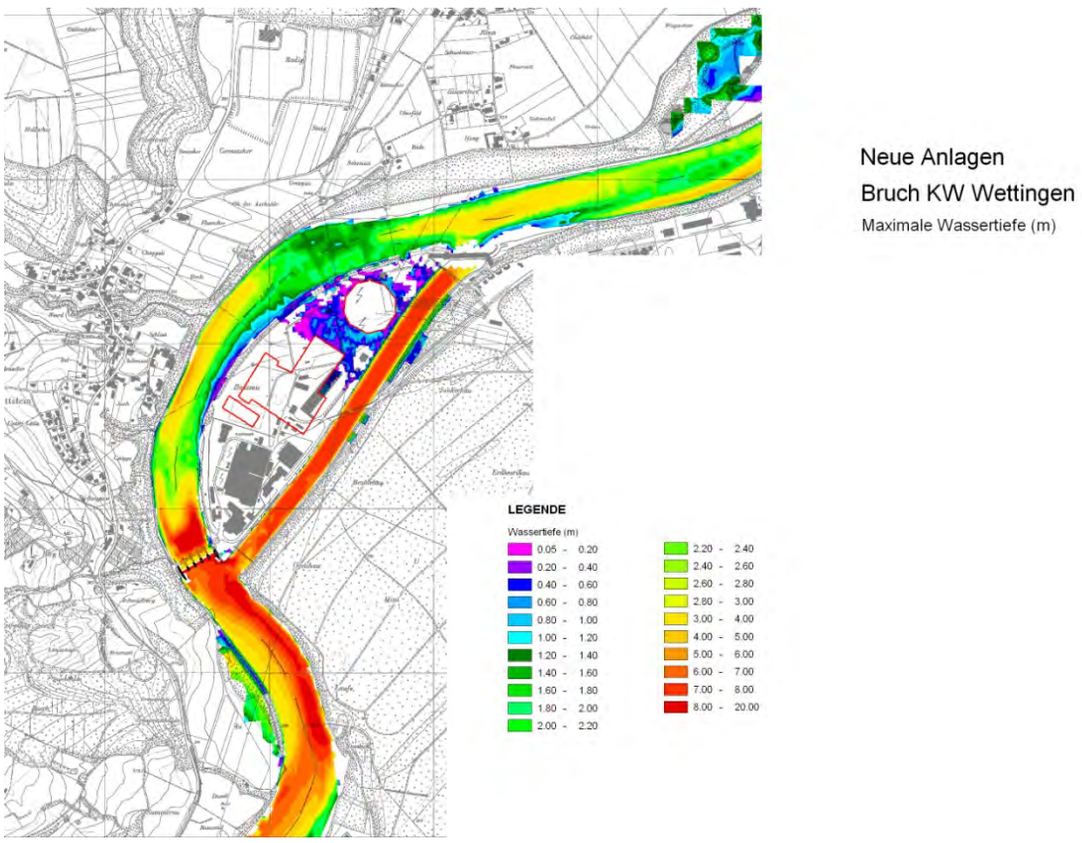
Das KW Wettingen besitzt eine hohe Staumauer und die Wassermassen sind mit 6 Mio. m^3 recht gross. Das unterhalb liegende Limmattal ist eng, ohne grosse Ausuferungsmöglichkeiten. Daher kann die Flutwelle mit einem eindimensionalen Modell berechnet werden. Verwendet wird das Programm Flux / Floris 2000. Die verwendeten Querprofile sind vom BAFU zur Verfügung gestellt worden. Sie wurden im Jahre 2003 vermessen. Das Maximum der Welle von Wettingen erreicht das Wasserschloss nach 35 min mit einer steilen Front, innerhalb von nur 13 min steigt der Abfluss auf 1228 m^3/s an. Der Rückgang der Wassermenge verläuft über längere Zeit und damit flacher. Bis wieder Normalabfluss erreicht ist, dauert es ca. zwei Stunden. Der Abfluss ist in Abbildung 3.5-17 dargestellt, ausgehend von einem Basisabfluss von 250 m^3/s. Die Berechnungen erfolgen mit der Randbedingung eines Niederwassers beim Kraftwerk Beznau. Das Stauwehr Beznau kann nicht mehr reguliert werden und die Turbinen des Wasserkraftwerks (HKB) sind nicht mehr in Betrieb.

Abbildung 3.5-17: Abfluss der Limmat vor Wasserschloss nach einem Bruch des KW Wettingen



Diese Hochwasserwelle wird als Zuflussganglinie des zweidimensionalen Modells vom Wasserschloss bis zum Kraftwerk Klingnau verwendet. Zusätzlich kommen als Basisabfluss von der Reuss 50 m^3/s und von der Aare 150 m^3/s dazu, entsprechend einem niedrigen Abfluss. Dies ergibt bei Beginn der Simulation einen Aarezufluss unterhalb des Limmatzuflusses von 450 m^3/s. Die maximalen Wassertiefen im Raum Beznau sind in Abbildung 3.5-18 dargestellt. Die Insel selbst wird nicht völlig überflutet. Die maximale Kote oberhalb des Wehres beträgt 326.35 m ü.M., im Oberwasserkanal ebenfalls 326.35 m ü.M. Da die Höhen des Geländes im unteren Teil des Kanals gemäss den vorliegenden DTM-AV-Daten und auch der Kanalquerprofile teilweise darunter liegen, ergibt sich eine Überflutung von maximal 0.9 m.

Abbildung 3.5-18: Maximale Wassertiefe Bruch KW Wettingen



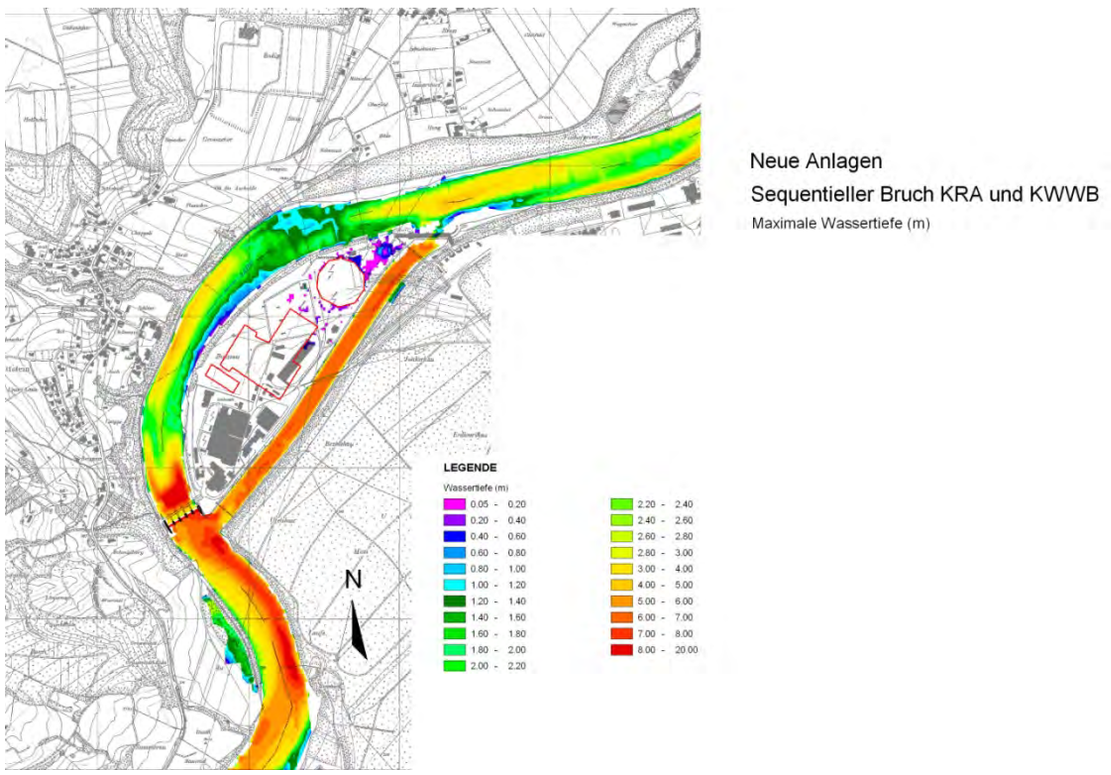
3.5.7.2.4 Sequentieller Bruch KRA und KWWB

Die Randbedingungen in diesem Fall gehen davon aus, dass der Bruch bei Niedrigwasser eintritt und das Stauwehr Beznau nicht mehr reguliert werden kann. Die Turbinen des Wasserkraftwerks sind ebenfalls nicht mehr in Betrieb.

Wenn das Maximum der Flutwelle des Bruches des Wehrs KRA beim Wehr des KWWB eintrifft, bricht auch dieses Wehr. Die Welle verstärkt sich daher. Die Kraftwerke turbinieren nicht mehr, der gesamte Abfluss erfolgt daher über den Aarealtlauf.

Bei höheren Abflüssen wird die prozentuale Zunahme durch den Wehrbruch immer geringer, da bei vollständiger Öffnung der Schleusen die vollständige Entfernung des Wehres keinen grossen Unterschied mehr bewirkt. Die maximale Wassertiefe ist in Abbildung 3.5-19 dargestellt, die Insel wird nicht überflutet.

Abbildung 3.5-19: Maximale Wassertiefe sequentieller Bruch KRA und KWWB



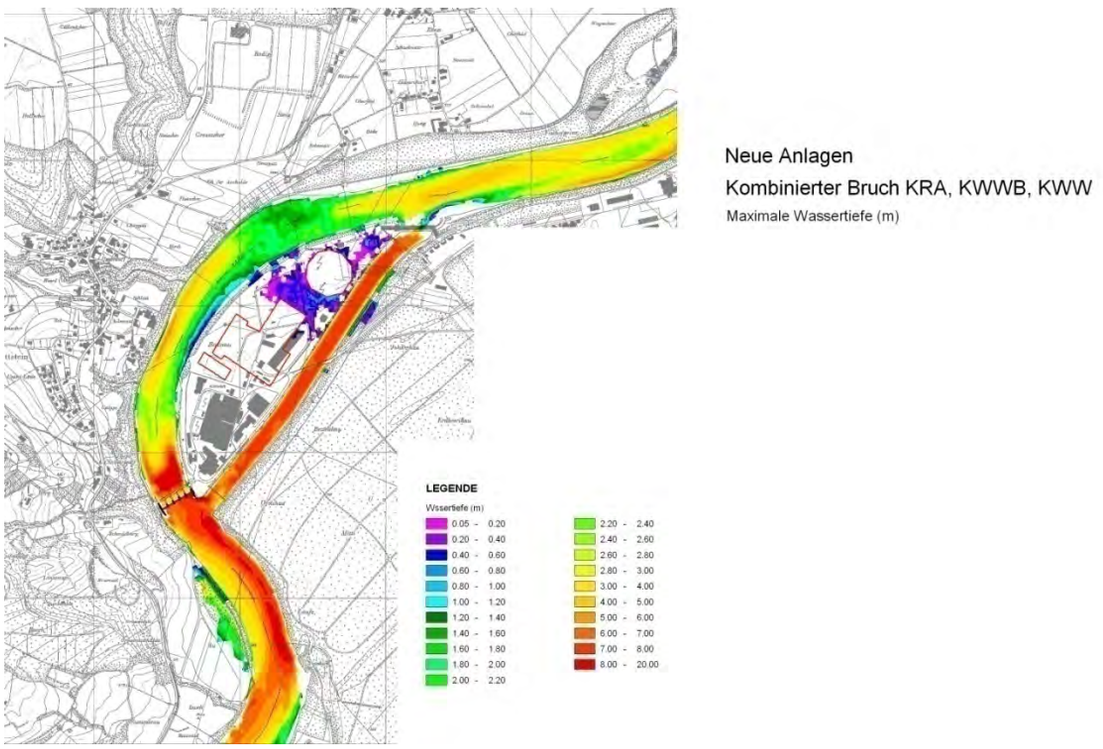
3.5.7.2.5 Gleichzeitiger Bruch KRA, KWWB und KW Wettingen

In diesem Falle gelten die gleichen Randbedingungen wie beim sequentiellen Bruch, das Wehr Beznau bei Niederwasser kann nicht mehr gesteuert werden und das HKB ist ausser Betrieb.

Wegen der unterschiedlichen Laufzeiten der jeweiligen Wellen ist keine maximale Superposition beim Wasserschloss zu erwarten.

Die maximale Wassertiefe ist in Abbildung 3.5-20 dargestellt. Die Insel wird wie im Falle des Einzelbruchs des Kraftwerks Wettingen geringfügig überflutet. Die maximale Wasserkote vor dem Wehr beträgt 326.24, im Kanal 326.17. Die Wassertiefe auf der Insel beträgt im Maximum etwa 0.80 m, wobei der untere Teil der Insel überschwemmt wird; der Bereich des bestehenden KKW bleibt trocken.

Abbildung 3.5-20: Maximale Wassertiefe kombinierter Bruch KRA, KWWB, KWW



3.5.7.3 Sensitivität

Um den Einfluss der Rauhigkeit zu untersuchen und eine Aussage über die Sensitivität zu erhalten, wurde ein weiterer Fall mit einer geringeren Rauhigkeit simuliert. Anstelle der Rauhigkeit nach Strickler k_{st} von 42 $m^{1/3}/s$ wurde mit einem Wert von 37.8 $m^{1/3}/s$ gerechnet. Dies entspricht einer gröberen Sohle, wie sie unter Umständen während eines Hochwassers mit starkem Sedimenttransport auftreten könnte. Für die Zuflussganglinie wurde das unter Kapitel 3.5.7.6 (Überlastfall) beschriebene Hochwasser mit einem maximalen Wert von 5040 m^3/s verwendet. Der Wasserspiegel im Oberwasserkanal ist 327.47 m ü.M., die maximale Wassertiefe beim Kühlturm noch 2.09 m und der Wasserspiegel 327.15 m ü.M.

Damit liegt der Wasserspiegel bei einem um 10% verringerten Rauhigkeitsbeiwert nach Strickler 0.01 m tiefer. Der Wasserspiegel reagiert somit praktisch nicht auf veränderte Rauhigkeit. Dies ist bei zweidimensionalen Modellen ein bekanntes Phänomen.

3.5.7.4 Schlussfolgerungen

Für den Standort Beznau ist das 10'000-jährliche Hochwasser massgebend, der Bruch von oberliegenden Wehren ergibt nicht so grosse Spitzenabflüsse. Das $HQ_{10'000}$ führt mit dem verwendeten Höhenmodell zu einer Überflutung vor allem in der unteren Hälfte der Insel. Im Fall des $HQ_{10'000}$ ist der Rückstau verursacht durch die niedrige Wehrbrücke wesentlich, welcher aufgrund der Resultate der 1D-Modellierung bei etwa 3000 m^3/s zuschlägt. Zusätzlich wirkt sich die Annahme, dass nur vier Wehröffnungen geöffnet werden können, wie erwartet ungünstig aus, mit einer wesentlich höheren Staukote im Oberwasserkanal. Die gesamte Insel wird in diesen Fällen überflutet.

Die Sensitivität auf die Rauhigkeitsbeiwerte nach Strickler ist äusserst gering. Eine um 10% verringerte Rauhigkeit ergibt maximal eine Abweichung von 1 cm.

Im Falle der Wehrbrüche KRA, KWWB und KW Wettingen sind die Durchflüsse der entstehenden Flutwellen wesentlich geringer. Die Flutwelle des Bruchs der Mauer Wettingen erreicht jedoch beim Wasserschloss einen maximalen Abfluss von über 1200 m^3/s und wegen der konservativen Annahme, dass sich die Brüche bei Niederwasser ereignen und die Wehrsteuerung ausfällt, entsteht trotzdem ein Höherstau, der zu einer Überflutung im unteren Teil der Insel führt.

3.5.7.5 Hochwasser und Feststofftransport

Bei hohen Abflüssen in der Aare muss nicht nur mit grossen Wassermengen, sondern auch mit Sediment- und Geschwemmseltransport gerechnet werden. Aus den Berechnungen zum $HQ_{10'000}$ sind Schubspannungswerte des zweidimensionalen Modells bekannt, mit denen kritische Stellen identifiziert werden können.

Bei einem Abfluss von rund 4000 m^3/s in der Aare unterhalb des Wasserschlosses erreicht die Schubspannung an der Flusssohle im Mittel 40 N/m^2, stellenweise bis 70 N/m^2. Es kann daher Geschiebe bis ca. 6 cm bzw. 10 cm Durchmesser transportiert werden. Damit wird ein Geschiebetrieb im Flussschlauch ausgelöst. Der Stromstrich ist auch am Wehr durchgehend, die Schubspannungen nehmen erst im unterhalb liegenden Stauraum Klingnau ab, wo daher Sedimentation stattfinden kann. Die Ergebnisse der Rechnung werden daher im Oberwasserkanal von Beznau nicht wesentlich durch Sedimenttransportprozesse beeinflusst.

Da am Rand des Flusschlauchs die Schubspannungen wesentlich geringer sind und die Seitenböschungen stabil mit Vegetation bewachsen sind, wird es wenig Erosion geben. Ebenso sind an der Flusssohle keine grösseren Kolke zu erwarten.

Im Einzugsgebiet oberhalb des EKKB kann bei einem grossen Hochwasserereignis viel Schwemmholz anfallen. Dieses wird grossteils von oberhalb liegenden Kraftwerken oder Seen zurückgehalten. Die Oberlieger an Aare, Reuss und Limmat haben die folgenden Wehrbreiten: KWWB 15 m, KWBZ 8.8 m, KWW 11 m, wobei sich noch weitere Kraftwerksanlagen oberhalb Beznau befinden. Bei einem Extremhochwasser mit grossem Geschwemmselanfall bleiben somit grössere Bäume bereits bei den Oberliegern hängen und nur sehr grosse Bäume aus dem Zwischeneinzugsgebiet könnten beim Stauwehr Beznau verklausen. Die Verklausung einer Wehröffnung durch Schwemmholz beim Stauwehr in Beznau kann infolge dieses geringen Einzugsgebiets und der grossen lichten Öffnung von 20.5 m eines Wehrfeldes ausgeschlossen werden. Das Schwemmholz, das bei einem Abfluss von 4'000 m^3/s anfällt, wird evtl. teilweise – wie das Wasser – an der Wehrbrücke anstehen. Da es aber nur an der Oberfläche schwimmt, ist der Durchfluss unter der Segmentschütze weiterhin gewährleistet.

Gemäss VAW-Geschiebestudie von 1990 [92] wird die Deckschicht im Kanal bei einer Schleppspannung von 20-42 N/m2 abgetragen, ist somit das dort vorhandene Geschiebe in Bewegung. Gemäss Literatur beträgt die kritische Schubspannung von Grobkies (20-63 mm, ca. 70% des vorhandenen Materials, Rest kleiner) 45 N/m^2. Somit dürfte ab einer Schubspannung > 45 N/m^2 bei geöffnetem Wehr vollständiger Geschiebetrieb herrschen, ohne Gefahr einer Ablagerung. Bei Extremhochwasser sind die vorhandenen Schubspannungen unmittelbar vor dem Wehr etwa doppelt so hoch, im massgebenden Fliessbereich bis etwa 300 m vor dem Wehr mindestens über 45 N/m^2. Allenfalls könnte Geschiebe in den Randzonen und beim abklingenden

Hochwasser abgelagert werden. Somit kann eine Verklausung infolge Geschiebetriebs ausgeschlossen werden.

Eine Geschiebemodellierung bringt infolge der unbekannten Randbedingungen (effektiv vorhandenes Geschiebematerial, Eintragsmenge bei Extremhochwasser) keine weiteren Erkenntnisse.

Feststofftransport wurde bei den Wehrbruchszenarien nicht beurteilt, weil die hohen Abflüsse nur von kurzer Dauer sind.

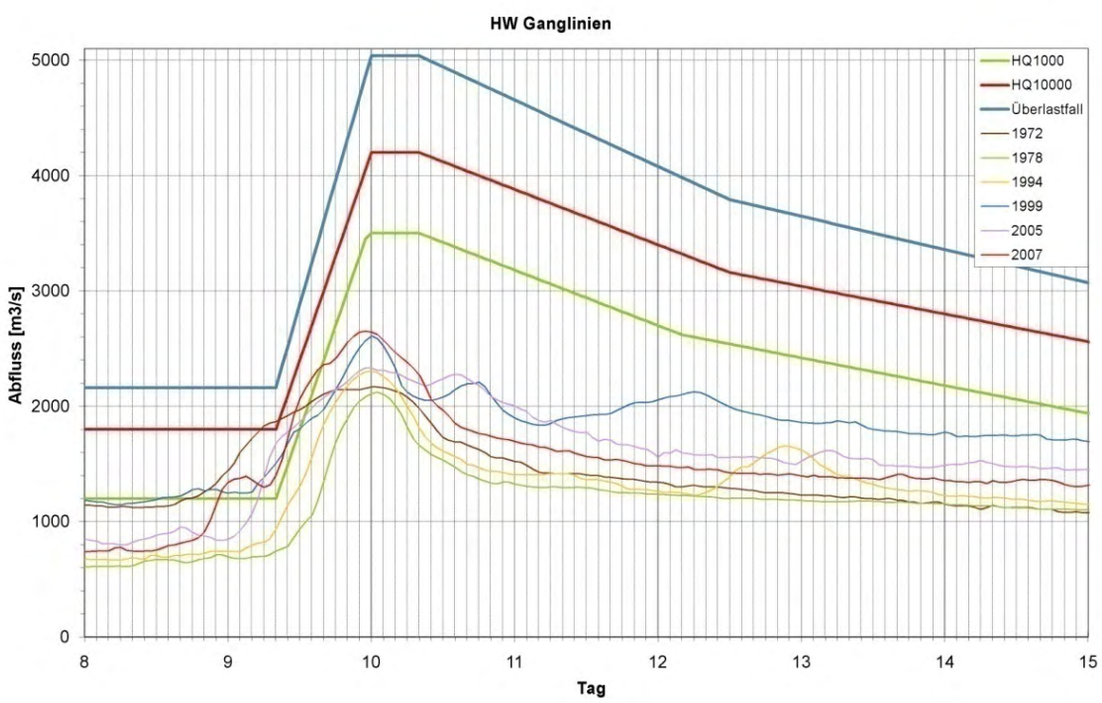
3.5.7.6 Überlastfall

Grundsätzlich muss bei einem Überlastfall mit extremeren Umständen gerechnet werden als bei einem $HQ_{10'000}$.

Der Abfluss könnte in einem Fall mit sehr geringer Eintretenswahrscheinlichkeit (< 10E-4) grösser sein als derjenige, welcher für das $HQ_{10'000}$ angenommen wurde. Durch dieses Ereignis könnte sich die Überflutungssituation der Insel gegenüber dem $HQ_{10'000}$ (vgl. Abbildung 3.5-16) verschärfen.

Der Wert eines solchen sehr unwahrscheinlichen Ereignisses ist nicht bekannt. Daher wird im Sinne eines Beispiels die bisher verwendete Kurve für ein $HQ_{10'000}$ mit einem maximalen Abfluss von 4'200 m^3/s mit einem Faktor von 1.2 skaliert, was eine Spitzenwassermenge von 5'040 m^3/s ergibt (vgl. Abbildung 3.5-21).

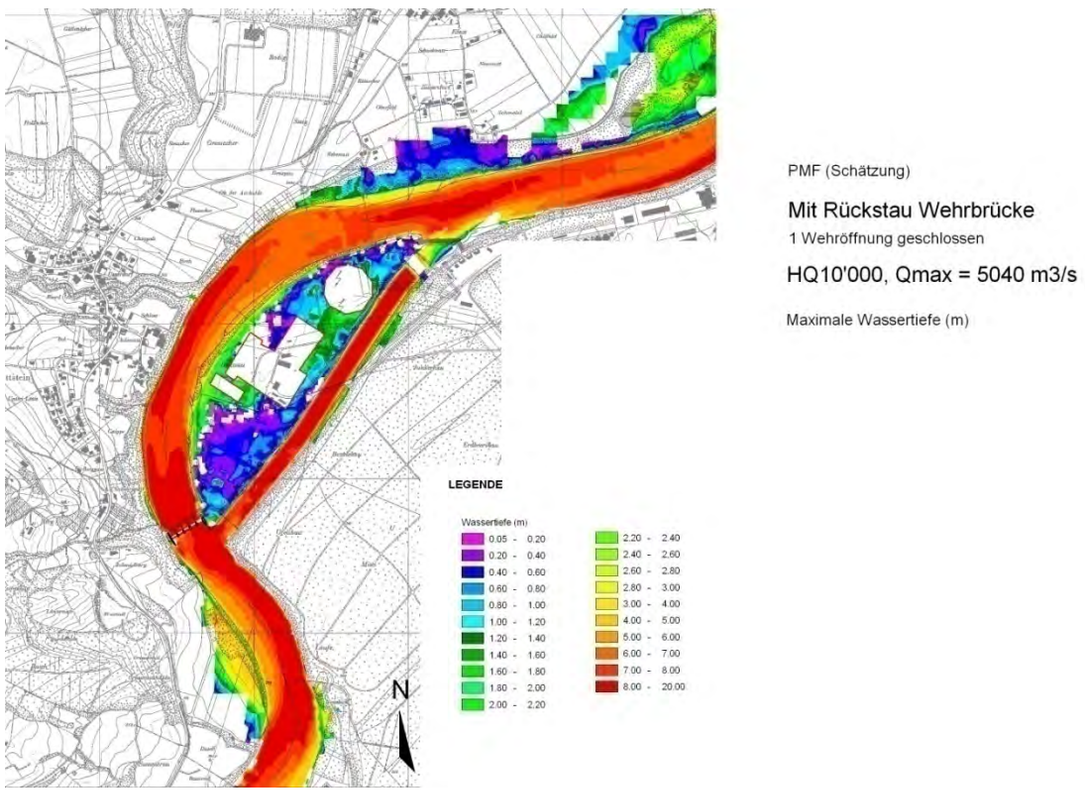
Abbildung 3.5-21: Verlauf der Hochwasserwelle des Überlastfall-Beispiels ($HQ_{10'000}$ × 1.2)



Damit erhalten wir einen Eindruck eines solchen sehr unwahrscheinlichen Ereignisses und den dadurch zu erwartenden Überflutungshöhen.

Analog der vorherigen Berechnungen wird angenommen, dass die Wehrbrücke von Beznau eingestaut wird und sich kein freier Abfluss mehr einstellen kann. Das Wasserkraftwerk (HKB) ist nicht mehr in Betrieb. Dies führt im Oberwasser zu einem massiven Rückstau mit einer Kote von 327.6 m ü.M. vor dem Wehr. Im Oberwasserkanal auf der Höhe des geplanten Kühlturmes liegt der Wasserspiegel bei 327.48 m ü.M. Das Wasser wird vom Oberwasserkanal über die Insel abgeführt. Die maximale Wassertiefe erreicht vor dem neuen Kühlturm maximal 2.1 m und der Wasserspiegel 327.16 m ü.M. Die Wassertiefe ist aus Abbildung 3.5-22 ersichtlich. Das Wasser fliesst dabei wie in den anderen Fällen ausgehend vom Kanal über die Insel ins Unterwasser des Kraftwerks. Trotz der signifikant höheren Wassermenge ist bei der Berechnung der Wasserspiegel nur geringfügig höher als beim $HQ_{10'000}$. Die Überflutungstiefen steigen durch die um 20% erhöhte Wassermenge im Oberwasserkanal um 0.27 m an, vor dem Kühlturm beträgt die Differenz 0.51 m. Ein um 10% verringerter Rauhigkeitsbeiwert nach Strickler hat auf die resultierenden Wasserspiegel im vorliegenden Fall praktisch keine Auswirkungen (vgl. auch Kapitel 3.5.7.3).

Abbildung 3.5-22: maximale Wassertiefe bei einem Abfluss von 5040m³/s



Für einen solchen Fall, welcher hier beispielhaft angegeben ist, muss die Anlage mit geeigneten Notfallmassnahmen und genügenden Auslegungssicherheitsmargen vorbereitet sein. Solche Notfallmassnahmen oder andere Gegenmassnahmen als Vorbereitung auf einen möglichen Überlastfall, sowie die Definition der Sicherheitsmargen, sind Teil der Bau- bzw. Betriebsbewilligung.

3.5.8 Beschaffenheit des Aarewassers

Die Temperatur des Aarewassers wird an verschiedenen Orten gemessen. Aussagekräftig für die Verhältnisse im Bereich der Kühlwasserentnahme ist die Messung an der Messstelle T22 im Oberwasserkanal beim Hydraulischen Kraftwerk (Abbildung 3.6-13). Die Temperaturen liegen hier in der Periode 1968-2007 zwischen ca. +1 °C und +25 °C (vgl. Abbildung 3.6-38). Das Jahresmittel seit 1984 beträgt 11.6 °C. Die Dauerkurve der Wassertemperaturen der Aare in Untersiggenthal für kühle und warme Jahre sowie die mittlere Dauerkurve der Auswertungsperiode 1963-2007 kann der Abbildung 3.5-23 entnommen werden. Die Entwicklung der Wassertemperatur der Aare in Untersiggenthal ist in Abbildung 3.5-24 dargestellt.

Die chemischen Eigenschaften des Aarewassers sind unter Kapitel 3.6.5.1.2 beschrieben, da diese einen Einfluss auf die Grundwasserverhältnisse in der Umgebung des Standortes haben.

Abbildung 3.5-23: Dauerkurve der Wassertemperaturen der Aare in Untersiggenthal für kühle Jahre (1970, 1987) und warme Jahre (1976, 2000 und 2003) mit der mittleren Dauerkurve (Auswertungsperiode: 1963-2007)

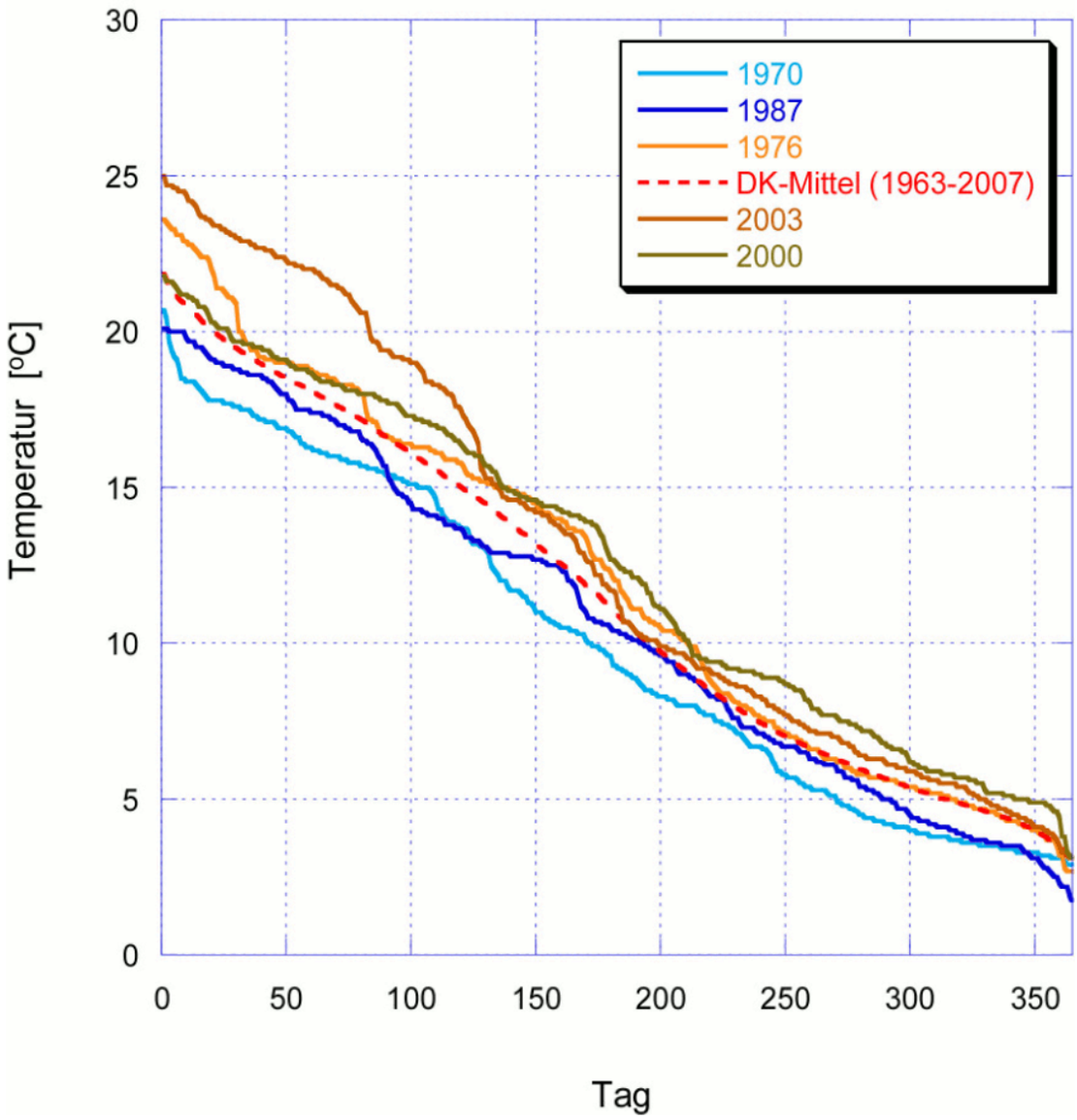
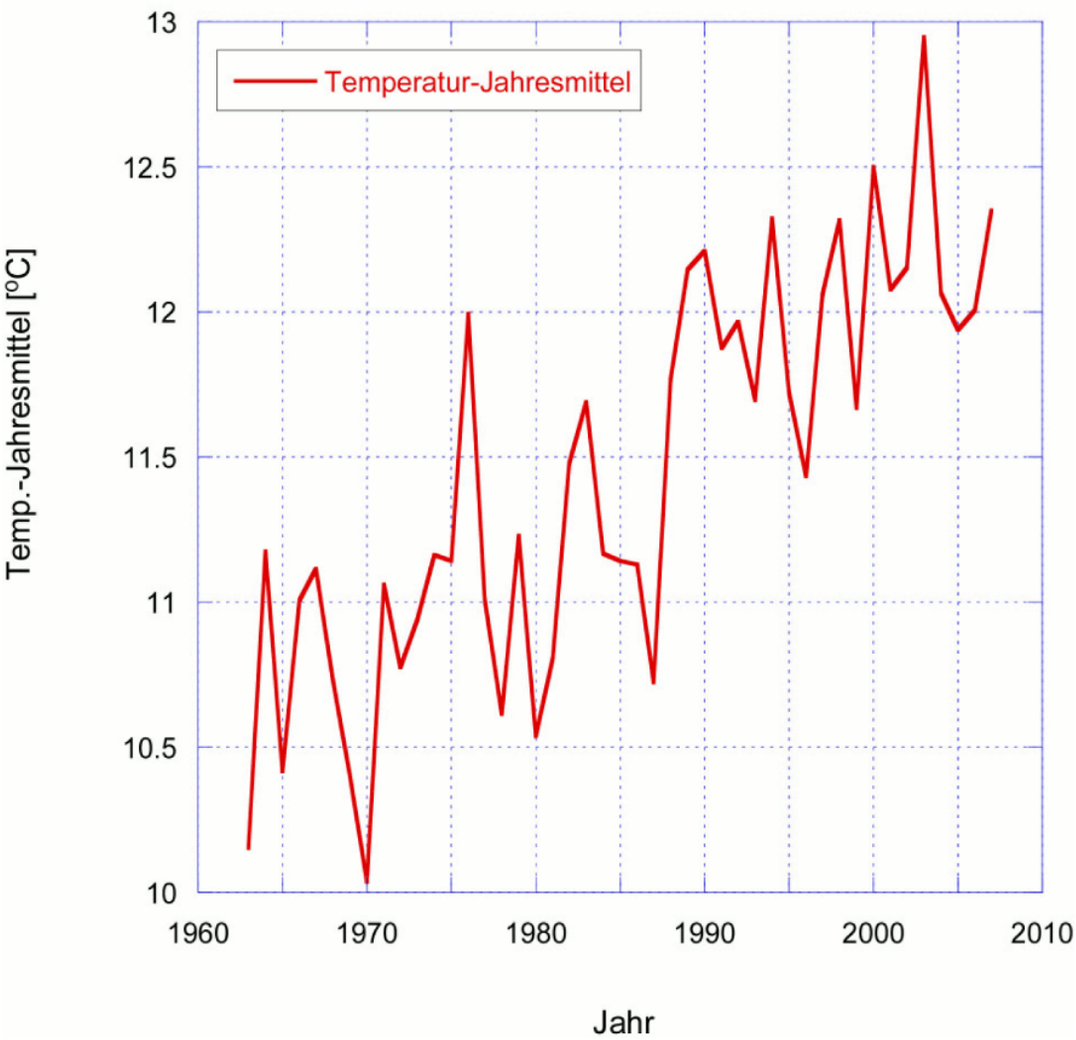


Abbildung 3.5-24: Entwicklung der Jahresmittel-Temperatur der Aare in Untersiggenthal (Periode: 1963–2007)



3.5.9 Vereisung

3.5.9.1 Einleitung und Vorgehen

Systematische Aufzeichnungen über Eisbildung und Eistrieb auf der Aare im Raum Beznau existieren nicht.

Einzig zwei Quellen beziehen sich auf die Eistriebereignisse von 1929 und 1956 bei den Wasserkraftwerken entlang der Aare und dem Rhein ([23] und [32]). Sie beschreiben auch die Situation beim KW Beznau.

Die Untersuchungen wurden auf die Einzugsgebiete des Rheins, der Aare, der Limmat und der Reuss ausgeweitet, um Hinweise auf gefrierende Seen oder Flüsse zu finden. Für die Eistriebereignisse der neueren Zeit an der Aare lieferte das Stadtarchiv von Brugg verschiedene Hinweise. Meist handelt es sich um Fotografien (Abbildung 3.5-25), Zeitungsartikel oder Informationen aus den Neujahrsblättern von Brugg.

Abbildung 3.5-25: Fotografien aus dem Stadtarchiv Brugg, Januar 1905: Die Aare bei Brugg ist überfroren [30]



Unter Kapitel 3.5.14 wird auf die Häufigkeit von Eisbildung und -trieb eingegangen. Kapitel 3.5.15 beschränkt die Entstehungsbedingungen hinsichtlich Luft-, Wassertemperatur und Abfluss, daraus werden in Kapitel 3.5.9.2 Schlussfolgerungen gezogen. Für die Untersuchungen zu Eisbildung und Eistrieb wurden die Referenzen [23] bis [39] verwendet.

Für eine Abschätzung der Gefahr von Vereisung von luftbeaufschlagten Anlagen (Komponenten oder Bauten) wurden zwei Bedingungen berücksichtigt:

- Temperatur zwischen -5 °C und 0 °C
- Relative Feuchte > 90%

Diese Gefahr wird unter Kapitel 3.4.5.2 genauer behandelt.

3.5.9.2 Schlussfolgerungen

Aus den vorliegenden Untersuchungen können folgende Schlüsse gezogen werden:

- Die Informationen über den Eistrieb auf der Aare mussten aus Quellen zusammengetragen werden. Man muss daher davon ausgehen, dass nicht alle Ereignisse erfasst wurden.
- Gefrierende Seen und Flüsse wurden in früheren Jahrhunderten regelmässig beobachtet, seit dem 18. Jahrhundert ist dieses Phänomen jedoch rückläufig. Dies gilt besonders für die Zeit seit den 60er Jahren des 20. Jahrhundert, denn seit 45 Jahren ist an der Aare im Bereich des Wasserschlosses kein Eistrieb mehr aufgetreten.
- Die Anzahl von Frosttagen ist kein Indiz für das Auftreten von Eistrieb. Dies gilt auch für die Anzahl der Tage mit Mitteltemperaturen unter -10 °C. Hingegen trat Eistrieb nur in Wintern mit einem Abflussmittel unterhalb des langjährigen Mittelwertes der Periode 1905-2007 auf.
- Immer wenn die Summe der negativen Tagesmittelwerte (NDD) kleiner als -400 Gradtage für Bern resp. -350 Gradtage (Basel) lag, erfolgte Eisbildung auf der Aare. Die Bedingung ist aber kein hinreichendes Kriterium für Eisbildung, denn auch in den deutlich wärmeren Jahren zwischen 1900 und 1910 wurde dreimal Eis beobachtet.
- Alle Indikatoren (Anzahl Frosttage, Anzahl Tage mit Mitteltemperatur unter -10 °C, der negativen Tagesmittelwerte, Dauer minimale Frostgradtage) deuten auf stark abnehmende Wahrscheinlichkeit für Eistrieb und Eisbildung hin.
- Prognosen für die Temperaturentwicklung sind in diesen Resultaten nicht enthalten. Auch nicht vorhersehbare Ereignisse wie beispielsweise Vulkanausbrüche, welche Einfluss auf die künftige Klimaentwicklung nehmen können, bleiben ausser Betracht.

3.5.10 Externe Ereignisse

Entsprechend den Anforderungen der Kernenergieverordnung Artikel 8 wird die Anlage gegen Auslegungsstörfälle mit Ursprung ausserhalb der Anlage geschützt. Dies schliesst jene Störfälle mit ein, welche durch Ereignisse im Zusammenhang mit den hydrologischen Bedingungen am Standort verursacht werden könnten. Dabei werden folgende Ereignisse berücksichtigt:

- Überflutung
- Niedrigwasser
- Vereisung
- Ausfall oder Beeinträchtigung der externen Kühlwasserzufuhr
- Biologische Ereignisse

Bedingt durch die Höhenlage der Insel Beznau gegenüber dem Flusswasserspiegel ist eine Überflutung der Insel bei einem seltenen Hochwasser ($HQ_{10'000}$) möglich. Bei der Auslegung von Bauten, Systemen, elektrischen Einrichtungen und Wasserentnahmestellen wird dies berücksichtigt (vgl. auch Kapitel 3.5.12).

Niedrigwasser ist nicht per se ein Ereignis, welches einen Störfall mit Ursprung ausserhalb der Anlage verursachen kann. Niedrigwasserzustände werden in der Regel durch lang dauernde Trockenperioden im Sommer bzw. lang anhaltende Kälteperioden im Winter verursacht und treten langsam auf. Lokale Niedrigwasserzustände im Bereich des Oberwasserkanals könnten aber

auch durch Versagen des Wasserkraftwerks oder des Stauwehrs, zum Beispiel bei einem starken Erdbeben, verursacht werden.

Alle diese Zustände könnten je nach Anlageauslegung zur Beeinträchtigung oder zum Ausfall der externen Kühlwasserzufuhr führen. Die Anlage wird gegen solche Ereignisse ausgelegt.

Eine Vereisung der Aare im Bereich der Kühlwassereinläufe führt zum Ausfall oder zur Beeinträchtigung der externen Kühlwasserzufuhr und ist damit durch die Auslegung gegen den Ausfall der externen Kühlwasserzufuhr abgedeckt. Eine Vereisung der Wasserabläufe auf dem Anlagengelände könnte zu einer Überflutung von Teilen der Insel führen. Dieses Ereignis wird durch das externe Ereignis Überflutung abgedeckt.

Bei biologischen Ereignissen geht es beispielsweise um einen Bewuchs durch Muscheln in Rohrleitungen und Kanälen oder die Verstopfung von Wasserfassungen durch grosse Mengen von Wasserpflanzen oder Schwemmholz nach einem starken Sturm. Für den Standort sind zwei dieser Situationen denkbar:

1. Verstopfung einer Wasserfassung durch Muscheln
2. Verstopfung einer Wasserfassung durch Schwemmholz

Beide Ereignisse führen zum Ausfall oder zur Beeinträchtigung der externen Kühlwasserzufuhr und sind daher durch die Auslegung abgedeckt.

Durch die oben genannten Ereignisse könnten auch die folgenden Ereignisse ausgelöst werden:

- Ausfall oder Beeinträchtigung der externen Kühlwasserzufuhr
- Überflutung von Anlagenräumen
- Verlust der externen Stromversorgung; bei Szenarien, welche zu einem Wasserstand oberhalb des Arealniveaus oder des Niveaus der Blocktransformatoren führen, ist der Verlust der externen Stromversorgung zu unterstellen. Dieses Ereignis wird in Kapitel 3.8 beschrieben.

Als Folge der oben erwähnten Gefährdungen werden die sicherheitstechnisch relevanten Bauten und Ausrüstungen der Anlage so ausgelegt, dass beim postulierten Eintreten dieser Ereignisse und deren Folgeereignissen (vgl. Tabelle 2.4-2) die Anlage unter Einhaltung aller Schutzziele und Limiten in einen sicheren Zustand gebracht wird. Die entsprechenden Nachweise sowie detaillierte Angaben zur Auslegung werden beim Gesuch zur Baubewilligung erbracht, wie in Anhang 4 der Kernenergieverordnung gefordert.

3.5.11 Beurteilung des Standortes im Hinblick auf Oberflächenwasser

Am Standort sind ausreichende Mengen Flusswasser für nicht-sicherheitsrelevante sowie für sicherheitsrelevante Kühlfunktionen vorhanden (vgl. Kapitel 2.3.3 für Hauptkühlsystem und Kapitel 2.3.7 für Kühlwassersysteme und Wärmesenke). Die chemische Beschaffenheit des Aarewassers im Bereich der Insel Beznau zeigt für die Nutzung des Wassers zur Kühlung von EKKB günstige Eigenschaften. Dies zeigt auch die langjährige Erfahrung der beiden Blöcke KKB 1 und KKB 2.

Das Wasser der Aare kann, falls nötig, auch als Feuerlöschwasser eingesetzt werden.

Die Verfügbarkeit von Grundwasser als Notkühlwasserquelle unter Störfallbedingungen wird in Kapitel 3.6.7 dargelegt.

Die Schwankungsbreiten der Flusswassertemperaturen liegen im üblichen Rahmen für mitteleuropäische Bedingungen und werden bei der Auslegung von Kühlsystemen berücksichtigt.

Im Winter und im Sommer kann Niedrigwasser auftreten. Dies wird bei der Auswahl und Auslegung des Hauptkühlwassersystems für die Turbinenkondensatoren berücksichtigt und stellt die Eignung des Standorts nicht in Frage.

Eine Überflutung der Insel ist bei seltenen Hochwassern ($HQ_{10'000}$) möglich (vgl. Kapitel 3.5.7). Mit einer geeigneten Auslegung (vgl. Kapitel 3.5.12) gegen eine Überflutung der Insel können die gesetzlichen Anforderungen zum Schutz gegen Störfälle mit Ursprung ausserhalb der Anlage eingehalten werden. Eine mögliche Überflutung bei einem 10'000-jährlichen Hochwasser ($HQ_{10'000}$) stellt die Standorteignung nicht in Frage.

3.5.12 Umsetzung bei der Auslegung

Im Rahmen der Vorbereitung zum Baubewilligungsgesuch werden die Angaben zur Hydrologie aktualisiert und im Sicherheitsbericht dokumentiert und bewertet.

Die definitiven Bewertungen der hydrologischen Standorteigenschaften im Rahmen der Baubewilligung bestimmen die notwendige Auslegung gegen Überflutung und andere durch die hydrologischen Standorteigenschaften hervorgerufene Ereignisse.

Gegen eine mögliche Überflutung der Insel bei einem seltenen Hochwasser sind grundsätzlich drei Arten von Massnahmen möglich:

- Auslegung der Bauten zum Schutz gegen eine Überflutung des Anlagengeländes. Zum Beispiel könnte die Anlage mit geeigneten Massnahmen davor geschützt werden, dass Wasser ins Innere der Anlage eindringt (abdichten), damit die Funktionalität der sicherheitsrelevanten Systeme gewährleistet bleibt.
- Hochwasserschutzmassnahmen: Mit einem Seitendamm beim Oberwasserkanal oder anderen Hochwasserschutzmassnahmen im Bereich der Insel (z.B. einem Entlastungskanal), könnte verhindert werden, dass Wasser aufgrund des Höherstaus (vgl. Kapitel 3.5.7.2.2) vom Oberwasserkanal über die Insel ins Unterwasser fliesst. Dadurch würden die resultierenden Wassertiefen im Bereich der Insel reduziert.
- Erhöhung des Terrains: Dadurch wird die resultierende Wassertiefe bei einer Überflutung verringert.

Die hier erwähnten Gegenmassnahmen hätten gewisse Änderungen in den Modellrechnungen zur Folge, da sie sich, mit Ausnahme der Auslegung der Bauten zum Schutz vor Überflutung, alle auf die hydrologischen Bedingungen am Standort auswirken. Es ist jedoch nicht Teil des Rahmenbewilligungsgesuchs diese Einflüsse genauer zu beschreiben. Die möglichen Gegenmassnahmen sind hier nur beispielhaft angegeben.

Die Definition von detaillierten Gegenmassnahmen, deren Auswirkungen auf die Modellrechnungen und die nötigen Nachweise derer Effektivität sind Teil der Bau- bzw. Betriebsbewilligung.

Für die Auslegung der Anlage im Rahmen des Baubewilligungsgesuchs werden die Gefährdungen, ausgehend von den hydrologischen Bedingungen am Standort, beschrieben und kategorisiert (Reaktortechnik R1). Daraus werden die Gefährdungsspezifikationen vorbereitet

(Gesamtanlage G1) und in Ingenieurkenngrössen umgesetzt (Bautechnik B1). Die Ausrüstungen und Bauwerke werden klassiert (Systemtechnik S1; Bautechnik B1). Die vorläufigen Störfallanalysen werden durchgeführt (Reaktortechnik R2).

Die Festlegung der Nachweismethode für Bauten erfolgt im Rahmen der ersten Baufreigabe (Anhang 4 B2 KEV).

Grundsätzliche Anforderungen an sicherheitsrelevante Aspekte im Zusammenhang mit der Kühlung sind in der Kernenergieverordnung Art. 10 und in der HSK-Richtlinie HSK-R-101 (bzw. der neuen Richtlinie G02) festgelegt.

3.5.13 Anhang 14: Grosse historische Hochwasser am Rhein und der Aare bei Untersiggenthal (1200-1900)

1268:

"Der Rhein wuchs im Herbst so sehr, dass er Häuser und Brücken zerstörte. Der Rhein und alle Wasser waren dieses Jahr so gross, dass fast alle Brücken weggerissen wurden und viele Dörfer, Vieh und Leute ertranken." [24]

1275, 29. Juni:

"Überschwemmungen in ganz Helvetien. Ursache: viel Schnee im Februar (und vermutlich extreme Schneeschmelze im Frühling). Verheerende Hochwasser von Rhein, Aare, Reuss, Limmat, Emme und anderen Flüssen. Unter anderem wurde die Brücke zu Basel fortgerissen, wobei 100 Menschen zu Grunde gingen." [93]

"Am 29. Juni riss der Rhein zwei Joch der Brücke zu Basel weg, wobei etwa 100 Menschen ertranken. […] Vor und nach dem 29. Juni überliefen die Aare, Emme, Reuss, Limmat, der Rhein und andere Wasser in unerhörtem Masse und taten grossen Schaden." [24]

1342, ev. auch 1343, Sommer:

Eines der beiden grössten Hochwasser in den letzten 800 Jahren am Rhein bei Basel (mündliche Aussage C. Pfister); Brücke in Laufenburg und Säckingen wurden weggerissen [37].

"Schwere Überschwemmungen in der Schweiz und ganz Europa. […] Hochwasser der Reuss und Seeanstieg: In Luzern stieg das Wasser bis zum Altar der Kirche. […] Limmathochwasser: "In der Fraumünsterkirche zu Zürich stand das Wasser so hoch, dass man mit Kähnen darin herumfuhr." Rheinhochwasser: Die Brücken in Laufenburg und Rheinfelden wurden fortgerissen, die Fischerbrücke in Konstanz überschwemmt. […] Diese Hochwasserkatastrophe wird von vielen Chronisten als die grösste seit dem Mittelalter eingestuft." [93]

1480, 24. Juli:

Eines der beiden grössten Hochwasser in den letzten 800 Jahren am Rhein bei Basel, abgeschätzter Maximalabfluss in Basel: 6'500 m3/s; Rhein durchbrach Wasserscheide bei Sargans und floss über Limmat. [93]

"…so hoch, dass sy [die Aare] durch die Vorstat niederluf…" [in Windisch]. "Am 24. Juli war das Wasser so angestiegen, dass es in Brugg die Höhe der Aarebrücke erreichte, ja über dieselbe hinwegströmte..."

1511, 1. August:

"Überschwemmungen durch Rhein, Aare, Reuss und Limmat. Ursache: ununterbrochener, fünf Wochen dauernder Regen: '…die Gewässer erreichten eine unglaubliche Höhe […] und taten grossen Schaden…" [93]

"Uff sant Marien Magdalenen tag [1. Aug.] […] wuchs der Ryn so hefftig, das man besorgte, es wurde geschehen, wie 31 jar darvor [d.h. 1480] in der wassergrossi ouch beschach [geschah] […] Und gieng der Ryn an der Schiffluten pfyler, da der ercker an stat, das man den schilt nit sechen mocht; und werte [dauerte] wol 10 tag an einander, das er [der Rhein] underwylen fiel und denn wider wuchs." (Bernoulli, 1902, in [94]).

1553:

"1553 ward nach einem grossen Schnee und Kälte der Rhein so gross, dass er zu Basel in der Kleinen Stadt bis zu den Zinnen der unteren Mauer reichte, auch in etlichen nächstgelegenen Dörfern merklichen Schaden tat. In Zürich konnte man auf der oberen Brücke die Limmat mit der Hand erreichen und mit Schiffen im Fraumünster herumfahren." [26]

1566, 19. und 20. Juni; 13. Juli:

Laut [93] immense Verheerungen.

"…von der Hof- und Kappelbrücke [in Luzern] aus konnte man das Wasser mit den Händen erreichen. […] Ähnliches wird auch von andernwärts, z. B. von Zürich und vom Bodensee und Rhein berichtet. Der Rhein stieg von Mitte April an fortwährend und trat den 19. und 20. Juni aus und richtete viel Schaden an. Den 20. floss das Wasser über die Ringmauer von Kleinbasel, nahm zu Breisach zwei und zu Strassburg zehn Brückenjoche weg; den 13. Juli ward er wieder sehr gross, noch ein Schuh höher als im Juni, und gefährdete die Brücke zu Basel. Den 21. Juni riss zu Aarau die Aare zwei Brückenjoche weg." [26]

1570, 2. - 4. Dezember:

"Den 2. Dezember, auch folgenden Sonntags und Montags richteten die Wasser infolge starker Süd- und Westwinde mit stetem Regen überall grossen Schaden an. […] Am 3. Dezember wurden infolge der Wassergrösse rheinabwärts alle Mühlen abgestellt; die Wasser waren höher als 1480. Der Rhein floss innerhalb Basel von drei Rheintoren her unter der Brücke zusammen." [26]

1575, Mai:

"Die ganze Au [an der Aare] sei bis an die Strasse nach Stilli unter Wasser gestanden." [29]).

"Der Mai war durch und durch sehr nass; […] Aare, Reuss, Limmat und Rhein etc. wuchsen stark an und taten merklichen Schaden, besonders der Rhein im Oberland. Die Aare nahm zu Aarau drei Joch weg." [26]

1589, 5. Dezember:

"Zu Basel liefen den 5. Dezember die Wasser des Rheins über die Zinnen der Kleinstadt und in Grossbasel bis zum Wirtshaus zum Storchen und litt das steinerne Joch der Brücke grossen Schaden." [26]

1651, Dezember:

Am Rhein bei Basel kleiner als 1566, See von Büren bis Solothurn [93], HW-Marke in Solothurn.

Im Unterlauf der Aare viel kleiner als 1852, HW-Marke in Brugg ca. 4 m tiefer als HW-Marke von 1852.

1711:

"1711, Frühjahr: Überschwemmungen und Rutschungen in weiten Teilen der Schweiz infolge Schneeschmelze und starken Regens. Überschwemmungen in 'allen Flusstälern' des Kantons Zürich; Hochwasser der Luther, Wigger und Kleine Emme, Aare, Saane und Arve; ..." [93].

Jahreszahl 1711 auf der Höhe von 1852 an der gewölbten Strassenbrücke über die Aare in Brugg ohne eigentliche Marke.

1758:

"Ein See längs den Niederungen der Aare erstreckte sich abwärts von Büren und Grenchen bis Solothurn. Es erreichte hier jedoch der Strom noch nicht die Höhe seines Standes von 1801. Nachdem aber noch die Emme sich eingemündet hatte, überstieg er dieselbe bei Wangen, ohne jedoch zur Höhe von 1758 zu gelangen. Alle Niederungen der Kantone Solothurn und Bern standen unter Wasser…" [89].

1801:

"Ein See längs den Niederungen der Aare erstreckte sich abwärts von Büren und Grenchen bis Solothurn. Es erreichte hier jedoch der Strom noch nicht die Höhe seines Standes von 1801. Nachdem aber noch die Emme sich eingemündet hatte, überstieg er dieselbe bei Wangen, ohne jedoch zur Höhe von 1758 zu gelangen. Alle Niederungen der Kantone Solothurn und Bern standen unter Wasser…" [89]

1846, 23. - 31. August:

"Überschwemmungen in der ganzen Nordschweiz verursacht durch Wolkenbrüche und gewaltige Regengüsse. […] Luzern: Überschwemmungen durch die Reuss, Emme und andere Bäche. Schwerpunkte waren das Entlebuch und die Regionen Willisau, Malters, Luzern, Hochdorf und Sursee. Zürich: Zerstörendes Hochwasser von Sihl, Thur und Töss." [93]

1852, 17. - 18. September:

HW-Marken in Solothurn, Olten und Brugg ([88], Stadt Olten).

"Ein See längs den Niederungen der Aare erstreckte sich abwärts von Büren und Grenchen bis Solothurn. Es erreichte hier jedoch der Strom noch nicht die Höhe seines Standes von 1801. Nachdem aber noch die Emme sich eingemündet hatte, überstieg er dieselbe bei Wangen, ohne jedoch zur Höhe von 1758 zu gelangen. Alle Niederungen der Kantone Solothurn und Bern standen unter Wasser, […] Unter der 322 Fuss langen Kettenbrücke von Aarau ist sie über ihren mittleren Stand, den sie den 15. [Sept.] hatte, 8 – 8.5 Fuss gestiegen. Bei Brugg, in eine Felsenspalte zusammengedrängt, erhob sie sich bis zu der 75 Fuss langen Brücke so, dass sie, von dieser etwas geschwellt, in einem grossen Bogen darunter hervorschoss. Nach der Vereinigung

mit Reuss und Limmat, welche zwar im Verhältnis nicht so gross waren wie die Aare, wurden die Niederungen bei Döttingen und Klingnau bis zur Ausmündung in den Rhein überschwemmt." [89]

Weitere HW-Marke in Aarau, die über der von 1852 liegt, aber ohne Jahreszahl.

1876, 10. – 15. Juni:

"Schwere Wasserverheerungen in der Nord- und Ostschweiz mit grösserem territorialem Ausmass als 1868. Ursachen waren lang andauernde Landregen und darauf folgende intensive Gewitter auf einen stark vernässten Boden. Der Gesamtschaden betrug über 14 Millionen Franken […]. Nebst zahlreichen Rutschungen wüteten vor allem folgende Flüsse mit ihren extrem langen Hochwasserspitzen (ohne die zahlreichen sogenannten Dorfbäche speziell zu erwähnen): Rhein, Thur, Sitter, Urnäsch, Murg, Lauche, Töss, Glatt, Reuss, Aare, Emme und Birs. Insgesamt wurden 13 Kantone betroffen." [93]

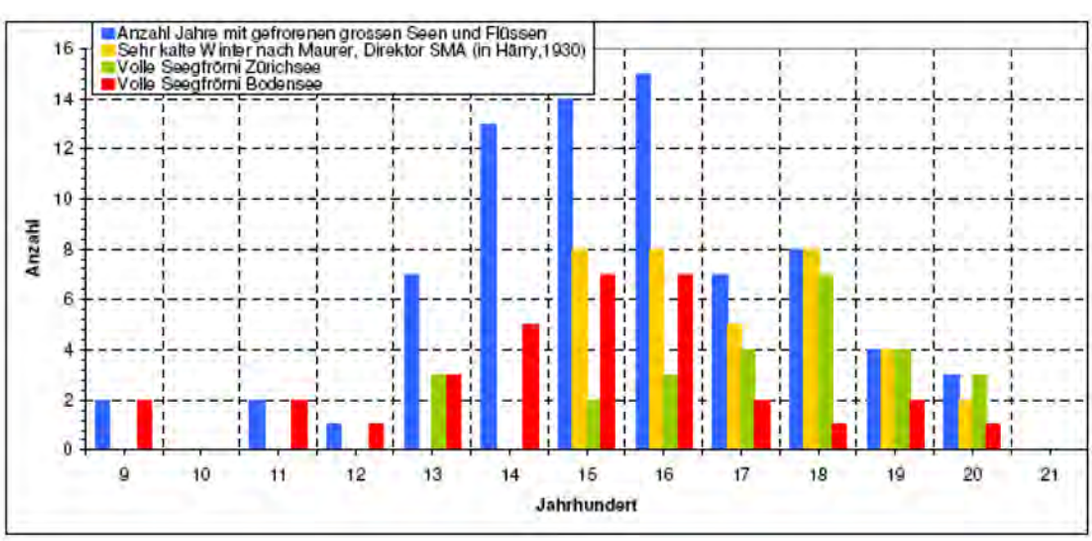
1881, 28. August - 2. September:

"Erneute Hochwasser auf der Alpennordseite infolge anhaltender Niederschläge. Besonders in Mitleidenschaft gezogen wurden die Kantone Basel-Land (Überschwemmungen in fast allen Gemeinden und Tälern) und Zürich (Thur, Töss, Glatt u. a.). Wasserschäden ereigneten sich auch in folgenden Kantonen: Basel-Stadt (Rhein, Birsig, Birs), Solothurn, Aargau (Suhre), Thurgau, den beiden Appenzell, Bern, Freiburg, Uri, Obwalden und Zug." [93].

3.5.14 Anhang 15: Häufigkeit von Eisbildung und Eistrieb

Die Abbildung 3.5-26 gibt einen Überblick über die Häufigkeit gefrorener grosser Seen (Bodensee, Zürichsee, Vierwaldstättersee) und Flüsse.

Abbildung 3.5-26: Anzahl Jahre mit gefrorenen grossen Seen oder Flüssen in der Schweiz und Angaben zu sehr kalten Wintern (9.-21. Jahrhundert) sowie Seegfrörni Zürich- und Bodensee



Vom 14. bis 16. Jahrhundert traten demnach die meisten Ereignisse auf, wobei die Geschichtsschreibung mit einzubeziehen ist. Je älter das Ereignis, um so weniger häufig sind Ereignisse aufgezeichnet, dies zeigt sich deutlich am Zürichsee. Während der letzten vier

Jahrhunderte gefror der Zürichsee häufiger als der Bodensee, in den vorhergehenden Jahrhunderten jedoch seltener.

Es zeigt sich eine abnehmende Tendenz der Anzahl Jahre mit gefrierenden Seen und Flüssen über die vergangenen drei Jahrhunderte.

Von Aare, Reuss und Limmat im Bereich des Wasserschlosses sind keine Angaben aus der Zeit vor dem 19. Jahrhundert bekannt. Hingegen erwähnt Zschokke in seiner wissenschaftlichen Publikation [39] zusätzlich zu den vier Ereignissen im 19. Jahrhundert. Sieben Jahre zwischen 1830 und 1855 mit Eisgängen auf der Aare.[35] Einzig das Jahr 1830 wird auch in anderen Quellen erwähnt.

Die Beobachtungen von Zschokke beziehen sich auf Eistrieb ohne die Bildung einer geschlossenen Eisfläche und zeigen deshalb eine häufigere Wiederkehrperiode von rund drei Jahren. Vergleiche mit späteren Zeiträumen sind nicht möglich.

Aus dem vergangenen Jahrhundert sind sechs Winter mit Eisbildung im Bereich des Wasserschlosses bekannt. Von der Limmat in Baden sind keine Eisbildungen oder Eistriebe vermerkt.

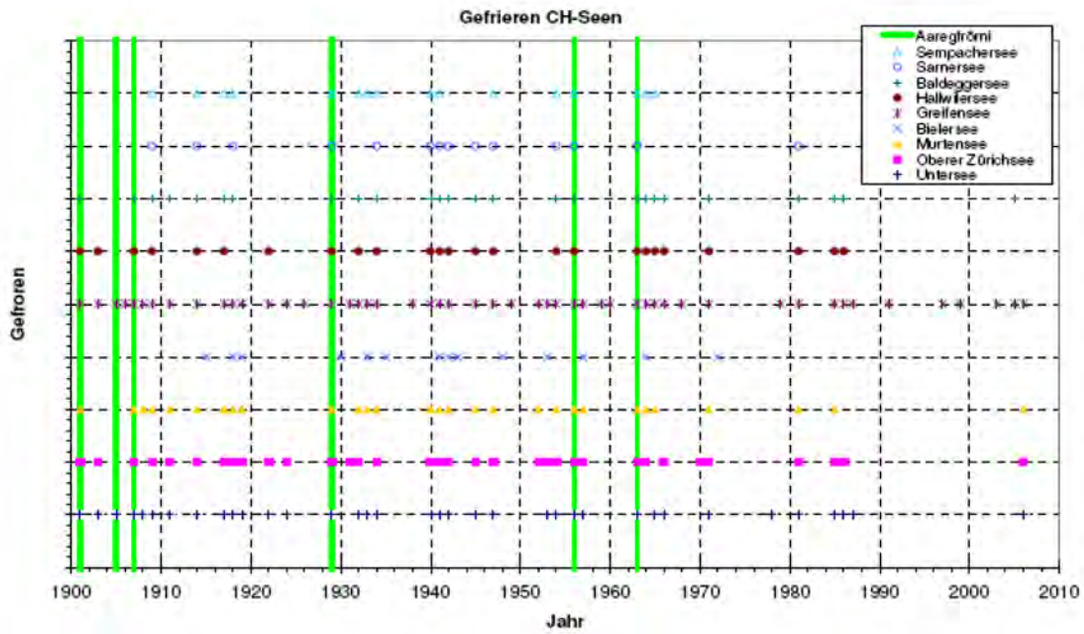
Abbildung 3.5-27 zeigt das Gefrieren einiger Mittellandseen seit 1900 nach Hendricks Franssen und Scherrer (2007) [34].[36] Zum Vergleich sind die bekannten Jahre mit Eistrieb am Unterlauf der Aare dargestellt. Deutlich seltener gefroren grössere Seen (Zürichsee 1907, 1929, 1963 resp. Bodensee 1963).

Eine deutliche Abnahme der Häufigkeit des Gefrierens seit den 1960er Jahren ist klar erkennbar. Seit 45 Jahren ist an der Aare im Bereich des Wasserschlosses kein Eistrieb mehr aufgetreten.

[35] Zschokke beobachtete in der Periode von 1830 bis 1855 19 Eisgänge auf der Aare in Aarau (1830, 1835/1836, 1838, 1845, 1848, 1850/1851, 1853/1854, 1855), wovon fünf einen Tag, sieben zwei Tage, drei drei Tage, einer sechs, einer sieben und zwei neun Tage dauerten.

[36] Das Gefrieren der Seen wird dabei wie folgt definiert: Der See ist mehr als ein Tag vollständig oder beinahe vollständig mit Eis bedeckt. Als Quelle wurden für die früheren Jahre Zeitungen verwendet, in neuerer Zeit ergänzt durch systematische Aufzeichnungen über die Eisbildung auf Seen.

Abbildung 3.5-27: Gefrieren von Schweizer Mittellandseen im Vergleich zur Aare im Bereich des Wasserschlosses



3.5.15 Anhang 16: Entstehungsbedingungen für das Gefrieren der Aare

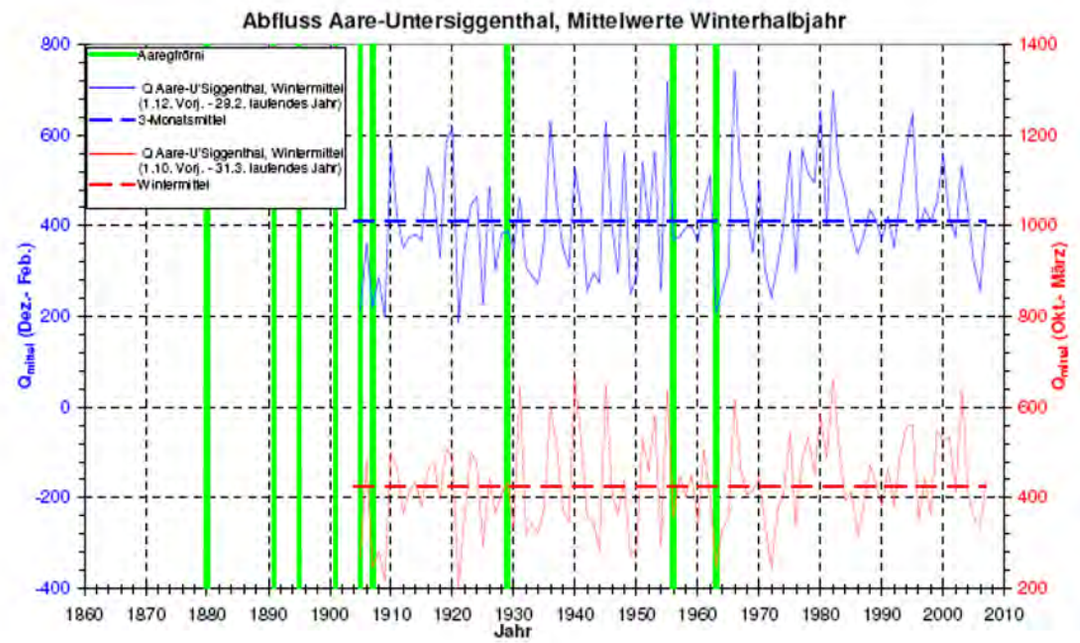
Die Frage stellt sich, welche Bedingungen für das Gefrieren der Aare erfüllt sein müssen. Da die Wassertemperaturen erst ab 1962 gemessen werden und nur das letztmalige Gefrieren in die Messperiode fiel, ist eine Auswertung basierend auf den Wassertemperaturen nicht möglich. Es werden hier nur Zusammenhänge von Eistrieb, Abflussmenge und der Lufttemperatur untersucht.

3.5.15.1 Winterabflüsse

In Abbildung 3.5-28 sind die Winterabflüsse als Saisonmittel (01.10. Vorjahr – 31.03.) resp. der 3-Monats-Periode vom 01.12. bis zum 28.02. der Abflussmessstation Aare-Untersiggenthal dargestellt. Eistrieb trat nur auf in Wintern mit einem Abflussmittel unterhalb des langjährigen Mittelwerts der Periode 1905-2007.

Es wurde versucht, den Einfluss von wärmerem Grundwasser auf die Wassertemperatur der Aare abzuschätzen. Im Hydrologischen Atlas HADES (1992) werden dazu keine genaueren Angaben gemacht. Nach den Angaben in der hydrogeologischen Karte von Biel [33] wird von max. ca. 3 m^3/s Durchfluss im gesamten Grundwassersystem der Emme ausgegangen. Unter der Annahme, dass für das gesamte Flusssystem von den Alpenrandseen bis zum Wasserschloss die 10-fache Menge Grundwasser die Aare speist, bleibt der Anteil vernachlässigbar, da im Mittel im Winter in der Aare zwischen 200 und 700 m^3/s abfliessen.

Abbildung 3.5-28: Mittelwerte der Winterabflüsse der Messstation Aare-Untersiggenthal



3.5.15.2 Anzahl Frosttage

Die Anzahl der Frosttage im Winterhalbjahr (Mitteltemperatur des Tages < 0 °C) für die beiden Stationen Bern und Basel ist in Abbildung 3.5-29 dargestellt. Beide Stationen verfügen über eine lange Messreihe von 1865 bis heute. Der lineare Trend zeigt eine deutliche Abnahme der Anzahl der Frosttage um rund einen Viertel.

Eine hohe Anzahl von Frosttagen ist noch kein Beleg für das Auftreten von Eistrieb; so sind beispielsweise für 1909 oder die frühen 1940er Jahre des 20. Jahrhundert keine Hinweise auf Eistrieb vorhanden.

3.5.15.3 Anzahl Tage mit einer Mitteltemperatur unter -10 °C

Auch die Analyse der Tage mit Mitteltemperaturen unter -10 °C zeigt keine Abhängigkeit mit dem Eistrieb (Abbildung 3.5-30). Die Datengrundlage für die Tage mit Eistrieb ist sehr dünn und es ist möglich, dass sich vielleicht in einigen nicht aufgeführten Jahren Eistrieb ereignet hat. Vergleicht man nämlich die Jahre mit vielen Frosttagen, resp. vielen Tagen mit $T \leq -10$ °C mit Abbildung 3.5-27, so zeigt sich für die frühen 1940er oder auch für 1909 ein Überfrieren vieler Seen.

Abbildung 3.5-29: Anzahl Frosttage der Stationen Bern und Basel im Winterhalbjahr (01.10. Vorjahr bis 31.03.)

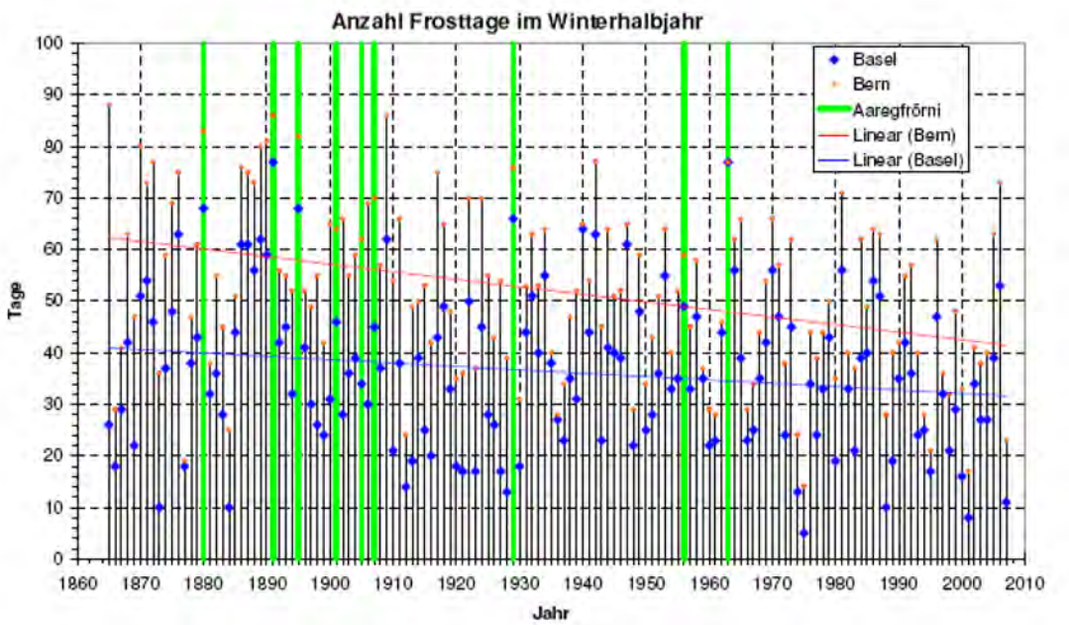
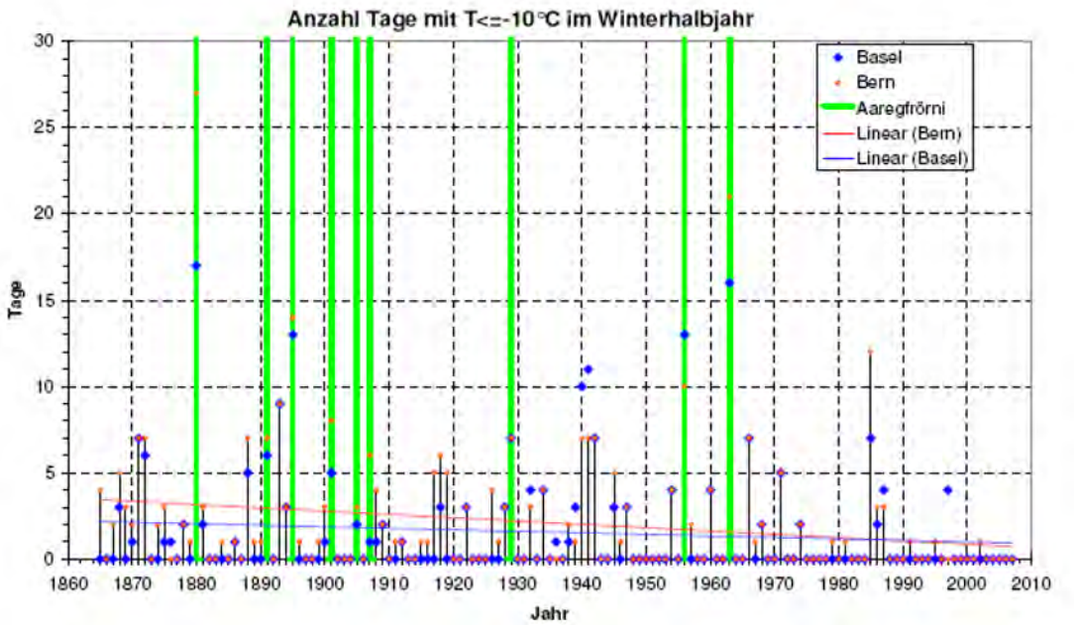


Abbildung 3.5-30: Anzahl Tage mit Mitteltemperaturen < -10 °C der Stationen Bern und Basel im Winterhalbjahr (01.10. Vorjahr bis 31.03.)

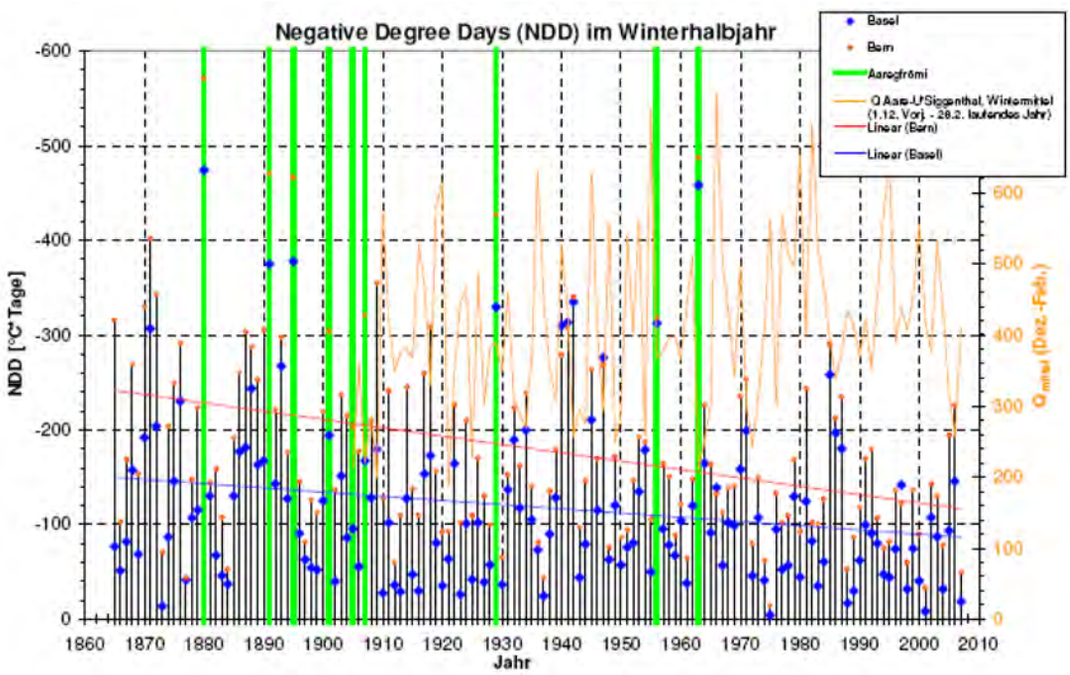


3.5.15.4 Summe negativer Tagesmittelwerte

Der für die Eisbildung auf Seen geläufige Parameter, die Summe der negativen Tagesmittelwerte (Negative Degree Days, NDD) ist in Abbildung 3.5-31 mit dem 3-Monats-Mittel des Abflusses überlagert.

Für Bern liegt der grösste Wert der Summe NDD bei rund -575 °C-Tagen, in Basel bei ungefähr -475 °C-Tagen. Immer wenn die Summe kleiner als -400 °C-Tage für Bern resp. -350 Gradtage (Basel) lag, erfolgte Eisbildung auf der Aare. Die Bedingung ist aber kein hinreichendes Kriterium für Eisbildung, denn auch in den deutlich wärmeren Jahren zwischen 1900 und 1910 wurde dreimal Eis beobachtet. Der 3-Monats-Mittelwert sowie der Wintermittelwert des Abflusses waren in diesen Jahren aber sehr klein. Auch bei der Summe der negativen Tagesmittelwerte zeigt sich ein deutlich abnehmender Trend über die Periode.

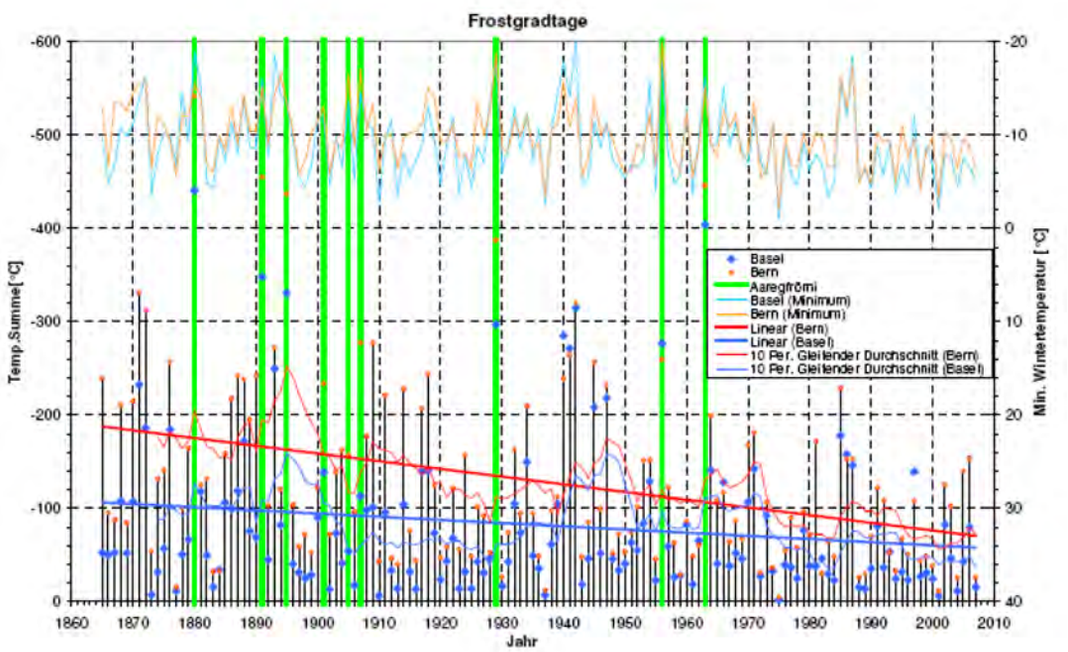
Abbildung 3.5-31: Summe der negativen Tagesmittelwerte mit Trend und 3-Monats-Mittel des Abflusses



3.5.15.5 Frostgradtage

In der Abbildung 3.5-32 ist das Minimum der Summe der Tagesmittelwerte (Frostgradtage)[37] dargestellt. Für diese Frostgradtage liegt das Kriterium für Eisbildung in Bern bei rund -300 °C-Tagen und in Basel bei rund -250 °C-Tagen. Tiefe Minimaltemperaturen zeichnen diejenigen Jahre mit Eisbildung aus, welche obige Kriterien nicht erfüllen.

Abbildung 3.5-32: Frostgradtage mit Trend, gleitendem Durchschnitt und Winterminimaltemperatur

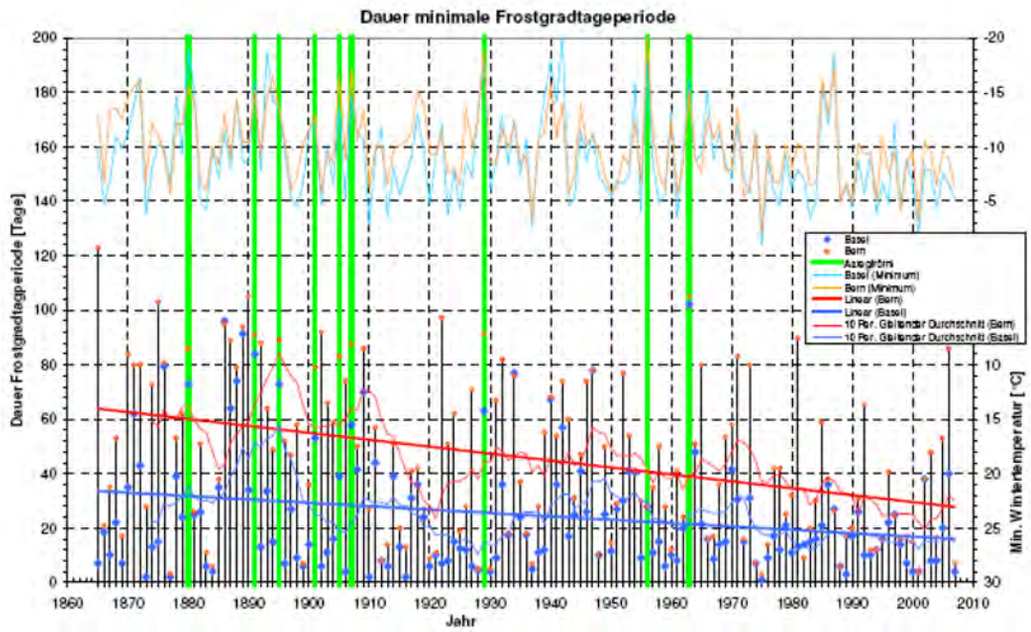


[37] Zur Ermittlung der Frostgradtage wird, beginnend mit jedem Tag im Winterhalbjahr (1.10. Vorjahr-31.3. laufendes Jahr), die Summe der Tagesmittelwerte ermittelt und das jeweilige Minimum gesucht. Das Minimum aus allen täglichen Minima im Winterhalbjahr wird als Frostgradtag bezeichnet. Es werden damit die näher zusammenliegenden Frostperioden ermittelt, im Gegensatz zur Methode der Summe der negativen Tagesmittelwerte. Für die Dauer der Frostgradtagperiode werden die Tage zwischen dem ersten Tag bis zum Tag des Minimums gezählt.

3.5.15.6 Dauer Frostgradtagperiode

Die in Abbildung 3.5-33 gezeigte Dauer der Frostgradtagperiode ergibt für Eisbildung eine minimal erforderliche Dauer von mindestens 80 Tagen in Bern resp. 40 Tagen in Basel.

Abbildung 3.5-33: Dauer minimale Frostgradtage mit Trend, gleitendem Durchschnitt und Winterminimaltemperatur



3.6 Grundwasser

3.6.1 Übersicht

3.6.1.1 Geologische Übersicht

Die Geologie des Standortes wird in 3.7 detailliert beschrieben. Eine Zusammenfassung der für das Verständnis der Grundwasserverhältnisse nützlichen Aspekte wird hier wiedergegeben.

Das Gebiet der Beznau-Insel liegt im unteren aargauischen Aaretal zwischen Böttstein im Westen, Döttingen im Norden und Würenlingen im Südosten.

Das Aaretal ist in die flach gegen Südsüdosten (SSE) einfallenden Schichtplatten des Tafeljuras eingeschnitten. Bedingt durch das Einfallen durchschneidet die Aare vom Zusammenfluss mit der Limmat und der Reuss gegen Norden sukzessive ältere Felsschichten des Juras und schliesslich der Trias. Im südlichen Abschnitt dieses Taleinschnitts zwischen Brugg und Klingnau handelt es sich um Mergel und Kalke der so genannten Effinger Schichten (Malm). Im Gebiet der Beznau sind vorwiegend mergelige Tonsteine des Opalinustons (unterer Dogger) verbreitet. In der Region Kleindöttingen sind es Liaskalke und im Bereich von Klingnau und Leuggern besteht der Felsuntergrund aus Mergeln und Gipsgesteinen des Keupers. In der Enge unterhalb des Klingnauer Stausees schliesslich ist die Aare in die Kalke, Dolomite und Anhydritgesteine des mittleren Muschelkalkes eingeschnitten. Die tiefste Felsrinne weist im Gebiet des Unteren Aaretals einen vom heutigen Aarelauf abweichenden Verlauf auf. Die Achse des glazial erodierten Aaretals verläuft im Gebiet von Würenlingen und unter der ausgedehnten Waldfläche von Unterwald bis nach Kleindöttingen. Der heutige Flusslauf der Aare hingegen folgt im Gebiet der Beznau dem westlichen Talrand und quert zwischen der Beznau und Döttingen das ganze Aaretal in einem weiten Bogen.

3.6.1.2 Hydrogeologische Übersicht

Die Niederterrassen-Schotter und, wo sie in der tieferen Talfüllung vorhanden sind, auch die Hochterrassen-Schotter stellen den Grundwasserleiter für einen sehr ergiebigen und intensiv genutzten Grundwasserstrom dar. Als Grundwasserstauer wirken zumeist die Felsunterlage bzw. – dort, wo diese erhalten sind – die an der Basis der Schotter liegenden See- und Moränenablagerungen.

Das Grundwasser strömt im Unteren Aaretal generell parallel zur Talachse, ungefähr gegen Norden, und weist ausserhalb des unmittelbaren Einflussbereichs der Aare ein flaches Gefälle auf. Im engeren Umfeld der Beznau-Insel weichen die Strömungsverhältnisse als Folge der Stauhaltung im Oberwasserkanal und in der Aare etwas vom allgemeinen Bild ab. Das Grundwasser strömt hier zwischen dem Oberwasserkanal und der Aare im Unterwasserbereich mit deutlich stärkerem Gefälle in nordwestlicher Richtung.

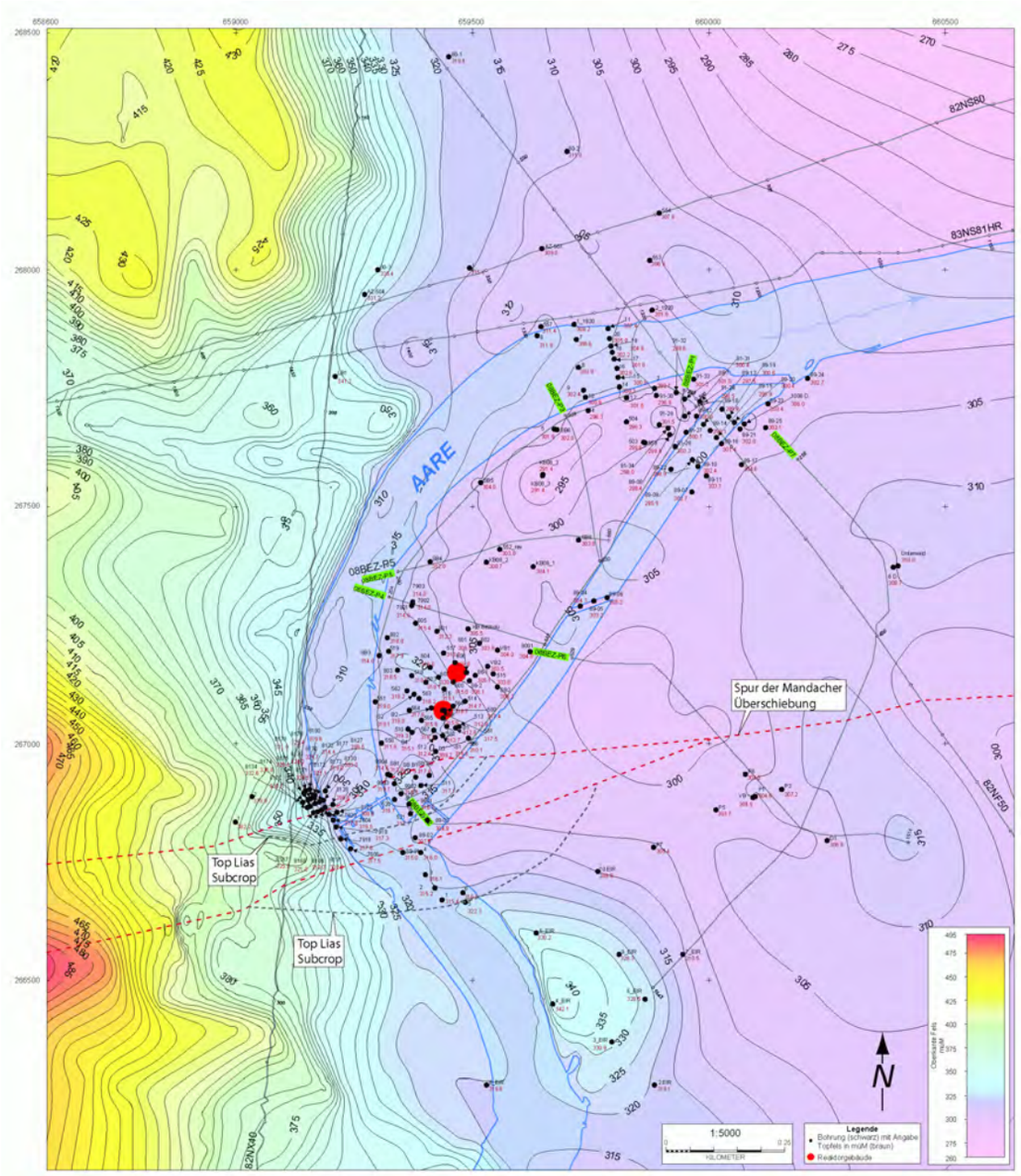
Die Grundwassermächtigkeit beträgt über weite Teile des Unteren Aaretals ca. 10-15 m. Der Flurabstand des Grundwasserspiegels, d.h. die Mächtigkeit des trockenen Schotters über dem Grundwasserspiegel, liegt bei ungefähr 15-30 m. Die ehemals tiefe Erosionsrinne des Aaretals wurde spät- und nacheiszeitlich mit mächtigen, vorwiegend aus fluvioglazialen Schottern bestehenden Lockergesteinsablagerungen aufgefüllt.

3.6.2 Untergrundverhältnisse in der Umgebung des Standorts

3.6.2.1 Lage und Verlauf der Felsoberfläche

Die Felsoberfläche, das heisst die stratigrafische Oberfläche des Felses inkl. Verwitterungsschicht weist im Gebiet Beznau eine sehr akzentuierte Morphologie auf, wie dies im Isohypsenplan (Abbildung 3.6-1) gezeigt wird. Einen indirekten Einfluss auf die Morphologie der Felsoberfläche hat die Mandacher Überschiebung. Ihr Südschenkel ist gegenüber dem Nordschenkel um 40 bis 50 m gehoben und deshalb sind südlich der Verwerfung, d.h. südlich der Abzweigung des Kanals, lokal die nächst tieferen Formationen des Lias (Kalke und Mergel) und stellenweise sogar des Keupers (Mergel und Evaporite) aufgeschlossen. Namentlich die Liaskalke wirken als erosionsresistente Härtlinge. Sie haben für die ungezähmte Aare im vorletzten Jahrhundert als hervortretende Felsrippen Stromschnellen bewirkt. Das Wehr Beznau wurde an der Stelle der Liaskalk-Rippe errichtet, wo bereits natürlicherweise eine Felsschwelle vorhanden war.

Abbildung 3.6-1: Isohypsen der Felsoberfläche, Raum Beznau



Quelle: Interoil E & P Switzerland AG

Wie die Isohypsenkarte der Felsoberfläche in Abbildung 3.6-1 zeigt, fällt die Felsoberfläche unter der Beznau-Insel generell von Westsüdwest gegen Ostnordost. Sie bildet im Bereich des KKB 1 und 2 eine buckelförmige Erhebung mit Koten um 315-320 m ü.M., fällt dann gegen Nordosten ab und liegt im Bereich des EKKB generell auf Koten zwischen 300 und 305 m ü.M. Eine Besonderheit ist die feinstrukturierte Morphologie der Felsoberfläche mit kleinräumigen Mulden, Rinnen und Buckeln mit bis zu 5 m Höhenunterschied, welche vor allem an Orten mit hoher Bohrdichte erkennbar ist, z.B. im Bereich der Neubauten des Hydraulischen Kraftwerks. Besonders

auffällig sind zwei akzentuierte Mulden mit einer Ausdehnung von je etwa 20'000 m² und einer Übertiefung von 10 bis 15 m, eine erste unmittelbar stromabwärts der Liasrippe beim Wehr und eine zweite bei dem neuen EKKB unter der bestehenden Freiluftschaltanlage. Diese Mulden sind teils rund, teils langgestreckt, aber sie sind allseitig geschlossen. Es handelt sich also nicht um fluviatile Rinnen, sondern am ehesten um "Kolke", welche in einer älteren Eiszeit durch subglaziäre (unter dem Eis) Schmelzwässer in den Fels erodiert und später durch Schotter eingedeckt worden sind.

3.6.2.2 Lockergesteinsfüllung

Die quartäre Lockergesteinsfüllung des Aaretals besteht zuoberst aus bis zu ca. 2 m mächtigen *Oberflächenschichten*, vorwiegend aus Sanden und Silten. Darunter folgt in der gesamten Talsohle der so genannte *Niederterrassen-Schotter* in Form von sandreichem Kies mit Einlagerungen von Grobkies. Überwiegend sind die besagten Schotter als saubere bis schwach siltige Kiese ausgebildet. Schichten mit erhöhten Siltgehalten sind eher selten. Lokal sind wenig mächtige, feinkörnige *Seeablagerungen* hauptsächlich aus Sand und Silt eingeschaltet.

Diese Schichten sind zumeist als Muldenfüllungen in Vertiefungen von Felsrinnen erhalten. Gelegentlich sind auch geringmächtige, *moränenartige Ablagerungen* aus kiesigem Sand / Silt in den Schotter zu beobachten. Diese treten daneben auch als Trennschicht zu den darunter folgenden Hochterrassen-Schottern auf.

Die *Hochterrassen-Schotter* sind im Unteren Aaretal weit verbreitet. Sie bestehen vorwiegend aus sandigem Kies und unterscheiden sich von den Niederterrassen-Schottern durch einen höheren Feinanteil sowie durch ihre Verkittung zu Nagelfluh. Die Schichtmächtigkeit der beiden Schotterabfolgen ist im Bereich der Beznau-Insel starken Schwankungen von 1 bis über 10 m unterworfen. Im Bereich des EKKB besitzen die Hochterrassen-Schotter Mächtigkeiten von total ca. 8 bis 10 m. Die Hochterrassen-Schotter sind zum einen entlang des Talrands als Erosionsrelikte erhalten oder sind sogar als grössere Schotterfluren entwickelt.

Zum anderen bilden sie Höhenzüge östlich von Klingnau sowie das Gebiet zwischen Gippingen und Böttstein. Am Talrand, wie beispielsweise auch im Bereich der Beznau-Insel, liegen Reste von Hochterrassen-Schotter unter dem Niederterrassen-Schotter.

3.6.3 Grundwasserverhältnisse in der Umgebung des Standortes

3.6.3.1 Durchlässigkeit des Schotters

Die Durchlässigkeit der Niederterrassen-Schotter ist generell hoch bis sehr hoch. Abschnittsweise kann sie aber im Verbreiterungsbereich von Linsen oder schichtförmigen, sandigen oder zumindest sandreichen Einschaltungen deutlich reduziert sein. In zahlreichen in Bohrungen und Pumpwerken durchgeführten Pumpversuchen wurden im Niederterrassen-Schotter in der Talmitte Durchlässigkeitsbeiwerte k von 4 bis $10x10^{-3}$ m/s ermittelt. Am Talrand und damit auch im Bereich der Beznau-Insel sind die entsprechenden Werte deutlich tiefer und liegen bei rund 3 bis $5x10^{-3}$ m/s.

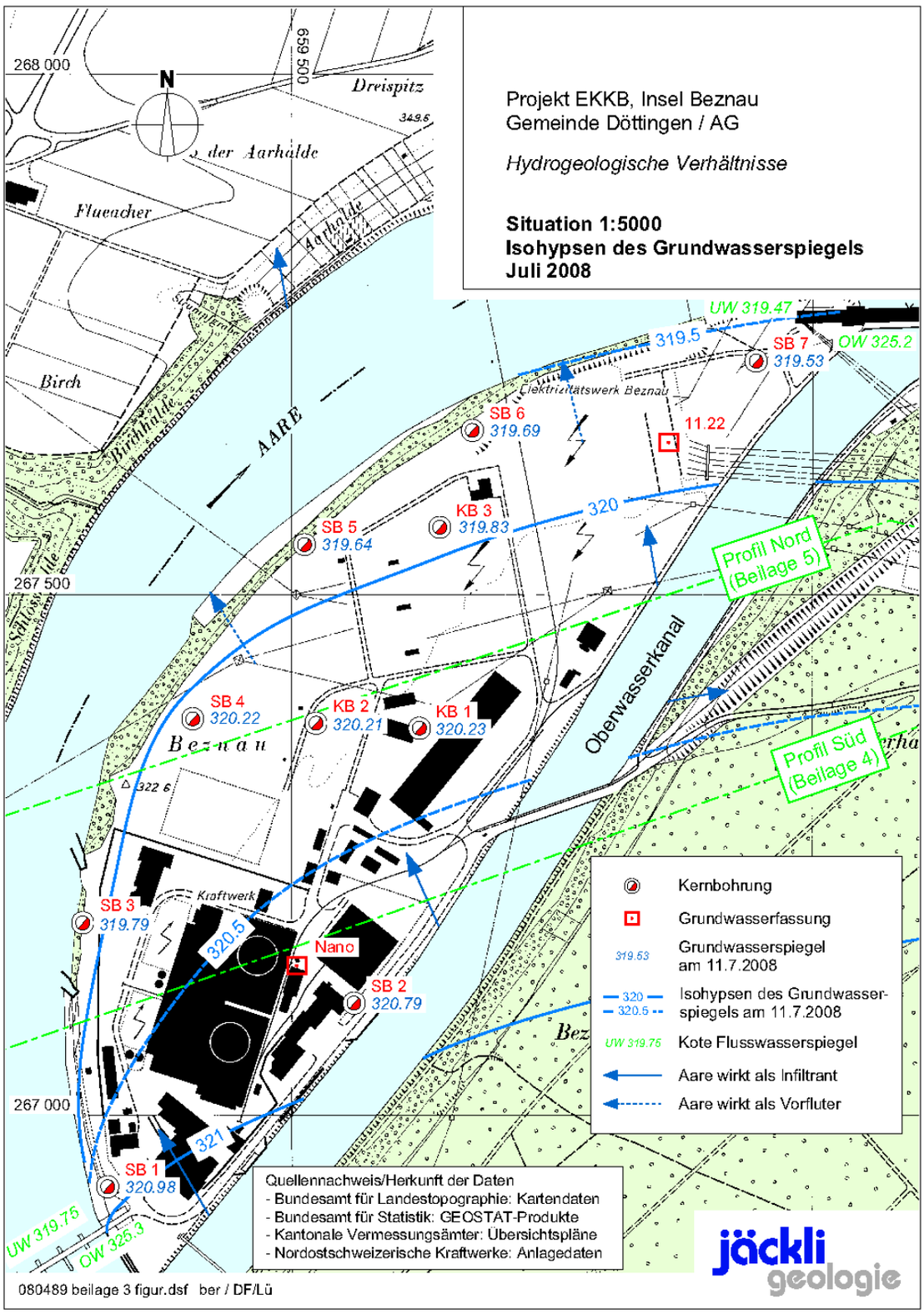
Die Hochterrassen-Schotter sind allgemein etwas weniger durchlässig, ihre k-Werte liegen bei ca. 1 bis $2x10^{-3}$ m/s. Die übrigen Lockergesteinsschichten weisen durchwegs deutlich tiefere Durchlässigkeitskoeffizienten auf. Bei den Moränenablagerungen kann von k-Werten im Bereich von 0.5 bis $5x10^{-5}$ m/s und bei den Überschwemmungssedimenten von 0.5 bis $1x10^{-4}$ m/s ausgegangen werden. Letztere liegen allerdings als nacheiszeitliche Ablagerungen über dem Niederterrassen-Schotter und damit auch weitgehend über dem Grundwasserspiegel.

3.6.3.2 Grundwasser-Strömungsverhältnisse

Das Grundwasser strömt im Unteren Aaretal generell ungefähr parallel zur Talachse, ungefähr von Süden gegen Norden, und weist ausserhalb des unmittelbaren Einflussbereichs der Aare ein flaches Gefälle von lediglich ca. 1-2‰ auf. Im engeren Umfeld der Beznau-Insel weichen die Strömungsverhältnisse als Folge der Stauhaltung im Oberwasserkanal und in der Aare etwas vom allgemeinen Bild ab. Das Grundwasser strömt hier zwischen dem Oberwasserkanal und der Aare im Unterwasserbereich mit deutlich stärkerem Gefälle in nordwestlicher Richtung.

Gemäss einer am 11. Juli 2008 in sämtlichen zugängigen Messstellen (inkl. neuer Bohrungen 2008) durchgeführten Stichtagmessung können die Verhältnisse etwas genauer erfasst werden (vgl. Abbildung 3.6-2). Gemäss den entsprechenden Ergebnissen ist die Fliessrichtung im südlichen Teil der Beznau-Insel nach WNW bis NW und im nördlichen Teil nach NNW gerichtet. Das Gefälle beträgt im südlichsten Teil der Insel um 4‰, im nördlichen Teil um 2.5‰.

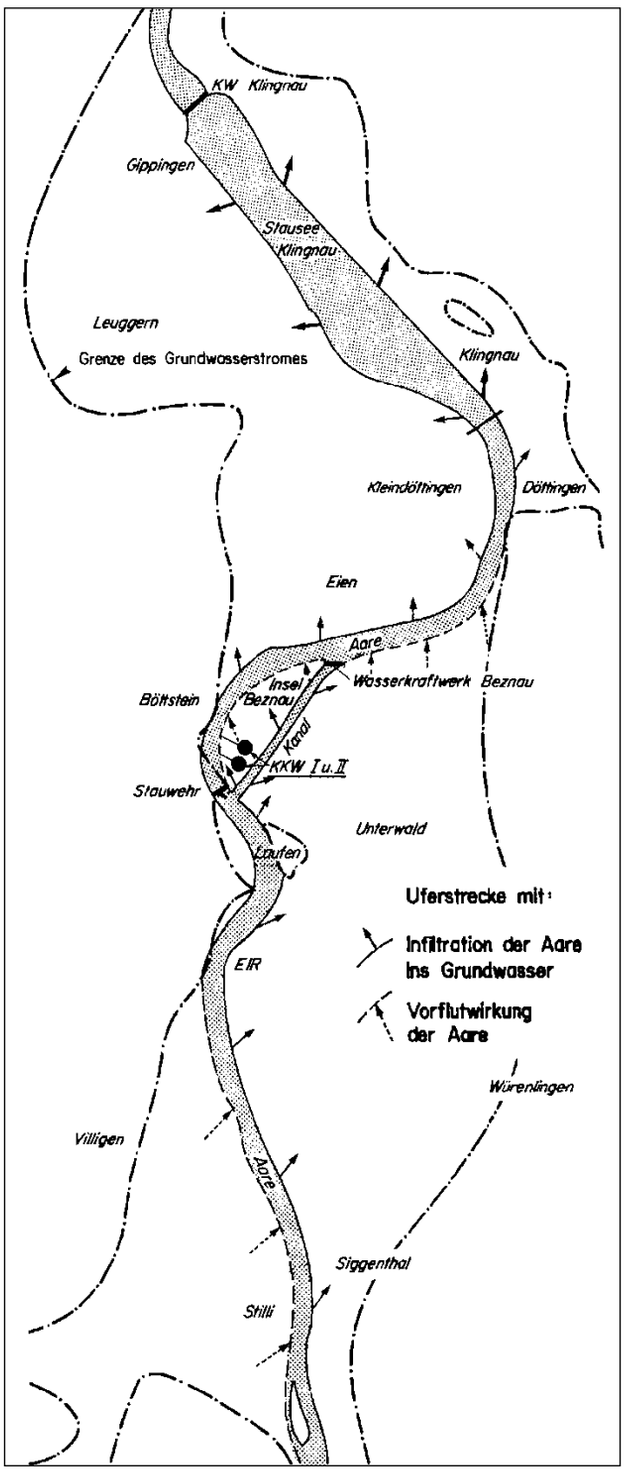
Abbildung 3.6-2: Situation1:5000, Isohypsen des Grundwasserspiegels Juli 2008



3.6.3.3 Wechselwirkung Aare / Grundwasser

Das Grundwasser steht in einer sehr engen hydraulischen Wechselwirkung zur Aare. Die entsprechenden Verhältnisse sind in der nachstehenden Abbildung 3.6-3 dargestellt.

Abbildung 3.6-3: Infiltrations- / Vorflutverhältnisse



Auf folgenden Abschnitten wirkt der Fluss als *Infiltrant* in das Grundwasser:

- über das rechte Ufer oberhalb des Wehrs Beznau
- über das linke Ufer zwischen den Wehr Beznau und der Döttinger Brücke
- beidseitig im Bereich des Oberwasserkanals sowie entlang des Klingnauer-Stausees.

Auf den übrigen Abschnitten stellt die Aare die *Vorflut* für das Grundwasser dar und zwar:

- für die gesamte Beznau Insel entlang des rechten Flussufers
- für das Gebiet Unterwald zwischen dem Hydraulischen Kraftwerk Beznau und Döttingen ebenfalls entlang des rechten Ufers.

3.6.3.4 Grundwassermächtigkeit

Die nutzbare *Grundwassermächtigkeit* beträgt im Unteren Aaretal im Allgemeinen ca. 10-15 m, im Bereich von lokalen, schmalen Rinnen sogar mehr als 20 m. In der Nähe des Talrands nimmt sie auf weniger als 5 m ab. Im Bereich der Beznau-Insel ist die Grundwassermächtigkeit sehr unterschiedlich. Der Rand des nutzbaren Grundwassers verläuft unmittelbar westlich der Kernkraftwerksanlage. In östlicher und nordöstlicher Richtung nimmt die Grundwassermächtigkeit rasch zu und erreicht noch im Bereich der bestehenden Gebäude 10 m, wenig weiter östlich sogar mehr als 15 m. Die bestehenden Kernkraftwerksanlagen reichen zum Teil ziemlich tief unter den Grundwasserspiegel und schränken damit den Durchflussquerschnitt lokal künstlich ein. Im Bereich der beiden Reaktorgebäude, welche auf dem Felsuntergrund fundiert sind, ist die Grundwassermächtigkeit praktisch auf Null reduziert.

3.6.3.5 Grundwasserspiegel

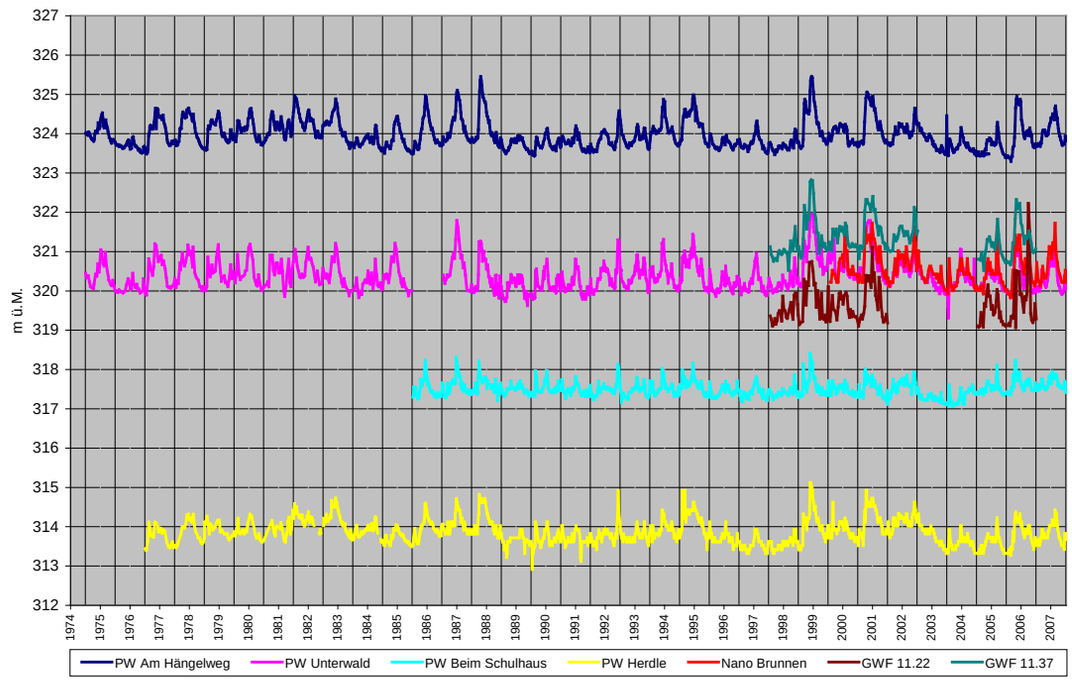
Der *Flurabstand* des Grundwasserspiegels, d.h. die Mächtigkeit des trockenen Schotters über dem Grundwasser, ist in weiten Teilen des Unteren Aaretals beachtlich hoch und beträgt ca. 15-30 m. Im Bereich der untersten Schotterterrassen gegen die Aare hin wird der Flurabstand geringer und beträgt auf der Beznau-Insel weniger als 5 m.

Die Schwankungen des Grundwasserspiegels sind als Folge der ausgleichenden Wirkung der Aare im Allgemeinen relativ bescheiden. In den Pumpwerken der näheren Umgebung der Beznau-Insel werden bei normalen Wasserständen jahreszeitliche Schwankungen von lediglich ca. 1-1.5 m registriert. Die langjährigen Extremamplituden liegen bei gut 2 bis ca. 3 m (vgl. Tabelle 3.6-1 und Abbildung 3.6-4).

Tabelle 3.6-1: Trink- und Brauchwasserfassungen im Unteren Aaretal

Pumpwerk	Konzessions-Nummer	Konzessionierte Menge	Grundwasserspiegellage			Amplitude
		l/min	min. m ü.M.	mittel m ü.M.	max. m ü.M.	m
Am Hengelweg, Würenlingen	02.37	5'000	323.29 (20.2.06)	323.97	325.45 (7.6.99)	2.16 (75-07)
Unterwald, Döttingen	11.16	4'000	319.30 (12.1.04)	320.33	321.94 (31.5.99)	2.64 (75-07)
Unterwald, NOK	11.37	3'000	320.50 (24.8.98, 25.3.05)	321.31	322.8 (31.5.99)	2.30
Beim Schulhaus, Böttstein	11.08	2'520	317.05 (8.3.04)	317.49	318.40 (17.5.99)	1.35 (86-07)
Herdle, Leuggern	11.29	1'800	312.90 (9.1.90)	313.84	315.10 (25.5.99)	2.20 (77-07)
Notstandbrunnen, NOK	32.229	12'000	319.8 (13.2.06)	320.52	321.7 (18.6.01, 13.8.07)	1.9 (00-07)
Beznau, NOK	11.22	800	319.04 (17.4.00)	319.63	322.2 (18.9.06)	3.16 (98-06)

Abbildung 3.6-4: Ganglinien des Grundwasserspiegels in ausgewählten Pumpwerken, 1975-2007



3.6.3.6 Grundwasserneubildung

Die Neubildung des Grundwassers erfolgt durch Versickerung von Niederschlägen in der Talsohle, durch den unterirdischen Zufluss von Hangwasser aus den Talflanken mit verschiedenen Seitentälern sowie insbesondere durch Infiltration aus der Aare.

Das Gebiet der Beznau-Insel befindet sich in einem Randbereich des Grundwasservorkommens. Die Grundwasserverhältnisse werden im Osten in erster Linie durch den Oberwasserkanal geprägt, der die erwähnte zusätzliche Speisung des Grundwassers bewirkt, aber auch durch das Unterwasser der Aare im Westen der Insel, welches die Vorflut darstellt.

3.6.4 Grundwassernutzung im Unteren Aaretal

Der Grundwasserstrom des Unteren Aaretals wird in der näheren und weiteren Umgebung der Beznau-Insel durch verschiedene, teils sehr kapazitive Grundwasserfassungen intensiv zu Trink- und Brauchwasserzwecken genutzt.

Auf der Beznau-Insel selbst befinden sich die in Tabelle 3.6-2 aufgeführten fünf Fassungen, die von der NOK zu Brauchwasserzwecken genutzt werden.

Tabelle 3.6-2: Grundwasserfassungen auf der Beznau-Insel

Pumpwerk	Konzessions-Nr. Bewilligungs-Nr.	Konzessionierte Entnahmemenge, bewilligte Entnahmemenge (l/min)	Installierte Leistung (l/min)	Verwendung
KW Beznau	11.22	800		Brauchwasser
KKW Beznau; Notbrunnen	32.46	1'320		Kühlwasser
KKW Beznau, Notfassung	32.103	50		Trink- und Brauchwasser
KKW Beznau, Notstandbrunnen	32.229	12'000	7'200	Notkühlung
KKW Beznau, Zivilschutz	32.236	30		Trink- und Brauchwasser

Daneben existiert im Gebiet zwischen Würenlingen und Klingnau eine Vielzahl von kleineren und mittelgrossen Fassungen (Tabelle 3.6-3), welche zu privaten Trink- und Brauchwassernutzungen und insbesondere auch zum Betrieb von Wärmepumpen dienen. Diese sind im Plan der Abbildung 3.6-5 für den Stand Mitte Juni 2008 dargestellt. Die entsprechenden Unterlagen wurden von der Abteilung für Umwelt des Departements Bau, Verkehr und Umwelt des Kantons Aargau zur Verfügung gestellt. Die kumulierte bewilligte respektive konzessionierte Entnahmemenge der beschriebenen Fassungen im Gebiet zwischen Würenlingen und Koblenz liegt in der Grössenordnung von gut 45'000 l/min. Die effektive Nutzungsmenge aus diesen Fassungen dürfte allerdings ziemlich weit unter dieser Menge liegen. So wird beispielsweise der Nano-Brunnen[38] mit einer bewilligten Entnahmemenge von 12'000 l/min nur bei periodischen Funktionsprüfungen oder beim Eintreten eines Störfalls im KKW Beznau betrieben. Auch die Wärmepumpenfassungen werden nur während der Heizperiode belastet und das Wasser wird dem Grundwasserstrom zurückgegeben.

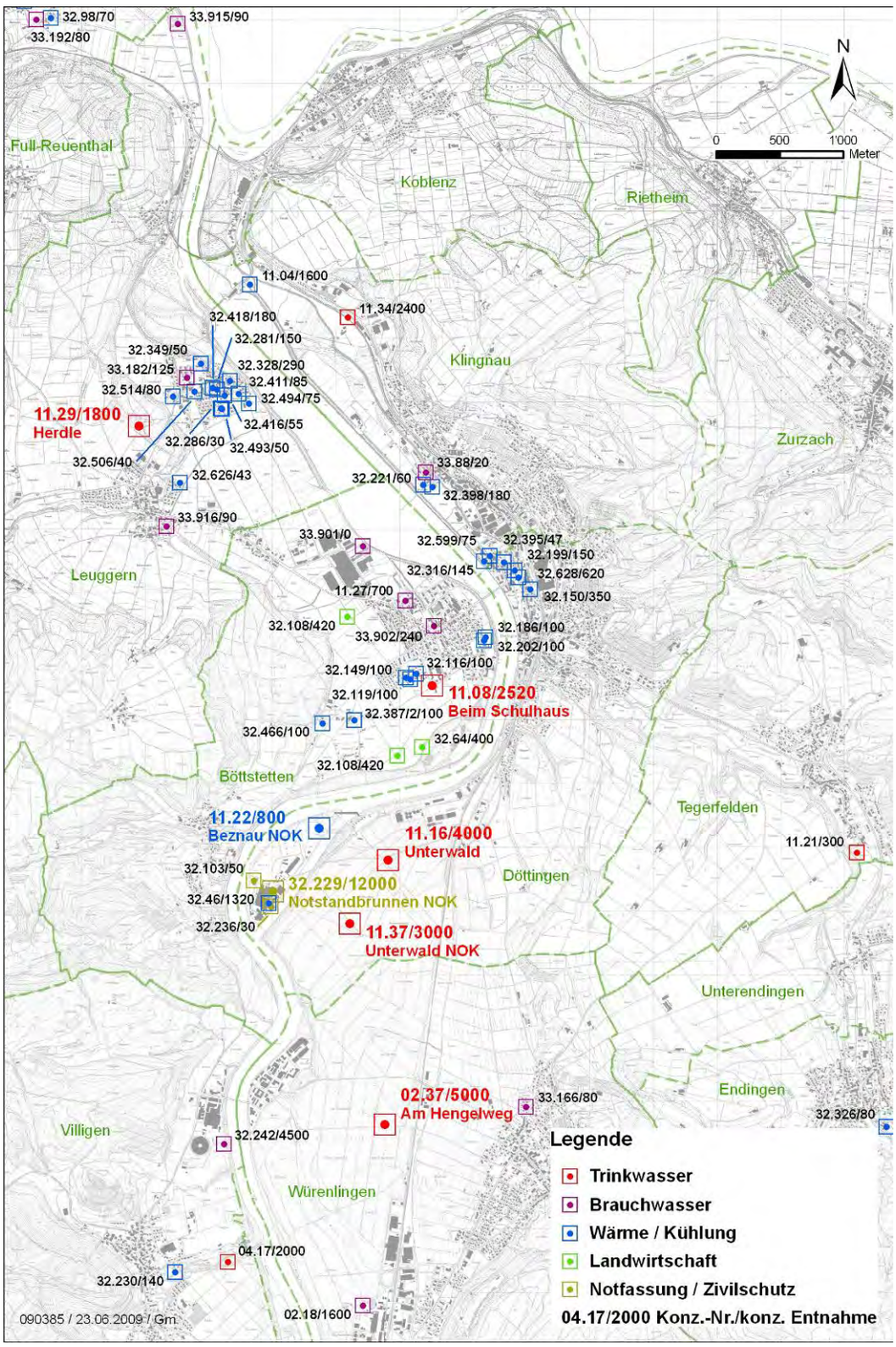
Diese Aufstellung gibt ein Bild über die intensive Grundwassernutzung in Standortnähe und die Ergiebigkeit des Grundwasserleiters.

[38] Nano war die Projektbezeichnung für eine Nachrüstung und wird hier als Synonym für das Notstandsystem des KKB verwendet

Tabelle 3.6-3: Angaben zu den Entnahmemengen aus den Pumpwerken 1998-2007

	PW Am Hengelweg, Würenlingen Konz. Nr. 2.37			PW Unterwald, Döttingen Konz. Nr. 11.16			PW Unterwald NOK Konz. Nr 11.37			PW Beim Schulhaus, Böttstein Konz. Nr. 11.8		
	Jährliche Entnahmemenge [m3]	Konz. Entnahmemenge [l/min]	Konzession %	Jährliche Entnahmemenge [m3]	Konz. Entnahmemenge [l/min]	Konzession %	Jährliche Entnahmemenge [m3]	Konz. Entnahmemenge [l/min]	Konzession %	Jährliche Entnahmemenge [m3]	Konz. Entnahmemenge [l/min]	Konzession %
1998	697298	5000	27	597961	4000	28	384841	3000	24	493442	2520	37
1999	651845		25	605880		29	420136		27	494560		37
2000	637051		24	591880		28	330082		21	488240		37
2001	647239		25	598500		28	363597		23	506610		38
2002	657460		25	627610		30	412870		26	514510		39
2003	861064		33	658750		31	419080		27	464040		35
2004	747066		28	544000		26	253912		16	370690		28
2005	765195		29	604254		29	278618		18	389930		29
2006	823078		31	457179		22	294067		19	456848		34
2007	796011		30	528183		25	352586		22	361003		27
Periode	728330.7		28	581419.7		28			22	453987.3		34

Abbildung 3.6-5: Situation mit Lage der Grundwasserfassungen im Unteren Aaretal (Stand Juni 2008)



3.6.5 Beschaffenheit des Fluss- und Grundwassers im Unteren Aaretal

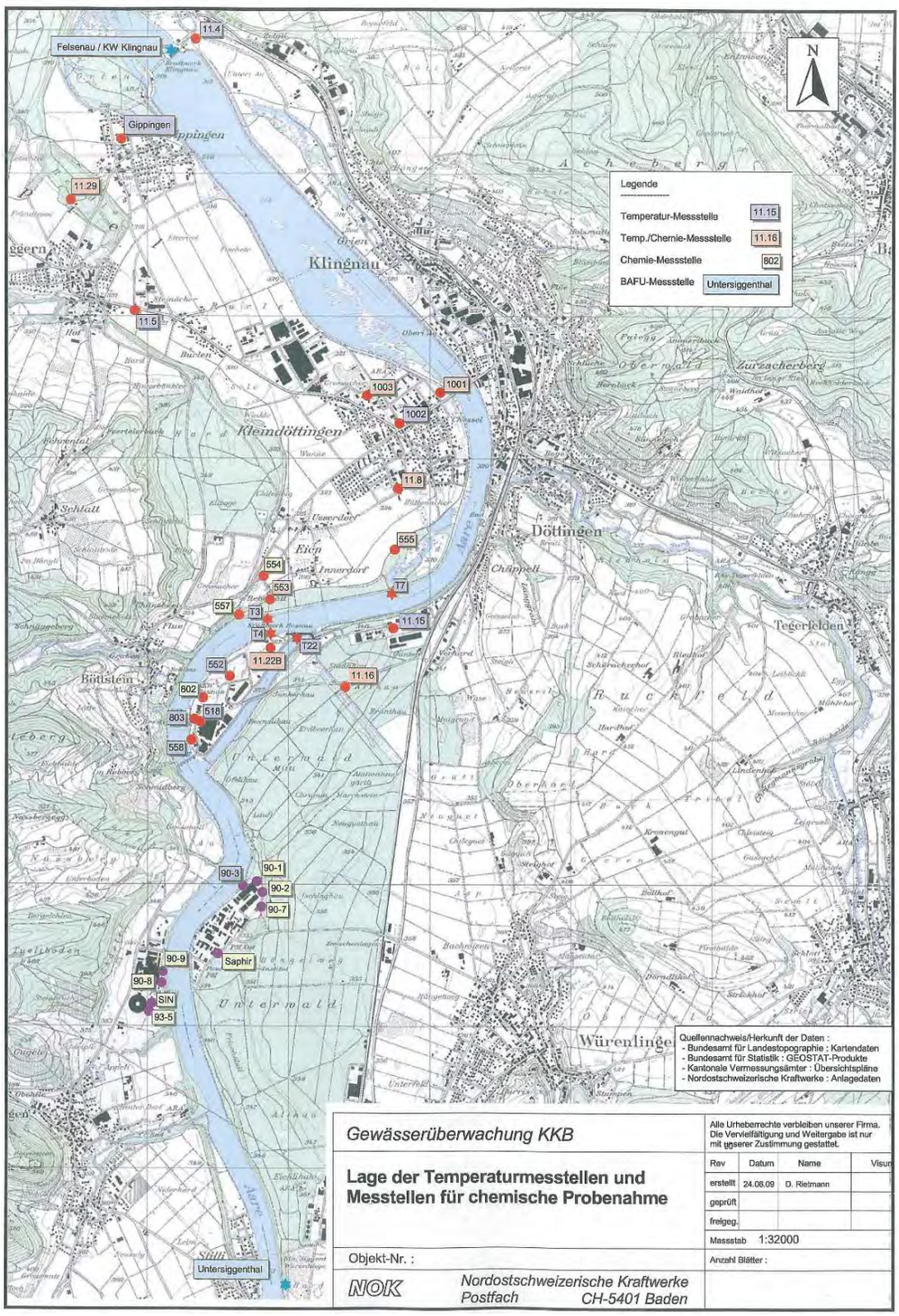
3.6.5.1 Chemische Beschaffenheit

3.6.5.1.1 Vorliegende Daten

Zur Dokumentation der chemischen Beschaffenheit des Grundwassers im Umfeld des Standorts Beznau werden seit 1976 jeweils im Frühjahr aus fünf Beobachtungsrohren (553H, 554, 555T, 557, 802) sowie aus sechs Grundwasserfassungen (1001, 1003, 11.8, 11.16, 11.22 und 11.29) Proben erhoben und mit demselben Analysenprogramm chemisch untersucht. Daneben stehen von den öffentlich genutzten Pumpwerken zusätzliche Analysen aus den für Trinkwasserfassungen üblichen Überwachungsprogrammen zur Verfügung. Schliesslich liegen einzelne Messungen aus dem Monitoring-Programm im Abströmbereich der Deponie Bärengraben vor. Seit 1983 werden im Rahmen der Gewässerüberwachung für das KKW Beznau 1 und 2 auch in der Aare bei Aarau und bei Felsenau systematische Messungen der Flusswasserqualität durchgeführt.

Die lagemässige Anordnung der Grundwasser- und Flussmessstellen (Temperatur und Chemie) sind in der Abbildung 3.6-6 dargestellt.

Abbildung 3.6-6: Situation mit Lage der Temperaturmessstellen und Chemie-Messstellen im Umfeld des KKB



3.6.5.1.2 Aarewasserqualität

Die Aare besitzt einen für mittelländische Flüsse typischen, unauffälligen Chemismus mit Gesamthärten im Bereich von ca. 16-20° fH, Chloridgehalten von 8-15 mg/l, Sulfatwerten von ca. 20-30 mg/l und Nitratgehalten von ca. 1-2.5 mg/l.

In Abbildung 3.6-7 und Abbildung 3.6-8 sind die wichtigsten Messparameter des chemischen Überwachungsprogramms für die Messstelle Felsenau in Form von Ganglinien aufgetragen. Die Lage der Messstelle ist ebenfalls in Abbildung 3.6-6 eingetragen.

Die Ganglinien zeigen bei allen untersuchten Messparametern mehr oder weniger starke Schwankungen, die vermutlich hauptsächlich auf klimatische Unterschiede zurückzuführen sind. Die meisten Parameter weisen keine eindeutige Tendenz auf, weder nach oben noch nach unten. Ausnahmen stellen der Phosphat-Gehalt und der Kaliumpermanganatverbrauch ($KMnO_4$) dar, deren deutliche Abnahme auf das Phosphatverbot und die allgemeine Verbesserung der Abwasserbehandlung zurückzuführen sein dürften.

Das Schwankungsverhalten der Werte der Messstelle Felsenau verläuft übrigens auffällig parallel mit demjenigen der Messstelle Aarau, was aufzeigt, dass die Zuflüsse der Reuss und der Limmat keine nennenswerten Veränderungen im Chemismus des Flusswassers bewirken.

Abbildung 3.6-7: Chemische Beschaffenheit des Aarewassers bei Felsenau, Teil 1

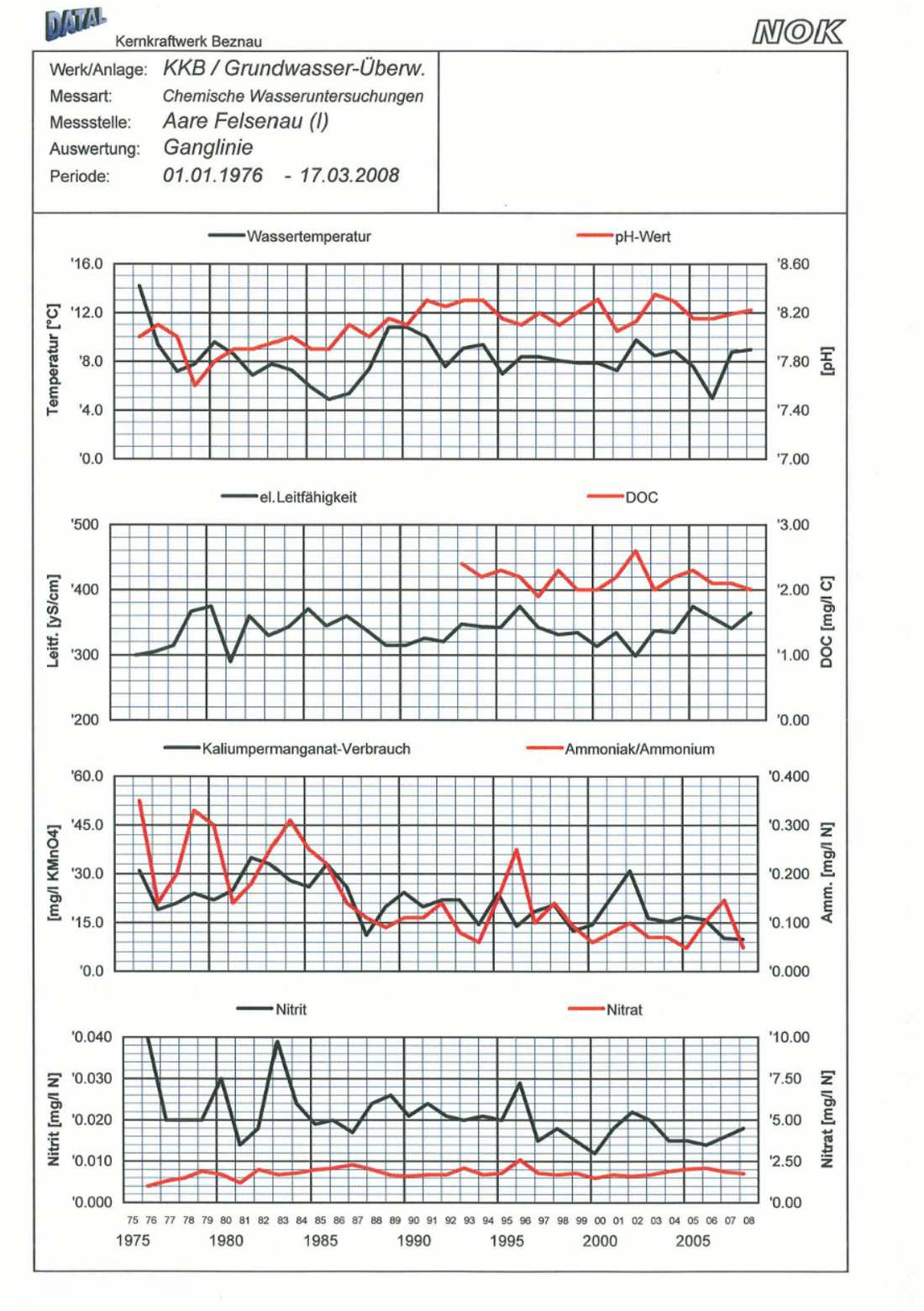
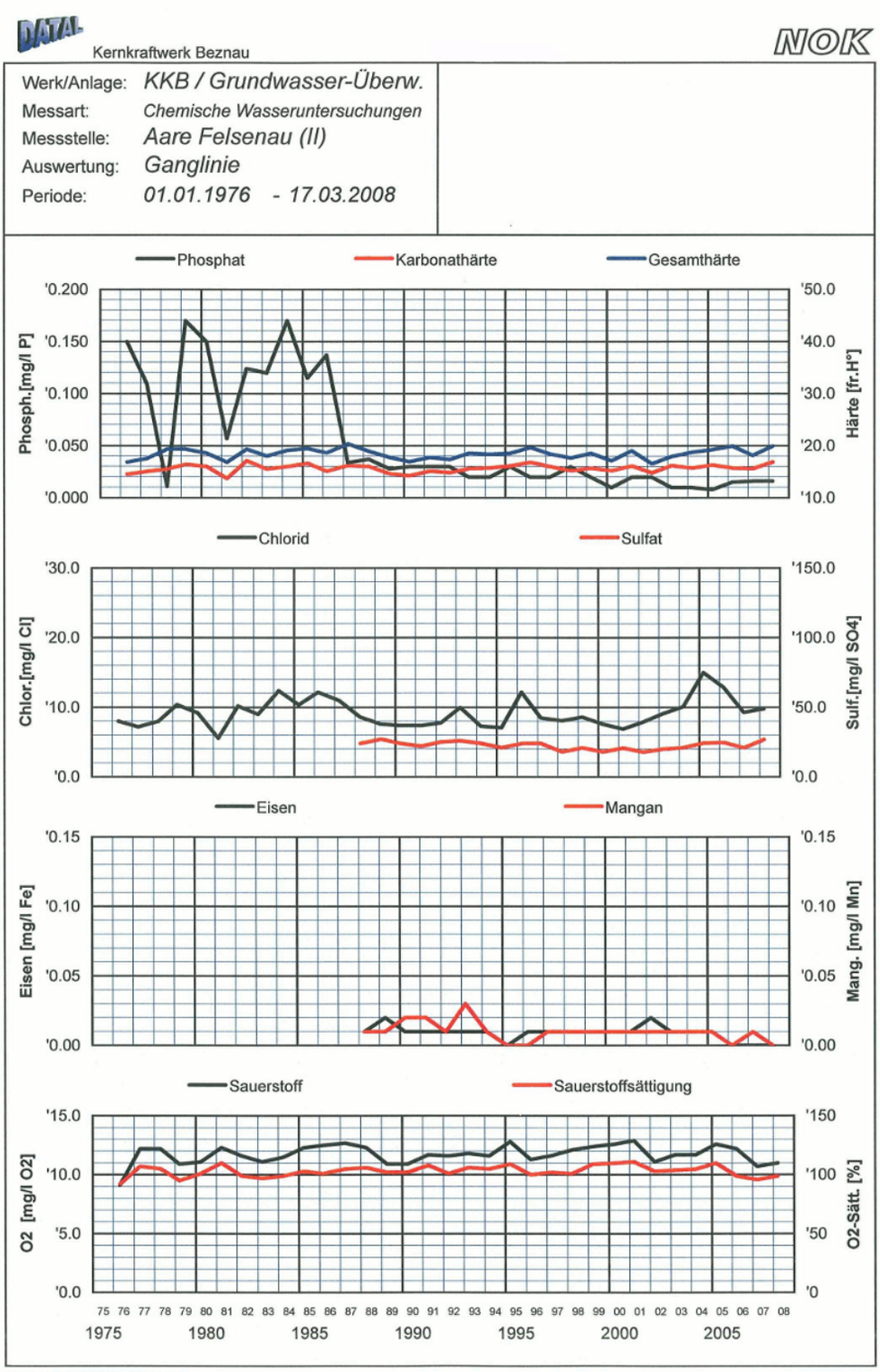


Abbildung 3.6-8: Chemische Beschaffenheit des Aarewassers bei Felsenau, Teil 2



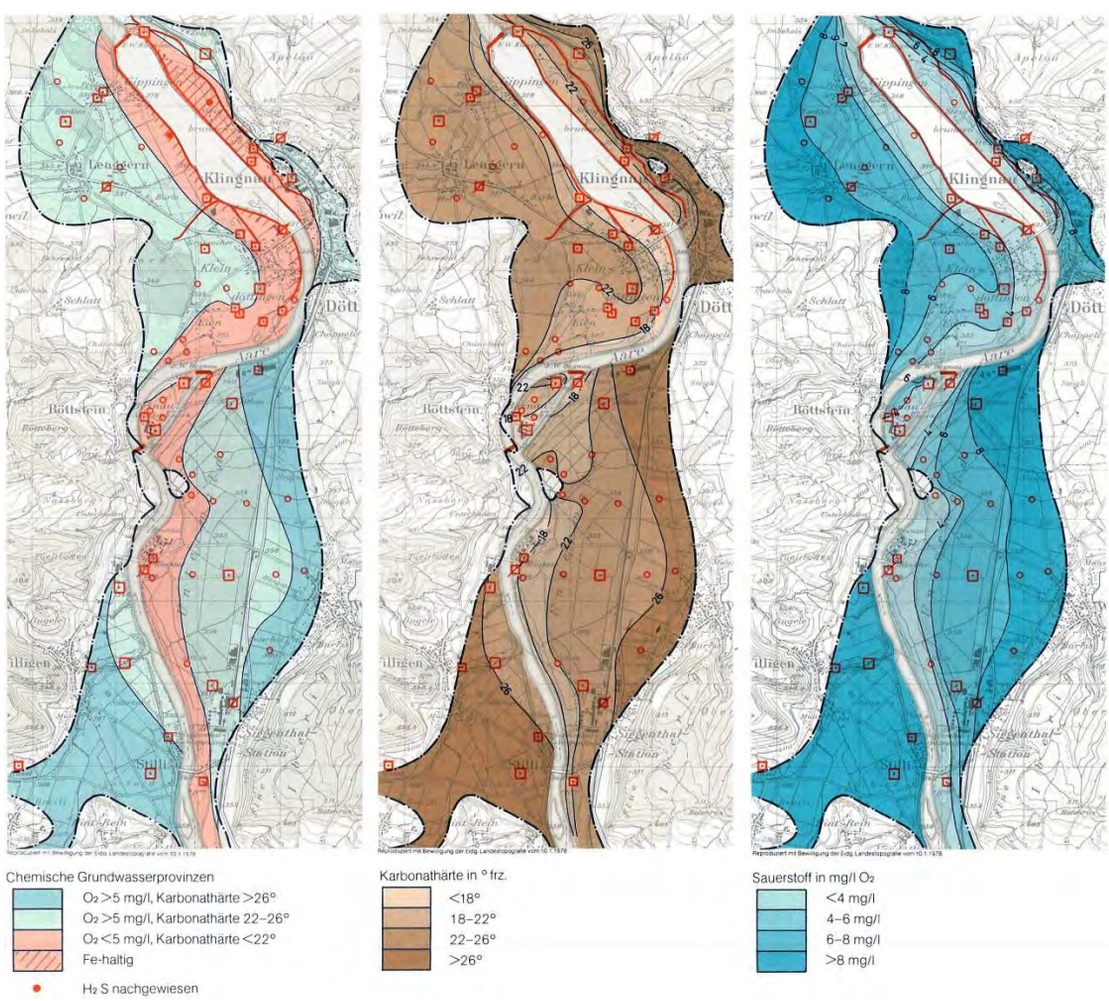
3.6.5.1.3 Grundwasserqualität

Im Grundwasser des Unteren Aaretals lassen sich als Folge der Vermischung von weichem Infiltrationswasser aus der Aare mit hartem Grundwasser drei unterschiedliche Provinzen unterscheiden:

- Im Gebiet entlang dem rechten Talhang von Würenlingen bis Döttingen ist das Grundwasser *sauerstoffreich* und von *hoher Härte*.
- Im Würenlinger und Döttinger Unterwald, im Gebiet von Böttstein über Leuggern bis Gippingen sowie von Döttingen über Klingnau bis Koblenz ist *sauerstoffreiches* Grundwasser *mittlerer Härte* verbreitet.
- In Aarenähe, rechtsufrig von Siggenthal bis zur Beznau-Insel sowie von Döttingen über Klingnau bis zum Kraftwerk Klingnau und linksufrig von Eien über Kleindöttingen (Dorfteile von Böttstein) ebenfalls bis zum Kraftwerk Klingnau herrscht ein *sauerstoffarmes*, *weiches Wasser* vor.

Die entsprechenden Verhältnisse sind in den Situationsplänen der Abbildung 3.6-9 dargestellt.

Abbildung 3.6-9: Chemische Provinzen, Karbonathärte und Sauerstoffgehalt



Zur Visualisierung ausgewählter chemischer Parameter und der Entwicklung seit Betriebsaufnahme des KKW dienen die Ganglinienpläne der Abbildungen in Kapitel 3.6.11. Diese dokumentieren einerseits die am nächsten beim Projektareal gelegenen Trinkwasserpumpwerke Unterwald (11.16) und Beim Schulhaus (11.08) sowie die Brauchwasserfassung auf der Beznau-Insel selbst (11.22) und die nahe bei der Aare in Kleindöttingen gelegene Fassung 1001 (vgl. Abbildung 3.6-13).

Als einzige gesicherte Veränderung fällt im Grundwasser analog zum Flusswasser ebenfalls der Rückgang beim $KMnO_4$-Verbrauch auf. Alle Messpunkte liegen im Infiltrationsbereich der Aare, womit der Rückgang auf eine allmähliche Verbesserung der Aarewasserqualität und damit des Infiltrationswassers zurückzuführen ist. Die Veränderungen stehen in keinem Zusammenhang mit dem Betrieb des Kernkraftwerks.

Die übrigen Parameter sind durch relativ geringfügige Schwankungen charakterisiert. Auffällig ist einzig eine tendenzielle Zunahme der Temperaturwerte im Verlauf der jüngeren Vergangenheit (vgl. Kapitel 3.6.5.2). An einzelnen Messstellen zeigte sich eine leichte Zunahme der Sauerstoffwerte.

Die übrigen untersuchten Parameter lagen innerhalb des normalen Erfahrungsbereichs von unbelasteten mittelländischen Grundwässern und erfüllten die Anforderungen an Trinkwasser ohne Einschränkungen.

Im Grundwasservorkommen des Unteren Aaretals ist unterhalb von Würenlingen seit 1986 eine Grundwasserverunreinigung bekannt, welche von der Deponie Bärengraben ausgeht.

Im Wesentlichen handelt es sich um eine Belastung des Grundwassers mit gelösten anorganischen Komponenten (Chlorid, Nitrat und Sulfat). In den meisten Bohrungen sind zurzeit praktisch keine Anzeichen der entsprechenden Belastung mehr nachzuweisen.

In den 1990er Jahren wurde im Grundwasser unterhalb von Würenlingen vorübergehend eine Chrombelastung festgestellt, deren Ursache sicher nicht im Bärengraben lag und die in der Zwischenzeit nicht mehr zu beobachten ist.

In Abbildung 3.6-10 und Abbildung 3.6-11 ist die chemische Beschaffenheit des Grundwassers im Pumpwerk Beznau dargestellt. Die entsprechenden Daten für die anderen Grundwasserfassungen sind unter Kapitel 3.6.11 zu finden.

Abbildung 3.6-10: Chemische Beschaffenheit des Grundwassers im Pumpwerk Beznau, Teil 1

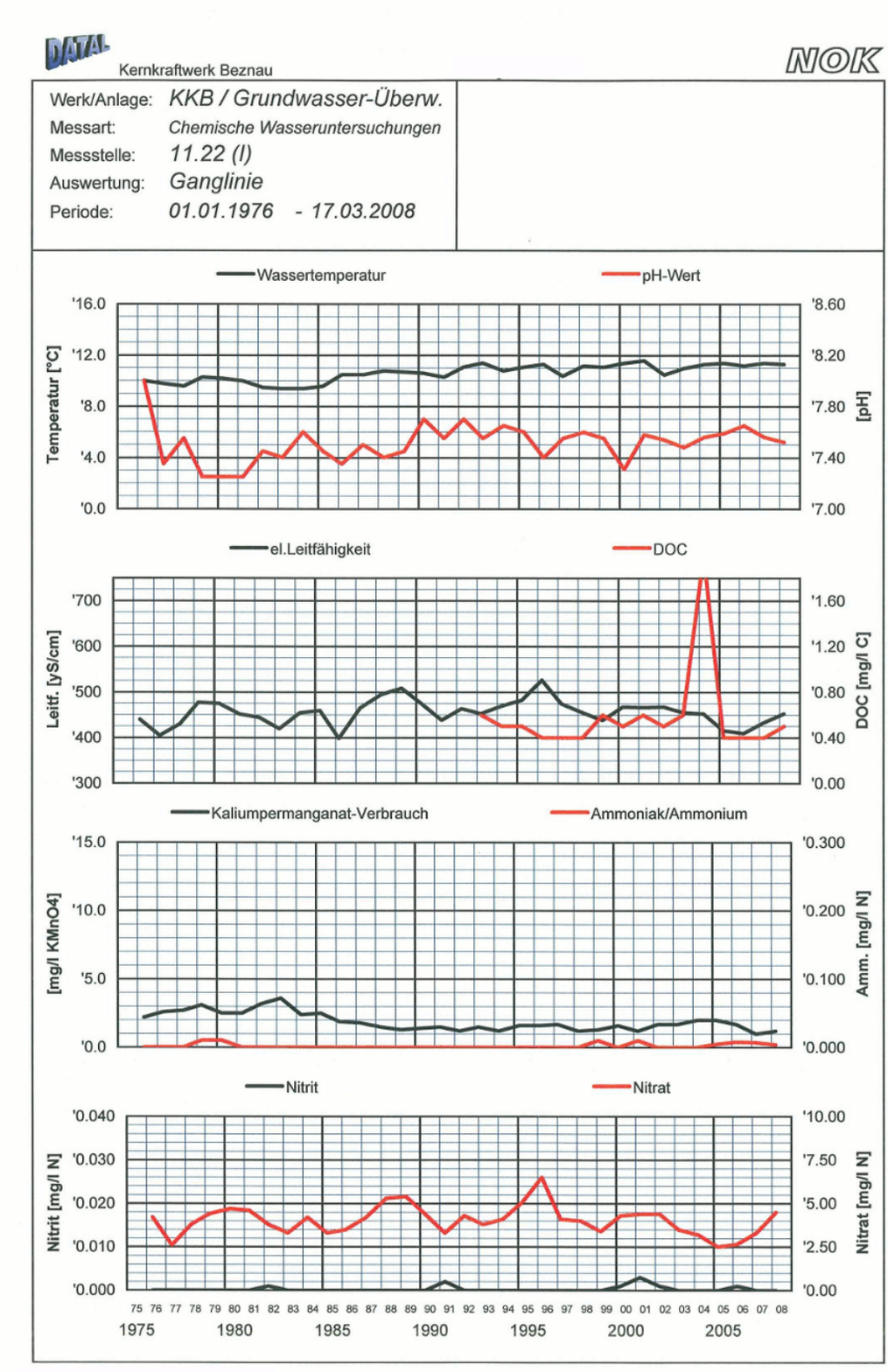
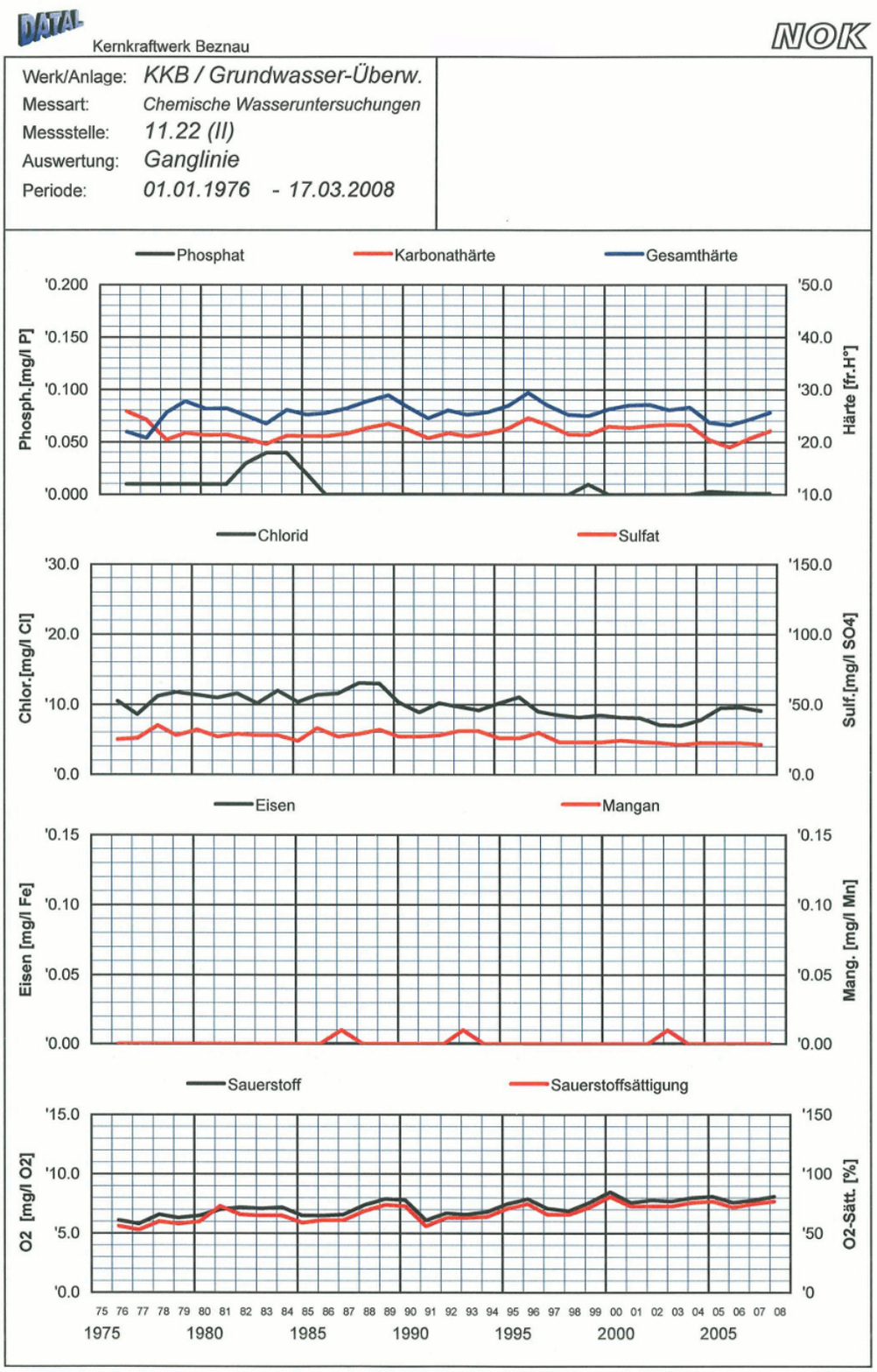


Abbildung 3.6-11: Chemische Beschaffenheit des Grundwassers im Pumpwerk Beznau, Teil 2



3.6.5.2 Thermische Eigenschaften

3.6.5.2.1 Einleitung

Die Temperatur des Grundwassers ist ein wichtiger Qualitätsindikator. Grund dafür ist der Umstand, dass eine Temperaturerhöhung eine Senkung der Sauerstoffsättigung und eine raschere Abbaugeschwindigkeit organischer Verunreinigungen im Grundwasser zur Folge hat.

Dieser Effekt führt zu einem grösseren Sauerstoffbedarf und zu einer Reduktion des Selbstreinigungsvermögens. Demzufolge sind nennenswerte künstliche Temperaturerhöhungen im Grundwasser als Qualitätsverminderung zu beurteilen und damit unerwünscht. Die Temperatur des Grundwassers kann auch einen Parameter bei der Auslegung von sicherheitsrelevanten Kühlsystemen (z.B. Notstandssystem) darstellen.

Die Turbinenkondensatoren der in Betrieb stehenden Anlagen KKB 1 und 2 werden direkt durch Flusswasser gekühlt. Die Rückgabe des erwärmten Kühlwassers in die Aare über die beiden Kühlwasserausläufe am rechten Ufer erfolgt mit einer um 9-10 °C erhöhten Temperatur und bildet im Fluss eine Warmwasserfahne. Zur Überwachung und Dokumentation von allfälligen Auswirkungen werden seit Betriebsaufnahme des Kernkraftwerks Beznau Temperaturmessungen des Aarewassers und des Grundwassers im weiteren Umfeld des KKW durchgeführt.

Die Messungen werden bis heute nach einem letztmals per Anfang 1983 angepassten Programm im 1-Monats-Rhythmus vorgenommen und jährlich ausgewertet. Sie umfassen insgesamt 4 Flusswassermessstellen, 11 Grundwasserfassungen und 6 speziell eingerichtete Messrohre (Abbildungen in Kapitel 3.6.12).

3.6.5.2.2 Aarewassertemperatur

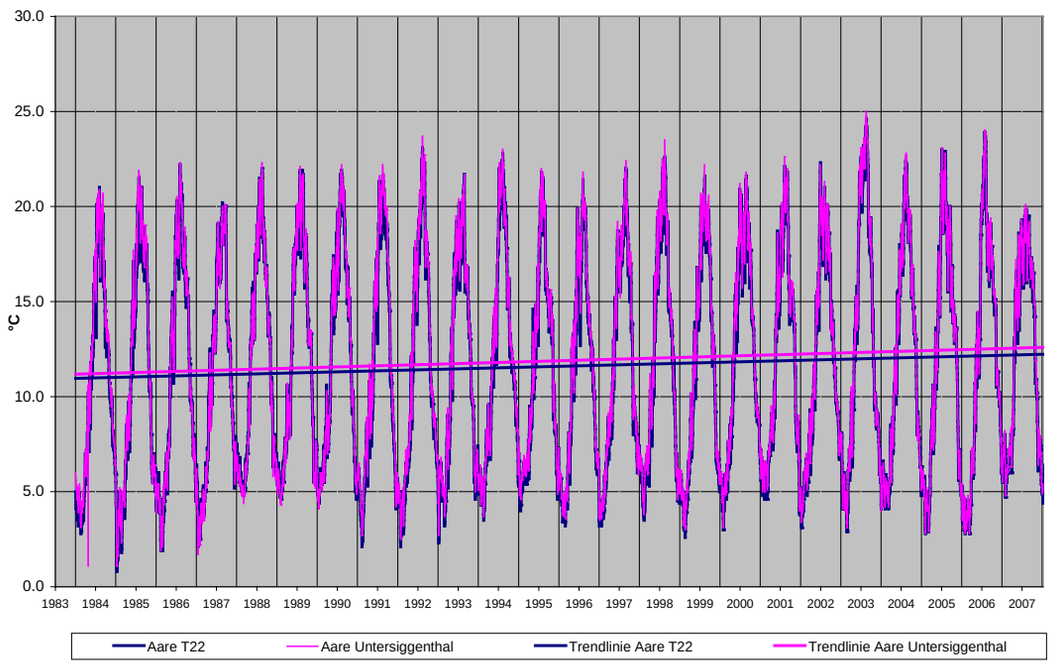
Die Temperatur der Aare beeinflusst durch Infiltration die Grundwassertemperatur. Deshalb ist die Flusswassertemperatur sowohl stromaufwärts wie auch stromabwärts von Relevanz.

Zur Charakterisierung der Aarewassertemperaturen dienen die vier Pegel T3, T4, T7 und T22 (Abbildung 3.6-13). Letzterer liegt im Oberwasserkanal und dokumentiert damit ein durch das KKB mit Sicherheit nicht beeinflusstes Aarewasser. Der Pegel T4 befindet sich rechtsufrig zwischen den Kühlwasserausläufen und dem hydraulischen Kraftwerk und damit voll in der erwärmten Abströmfahne.

Die Aarewassertemperaturen im Zuströmbereich des KKB liegen zwischen ca. 1 und ca. 25 °C, d.h. sie sind starken jahreszeitlichen Schwankungen von mehr als 20 °C unterworfen. Das Jahresmittel seit 1984 beträgt 11.6 °C. Im Verlauf der ca. 30-jährigen Messperiode seit 1976 ist in der unbeeinflussten Messstelle T22 eine kontinuierliche Zunahme der Flusswassertemperatur um ca. 2 °C zu beobachten.

Als Vergleich dazu kann die rund 3.7 km oberhalb der Insel Beznau platzierte und damit durch die Aktivitäten des KKB sicher nicht beeinflusste "Aarepegel Untersiggenthal" beigezogen werden. Diese Messstelle zeigt sowohl bezüglich des kurz- und langfristigen Verlaufs als auch bezüglich der Amplitude einen identischen Verlauf wie der Pegel T22 (vgl. Abbildung 3.6-12). Entsprechend verläuft auch die Trendlinie der Messperiode parallel und dokumentiert seit 1984 ebenfalls eine Zunahme der Temperatur um gegen 2 °C.

Abbildung 3.6-12: Ganglinien der Temperatur in den Aaremessstellen T 22 und Untersiggenthal, 1984-2007



Im Abströmbereich des KKB liegen die Temperaturen als Folge der Kühlwassereinleitung rund 9-10 °C höher, d.h. in der Messstelle T4 werden mittlere Temperaturen zwischen ca. 20-21 °C registriert. Die Amplituden der jahreszeitlichen Schwankungen sind ungefähr identisch mit jenen im Oberwasser. Auch bei dieser Messstelle ist seit Mitte der 1990er Jahre ein leichter Temperaturanstieg zu verzeichnen.

Mit dem Ziel, eine bessere vertikale und horizontale Vermischung des Kühlwassers mit dem Flusswasser zu erreichen, wurden im Jahr 2000 im Bereich der Kühlwasserrückläufe des KKB in der Aare so genannte Buhnen eingebaut. Die Auswirkungen der betreffenden Massnahmen wurden nicht im Detail untersucht. Die Temperaturunterschiede im Flusswasser unterhalb der Einleitstellen des Kühlwassers dürften aber seither weniger ausgeprägt und dadurch auch deren Auswirkungen auf das Grundwasser tendenziell etwas geringer sein.

Das EKKB mit seinem geschlossenen Hauptkühlwasserkreislauf mit Kühlturm wird sowohl die Flusswassertemperatur als auch die Grundwassertemperatur weniger beeinflussen als das KKB.

Eine Erhöhung der Flusswassertemperatur unterhalb des EKKB ist nicht sicherheitsrelevant, wird aber im Umweltverträglichkeitsbericht behandelt. Mögliche Erhöhungen der Grundwassertemperatur am Standort bzw. oberhalb der Insel könnten die Auslegung von mit Grundwasser versorgten Kühlsystemen beeinflussen. Dies wird im Rahmen des Baubewilligungsgesuchs behandelt werden.

3.6.5.2.3 Grundwassertemperatur

Die Grundwassertemperaturen werden in allen wichtigen Grundwasserfassungen sowie in speziell eingerichteten Messstellen erfasst, die so ausgelegt sind, dass sie neben der Temperaturmessung auch eine Dokumentation der Grundwasserspiegellage und Probenahmen zulassen. Für die Temperaturerfassung sind bis zu 11 sog. Thermosonden vom Typus Huggenberger eingebaut, welche eine tiefenorientierte Messung der Werte erlauben. Die nachstehend diskutierten Messstellen sind wie folgt instrumentiert:

- 518: OK Terrain ca. 327 m ü.M., mittlerer Grundwasserspiegel ca. 320.5 m ü.M. Einbautiefe Fühler 320.1 und 318.8 m ü.M.
- 553T: OK Terrain ca. 325.8 m ü.M., mittlerer Grundwasserspiegel ca. 319.0 m ü.M. Einbautiefe Fühler 312.0, 310.5, und 309.0 m ü.M.
- 555H: OK Terrain ca. 322.5 m ü.M., mittlerer Grundwasserspiegel ca. 318.2 m ü.M. Einbautiefe Fühler 317.3, 316.3, 315.3, 313.8 und 312.3 m ü.M
- 558: OK Terrain ca. 325.65 m ü.M., mittlerer Grundwasserspiegel ca. 320.25 m ü.M. Einbautiefe Fühler 319.6, 318.1, 316.1, 313.8 und 312.1 m ü.M

In den Pumpwerken werden die Grundwassertemperaturen ebenfalls durch fest installierte Messsonden registriert.

Aufgrund der engen hydraulischen Verknüpfung zwischen dem Fluss- und dem Grundwasser paust sich die Aaretemperatur auf das Grundwasser durch und führt im Infiltrationsbereich entlang dem Fluss zu starken jahreszeitlichen Temperaturschwankungen. Der Einfluss der Flusswasserinfiltration erfolgt mit einer zeitlichen Verzögerung, welche in den nahe bei der Aare gelegenen Messstellen ein bis zwei Monate, landeinwärts bis zu einem halben Jahr beträgt. Diese Effekte sind in Abbildung 3.6-14 illustriert. Aufgrund dieser sich überlagernden Effekte treten im Grundwasser zwei unterschiedliche Temperaturfelder auf:

- Zum einen ist ein praktisch isothermes Gebiet entwickelt, welches durch grosse Verzögerungen gegenüber dem Fluss und geringe Temperaturschwankungen charakterisiert ist. Dieses Gebiet umfasst den rechts der Aare gelegenen östlichen Unterwald und links der Aare das Gebiet von Eien und Leuggern.
- Zum andern existiert ein Gebiet mit geringer Verzögerung und hohen Temperaturamplituden. Dieses erstreckt sich über die Insel Beznau selbst, den flussnahen östlichen Unterwald entlang des rechten Aareufers und das ufernahe Gebiet im Bereich des linken Aareufers zwischen Böttstein und Kleindöttingen.

Konkret bedeutet die Rückgabe des erwärmten Kühlwassers bei Volllast des KKB 1 und 2 einen Eintrag von bis zu 40 m^3/s Wasser, welches 9-10 °C wärmer ist als das Flusswasser. Dies führt unterhalb der Einleitstelle zu einer Warmwasserfahne, welche sich im Bereich der Beznau-Insel zunächst entlang dem rechten Aareufer bewegt. Unterhalb des hydraulischen Kraftwerkes wird die besagte Fahne durch den Zustrom des turbinierten Kaltwassers entlang dem rechten Ufer gegen das linke Ufer abgedrängt.

Auf der Beznau-Insel, in der unmittelbaren Umgebung der Kühlwasserausläufe des KKB (Messstellen 518, 803), war nach Betriebsaufnahme im Grundwasser eine Temperaturerwärmung zu erkennen, welche zwischen 1970 und 1976 1-4 °C erreichte. Diese Erwärmung wurde durch die Wärmeleitung über den Beton der Kühlkanäle, Leitungen und Fundamente verursacht, die ins Grundwasser eintauchen. Seit 1976 stellte sich ein weitgehender Gleichgewichtszustand ein. Ab ca. 1985/86 begann sich eine minimale weitere Erwärmung abzuzeichnen, wie sie auch in der unbeeinflussten Aare registriert wird (Pegel T22). Der etwas weiter vom Kernkraftwerk entfernte Messpunkt 552 dokumentiert bis 1976 einen leichten Temperaturanstieg, bevor sich ebenfalls eine Stabilisierung eingestellt hat. Als unbeeinflusst erwies sich der obstrom des Kernkraftwerks platzierte Messpunkt 558.

Die auf der *linken* Seite der Aare am nächsten beim Kraftwerk angeordneten Messstellen 553 und 555 wiesen nach Betriebsaufnahme einen Anstieg von rund 0.5 °C auf. Dieser Effekt entspricht ungefähr der mittleren Erhöhung der Flusswassertemperatur durch das KKB. Noch etwas deutlicher, mit Temperaturanstiegen von 1-1.5 °C, reagierte die ebenfalls linksufrige Grundwasserfassung Beim Schulhaus in Kleindöttingen (Konz.-Nr. 11.8) und zeigte bis in die 1980er Jahre eine Erwärmung von ca. 0.5 °C und gegen Ende der 1990er Jahre eine weitere Temperaturzunahme von rund 1 °C. Seither ist der Temperaturverlauf ungefähr stabil. Die Trinkwasserfassung Herdlen, Leuggern (Konz.-Nr. 11.29) und das ehemalige Pumpwerk Gippingen auf der linksufrigen Seite der Aare wiesen in der zweiten Hälfte der 1980er Jahre sowie gegen Ende der 1990er Jahre ebenfalls leicht steigende Temperaturen auf. Seit ca. dem Jahr 2000 sind die Temperaturen dieser Messstelle tendenziell eher rückläufig mit einem relativen Tiefstand im ausgesprochen trockenen Jahr 2003.

Auf der linken Seite der Aare konnte somit zwar eine leichte Beeinflussung der Grundwassertemperatur durch die Aktivitäten des Kernkraftwerks Beznau registriert werden. Diese beschränkten sich jedoch zur Hauptsache auf den Ufersaum im Nahbereich des Flusses. Die grössten Temperaturanstiege wurden in relativ grosser Distanz vom KKB, im rund 2 km entfernten Dorfgebiet von Kleindöttingen, gemessen.

Abbildung 3.6-13: Situation mit Lage der Temperaturmessstellen im Umfeld des KKB

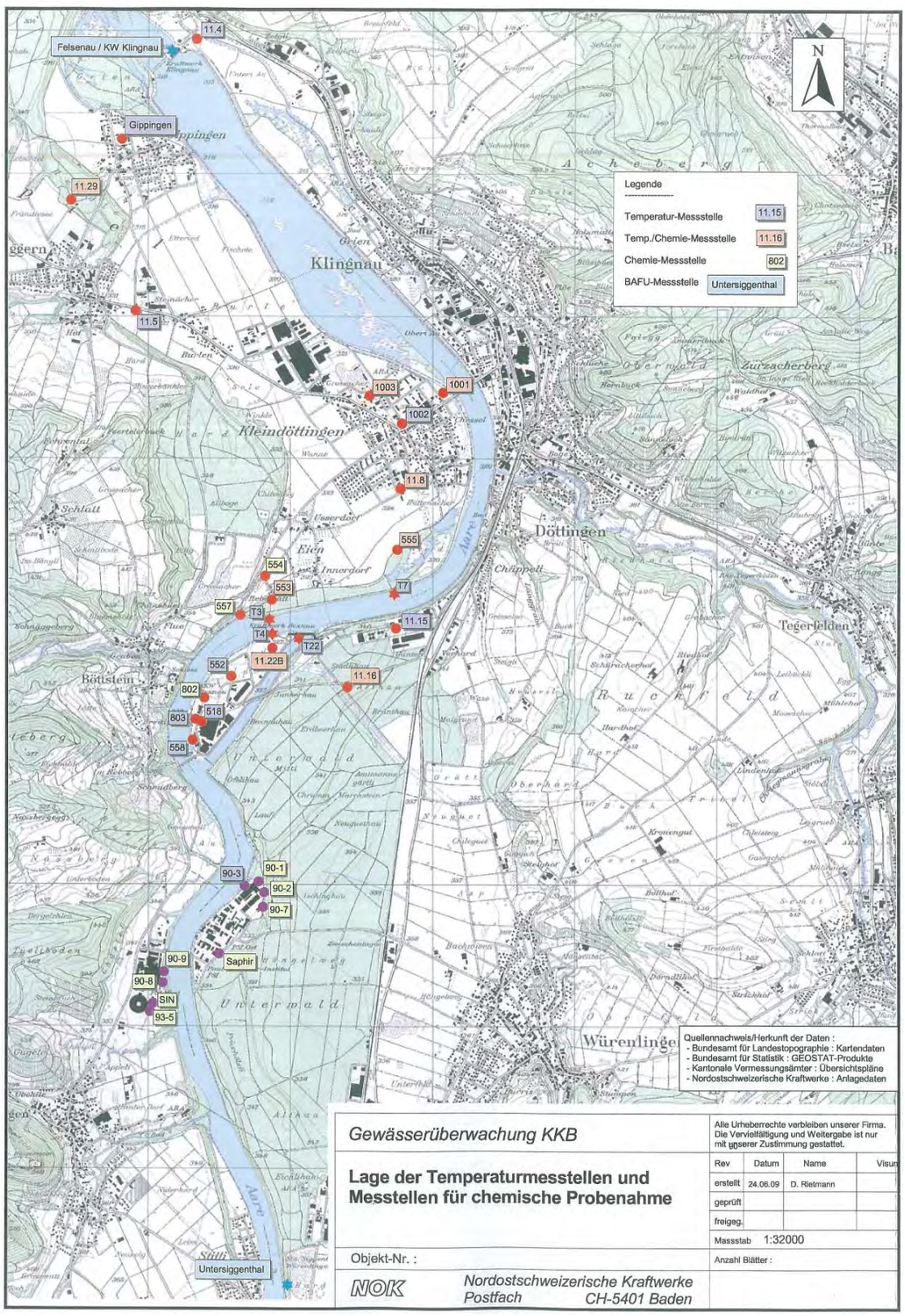


Abbildung 3.6-14: Angaben zu den Temperaturamplituden und zur Temperaturverzögerung

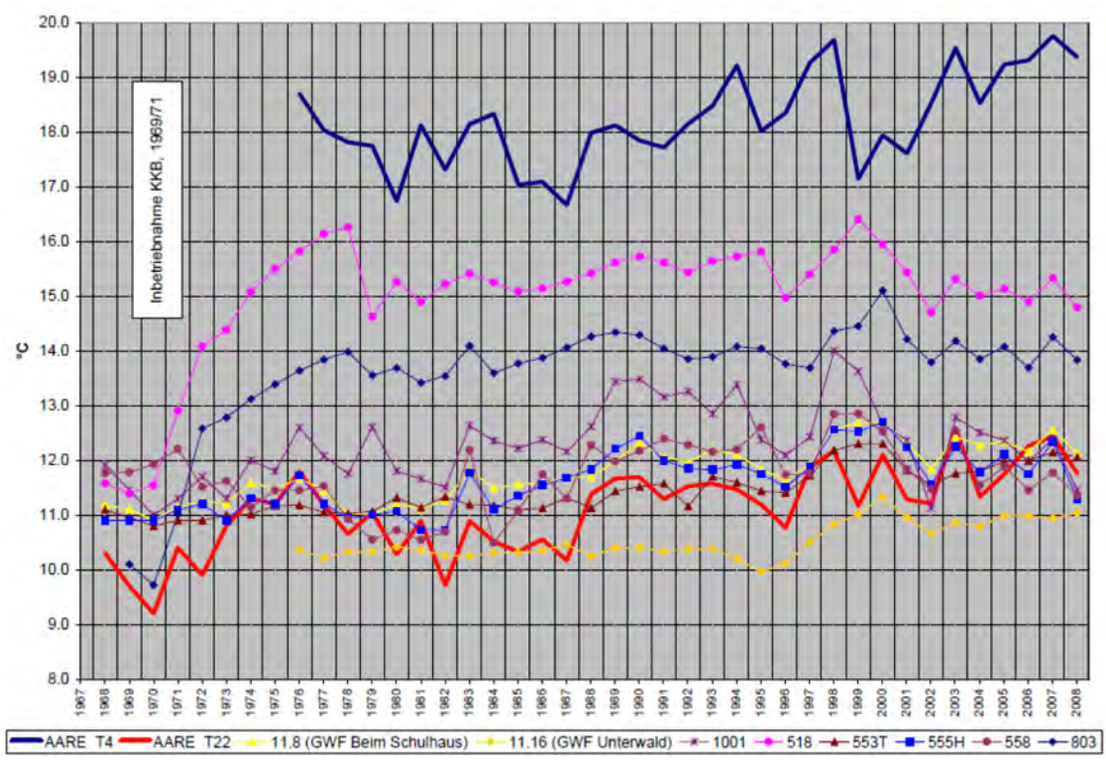


Bei den wenigen *rechts* der Aare liegenden Messstellen war nach Betriebsaufnahme des KKB kein Anstieg der Grundwassertemperatur zu registrieren, welcher auf die Aktivitäten des Kernkraftwerkes zurückzuführen gewesen wäre. Dagegen zeigte sich ab Mitte der 1980er Jahre ein leichtes Ansteigen der Temperaturen, das insbesondere auch in den im Zuströmbereich und damit ausserhalb des möglichen Einflussgebiets des Kernkraftwerks platzierten

Grundwasserfassungen Unterwald (Konz.-Nr. 11.16) zu beobachten war. Diese Betrachtung bestätigt den bereits erwähnten Klimaeffekt, welcher sich in der jüngeren Vergangenheit eindeutig auf das Grundwasser im Unteren Aaretal durchgepaust hat.

Zum Vergleich der Temperaturverläufe sind die Ganglinien aller vorgängig diskutierten Aare- und Grundwassermessstellen in Abbildung 3.6-15 dargestellt. Auffälligste Merkmale sind die allgemein höheren Werte bei der in der Temperatur-Abströmfahne der Warmwassereinleitung platzierten Flussmessstelle T4 und der Anstieg nach Betriebsaufnahme in den im Nahbereich der Kühlwasserausläufe gelegenen Messstellen 518 und 803.

Abbildung 3.6-15: Ganglinien der Fluss- und Grundwassertemperatur in ausgewählten Messstellen 1968-2007



Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass nur auf der Beznau-Insel selbst, in unmittelbarer Nähe der Kühlwasserausläufe des KKB, in den ersten Jahren nach Betriebsaufnahme eine nennenswerte Erwärmung des Grundwassers im Umfang von 1-4 °C auftrat. Diese Erwärmung wurde durch die Wärmeleitung über den Beton der Kühlkanäle, Leitungen und Fundamente verursacht, die ins Grundwasser eintauchen. In der schmalen linken Uferzone südlich Eien bis Kleindöttingen war hingegen nur eine leichte Erwärmung um max. ca. 0.5 °C feststellbar.

Allerdings ist die Warmwasserfahne entlang dem linken Aareufer nur bei Niederwasser im Fluss zu erkennen. Bei Hochwasser ist sie vom kalten Flusswasser überdeckt. Die Infiltration von Flusswasser ins Grundwasser ist bei Niederwasser nur bescheiden. Bei Hochwasser mit entsprechend grossen Infiltrationsraten tritt eine Durchmischung des Flusswassers auf, was nur zu einer vergleichsweise geringen Wärmeeintragung ins Grundwasser führt. Aufgrund dieser Konstellation sind die Auswirkungen der Kühlwassereinleitung im wichtigen Grundwasser-

Nutzungsgebiet entlang dem linken Aareufer zwischen Eien über Kleindöttingen bis Leuggern gering. Insbesondere zeigen die zu Trinkwasserzwecken genutzten Pumpwerke im gesamten Unteren Aaretal keinerlei Temperaturveränderungen, welche mit dem Betrieb des KKB im Zusammenhang stehen könnten.

Als spezielles Merkmal ist noch zu erwähnen, dass in verschiedenen Messstellen eine vertikale Temperaturschichtung zu beobachten ist, welche dazu führt, dass sich im Winter eine so genannte inverse Schichtung einstellt, indem sich das kältere, spezifisch schwerere Wasser über das wärmere, spezifisch leichtere Wasser schichtet.

3.6.6 Mögliche Auswirkungen eines EKKB auf das Grundwasser

Nachstehend werden die wichtigsten möglichen Auswirkungen durch das Projekt EKKB auf das Grundwasser aufgezeigt und diskutiert.

3.6.6.1 Auswirkungen durch die künftige Grundwassernutzung

3.6.6.1.1 Kühl-, Trink- und Brauchwasser (nicht sicherheitsrelevant)

Je nach gewählter Anlageauslegung wird das Projekt EKKB im Normalbetrieb einen zusätzlichen Bedarf an Wasser für die Nachspeisung von mit Kühlzellen ausgerüsteten geschlossenen Nebenkühlwasserkreisläufen haben. Die Nachspeisung dient der Kompensation der Verdünstungsverluste und der Aufrechthaltung der geforderten Wasserchemie. Die benötigten Gesamtkühlwassermengen sind abhängig vom Reaktortyp und vom Kühlsystem. Die Wassermengen liegen je nach Anlagetyp zwischen ca. 150 und 400 l/s. Dieser Bedarf wird voraussichtlich mit Flusswasser abgedeckt. Falls Systeme mit Kühlzellen verwendet werden besteht eventuell ein Bedarf nach einer geringeren Menge Grundwasser zur Nachspeisung der Verdunstungsverluste. Daneben wird für den Betrieb, d.h. zur Deckung des Trinkwasserbedarfs sowie für die Nachspeisung von Löschwasserreservoirs, zusätzlich Grundwasser in noch nicht festgelegter Menge benötigt.

Die Dimensionen der Löschwasserrervoirs und der Bedarf an Nachspeisemengen im Brandfall bzw. bei anderen Anlagezuständen (wie z.B. Systemtests, Übungen) werden im Rahmen des Baubewilligungsgesuchs festgelegt. Dies gilt auch für andere Verbraucher wie Trink- und Brauchwasserversorgung.

Während der Bauphase für das Projekt EKKB ist als Folge der intensiven Aktivitäten auf der Baustelle und der damit verbundenen Lagerung und Verwendung von grundwassergefährdenden Stoffen eine gewisse Gefährdung des Grundwassers in qualitativer Hinsicht zu erwarten. Quantitative Beeinträchtigungen dagegen können weitgehend ausgeschlossen werden bzw. beschränken sich auf kurze Phasen mit vorübergehenden lokalen Veränderungen der Strömungsverhältnisse im unmittelbaren Nahbereich der Baustelle.

In der Betriebsphase sind gemäss heutigem Projektierungsstand keine nennenswerten qualitativen oder quantitativen Auswirkungen auf das Grundwasser zu erwarten. Eine Ausnahme stellen möglicherweise Temperaturänderungen als Folge der Einleitung von Kühlwasser in die Aare dar, welche sich auf das Grundwasser durchzupausen vermögen. Diese überlagern sich mit der als Folge der postulierten Klimaerwärmung verursachten Temperaturerhöhung sowohl im Fluss- als auch im Grundwasser. Gemäss aktuellen Prognosen des Bundesamtes für Meteorologie

und Klimatologie MeteoSchweiz, Zürich, muss in der Schweiz bei den Lufttemperaturen bis 2050 mit einer Erwärmung von ca. 2 °C im Winter bzw. ca. 2.5 °C im Sommer gerechnet werden. Bis 2070 kann diese Erhöhung bis zu ca. 4.7 °C betragen. Diese erhöhten Temperaturen werden sich auch auf die Oberflächengewässer und von dort ins Grundwasser durchpausen. Es muss somit im Grundwasser längerfristig mit Temperaturerhöhungen ähnlicher Grössenordnung wie in der Luft gerechnet werden.

3.6.6.1.2 Sicherheitsrelevante Kühlwasser

Für die Kühlung der Sicherheitssysteme des EKKB wird voraussichtlich Grundwasser für die Nachspeisung von Verdunstungsverlusten aus geschlossenen Kühlkreisläufen benötigt. Die Mengen liegen hier in der Grössenordnung von 50 l/s für jeden Sicherheitsstrang. Diese Mengen werden erst bei der Anlagenauslegung im Rahmen des Gesuchs zur Baubewilligung festgelegt.

Abhängig von der Anlagenauslegung und von den behördlichen Anforderungen wird auch Grundwasser für die Kühlung der Notstandssysteme unter Umständen notwendig. Die definitiven Mengen werden auch erst beim Gesuch zur Baubewilligung festgelegt. Dieser Bedarf wird zusätzlich zum Notstandskühlwasserbedarf für das bestehende KKB 1 und 2 von 200 l/s Grundwasser betrachtet.

Mit Hilfe eines kalibrierten Strömungsmodells wurde ein Prognoseszenario mit einer Grundwasserentnahme von 200 l/s aus dem bestehenden Notstandsbrunnen und zusätzlich 300 l/s aus einem neuen Horizontalfilterbrunnen beim geplanten EKKB berechnet. Gestützt auf die ausgeführten Modellrechnungen sollte eine Notversorgung der sicherheitsrelevanten Kühlsysteme mit dem vorhandenen Grundwasser während einer Dauer von bis zu 30 Tagen ohne Probleme und ohne Beeinträchtigung der nahe gelegenen kommunalen Grundwasserfassungen möglich sein.

Zur Abschätzung des verfügbaren Grundwasserdargebotes für die entsprechende Nutzung wurde eine Modellrechnung durchgeführt. Deren Methodik und Ergebnisse sind in Kapitel 3.6.7 dargestellt. Entsprechend den Ergebnissen der Modellrechnungen sind die bestehenden KKB-Notstandsbrunnen und ein zusätzlicher Notstandsbrunnen für EKKB in der Lage, eine Leistung von 200 resp. 300 l/s über eine Zeitdauer von 30 Tagen zu erbringen. Die Parameter 300 l/s für 30 Tage wurden lediglich zur Beurteilung der Grundwasserergiebigkeit gewählt und sind nicht als Auslegungsparameter zu verstehen. Die Bedarfsmenge stützt sich auf den Grundwasserbedarf für das Notstandsystem im Kernkraftwerk Leibstadt. Eine Dauer von 30 Tagen ist konservativ und dient zur Verifizierung der Ergiebigkeit bei Dauerbezug.

Der Grundwasserspiegel im bestehenden KKB-Notstandsbrunnen würde bei einem entsprechenden Notbezug um 5.5 m abgesenkt. Im postulierten EKKB-Filterbrunnen sollte eine Absenkung von 5.4 m resultieren (vgl. Kapitel 3.6.7). Die Modellrechnung zeigt auch, dass die erforderlichen Förderraten auch bei Niederwasser in der Aare erbracht werden können.

Auch bei einem Wegfall der Stausperre wäre es gemäss Modellrechnung noch immer möglich, mit den beiden Filterbrunnen die für die Notstandskühlung notwendige Leistung von 300 l/s bzw. 200 l/s zu erbringen. Aufgrund der verstärkten Infiltration aus der Aare ist die simulierte Absenkung im Brunnen sogar rund 50 cm kleiner.

3.6.6.2 Auswirkungen durch die Verminderung der Grundwasser-Durchflusskapazität

Gemäss Gewässerschutzverordnung (SR 814.201) [6] Anhang 4, Abs. 4, Ziff. 211, GSchV) gilt, dass im Gewässerschutzbereich Au keine Anlagen erstellt werden dürfen, die unter den mittleren Grundwasserspiegel reichen. Die Behörde kann Ausnahmen bewilligen, soweit die Durchflusskapazität des Grundwassers gegenüber dem unbeeinflussten Zustand um höchstens 10% vermindert wird. Im Hinblick auf den geplanten Neubau des EKKB sind auch zur Beurteilung einer zusätzlichen Grundwassernutzung zugunsten der sicherheitsrelevanten Kühlsysteme Betrachtungen zum Einfluss der Bauten auf den Grundwasserdurchfluss notwendig. Bei der Berechnung der Ergiebigkeit wurden die bestehenden Anlagen und die Neubauten des EKKB modelliert.

3.6.6.2.1 Heutige Verhältnisse

Die bestehenden Kraftwerksbauten reichen teilweise tief unter den Grundwasserspiegel und schränken damit den Durchflussquerschnitt lokal künstlich ein. Im Bereich der beiden Reaktorgebäude, welche auf dem Felsuntergrund fundiert sind, ist der Grundwasserleiter praktisch vollständig verbaut, wenn auch nur auf einem vergleichsweise sehr geringen Teil des Durchflussquerschnittes (vgl. Abbildung 3.6-16).

Anhand von Profilkonstruktionen im Bereich der bestehenden und neuen Einbauten und unter Verwendung aller zwischenzeitlich verfügbaren hydrogeologischen Grundlagen wurden die Durchflusskapazitäten des Grundwasserleiters neu abgeschätzt. Dazu wurden die massgebenden Grundwasserstände (Mittelwasser) und die Informationen zu den bestehenden und zu den bei unterschiedlichen Varianten des EKKB geplanten künftigen Einbauten ins Grundwasser berücksichtigt.

Als Bemessungsgrundlage wurde der Durchflussquerschnitt des gesamten Grundwasserleiters verwendet, wie dies gemäss Wegleitung "Grundwasserschutz" und Praxis im Kanton Aargau üblich ist. Dieser hydraulische Nachweis soll aufzeigen, welche Varianten (ohne Ersatzmassnahmen) die Anforderungen für eine Ausnahmebewilligung zum Einbau ins Grundwasser gemäss Ziff. 211 Anhang 4 Gewässerschutzverordnung zu erfüllen vermögen.

Als repräsentative Querschnitte wurden je ein Profil senkrecht zur Grundwasserströmungsrichtung im Bereich des bestehenden Kernkraftwerks sowie am Standort des geplanten neuen Kraftwerks gewählt (vgl. Abbildung 3.6-16 und Abbildung 3.6-17).

Die vorhandene Informationsdichte ist dabei sehr inhomogen, indem auf der Beznau-Insel die Ergebnisse zahlreicher Sondierungen zur Verfügung stehen, während im Gebiet östlich des Oberwasserkanals vergleichsweise wenige Bohrdaten vorliegen.

Der Grundwasserleiter im westlichen Abschnitt besteht im oberen Teil aus gut durchlässigen Niederterrassen-Schottern, für welche bei den Durchflussberechnungen ein mittlerer Durchlässigkeitsbeiwert k von 4×10^{-3} m/s eingesetzt wurde. Für den aus Hochterrassen-Schottern bestehenden tieferen Teil wurde ein k-Wert von 1.5×10^{-3} m/s eingesetzt.

Für das Grundwasserspiegelgefälle wurde für den grössten Teil des Gebietes ein Wert von 2.5‰ angenommen, mit Ausnahme des südlichen Teils der Beznau-Insel (bestehendes KKB), wo das Gefälle ca. 4‰ beträgt.

Aus obigen Durchflussbetrachtungen resultieren für die beiden betrachteten Querschnitte (bestehendes KKB bzw. geplantes EKKB) Grundwasserdurchflussmengen für den heutigen Zustand von 0.19 resp. 0.21 m^3/s, entsprechend ca. 11'200 resp. 12'500 l/min (Tabelle 3.6-4). Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Abschätzungen zwar auf inzwischen weiter verbesserten Kenntnissen der Geometrie des Grundwasserleiters beruhen, dass aber die Annahmen bezüglich der K-Werte und Gefällsverhältnisse nach wie vor Vereinfachungen darstellen. Im Vergleich mit den früheren Abschätzungen zu den Grundwasserdurchflussmengen im Gebiet des Unteren Aaretales ergeben die neu ausgeführten Betrachtungen deutlich niedrigere Durchflussmengen. Bei den in den 1980-er Jahren vorgenommenen Abschätzungen resultierte für den Talquerschnitt bei der Beznau-Insel – gestützt auf den damaligem Kenntnisstand über die massgebenden hydrogeologischen Parameter – eine Durchflussmenge von ca. 17.6 m^3 pro Minute. Dieser Wert muss anhand der neuen Abschätzungen als eher zu hoch eingestuft werden.

Erste Abschätzungen zu den Grundwasserdurchflussmengen im Gebiet des Unteren Aaretales wurden bereits in den 1980er Jahren vorgenommen. Gemäss damaligem Kenntnisstand über die massgebenden hydrogeologischen Parameter wurde die Durchflussmenge im Talquerschnitt bei der Beznau-Insel zu ca. 17.6 m^3 pro Minute abgeschätzt. Dieser Wert muss anhand der zwischenzeitlich verfügbaren verfeinerten Grundlagen als zu hoch eingestuft werden.

.

Abbildung 3.6-16: Querprofil bestehender Gebäude

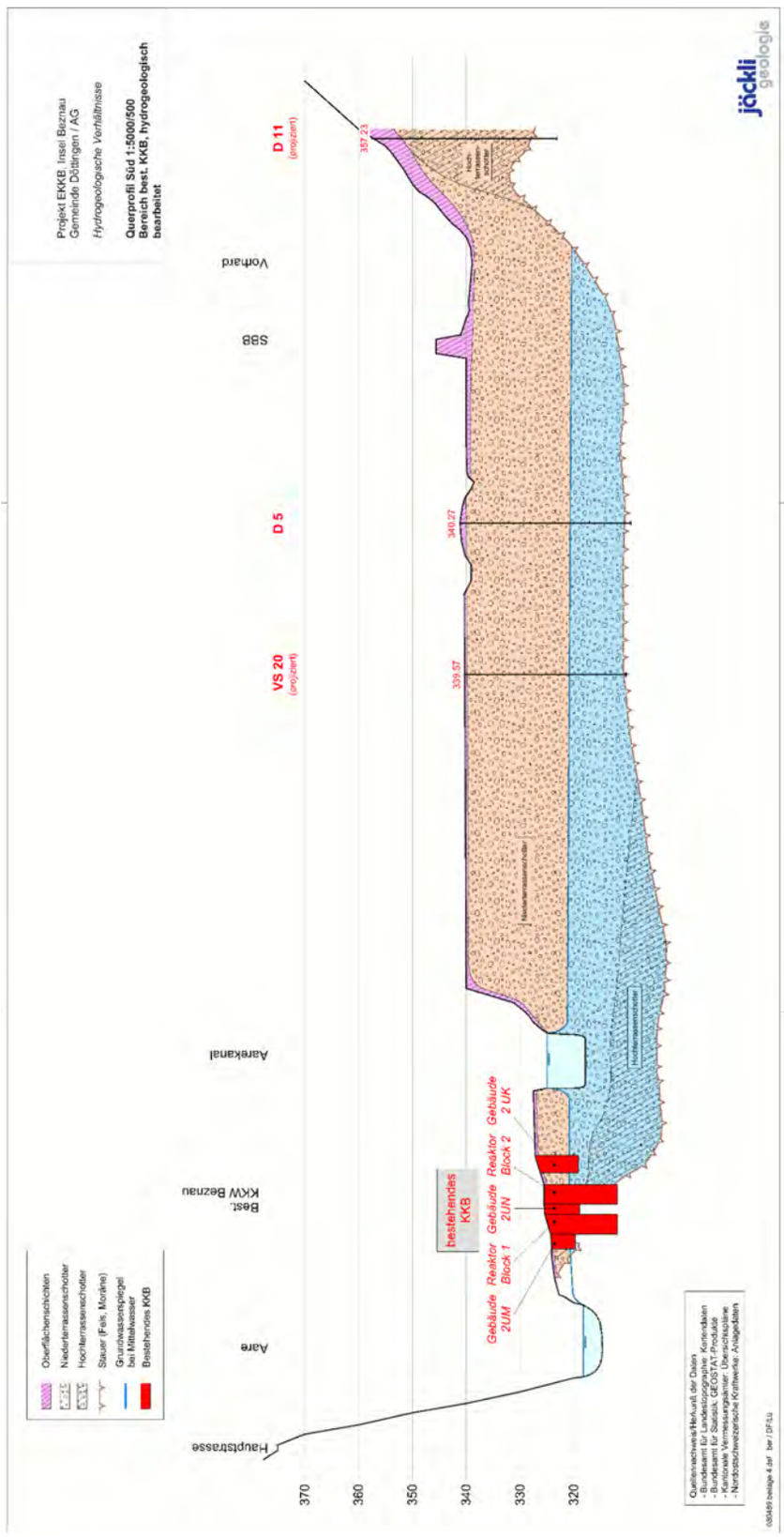
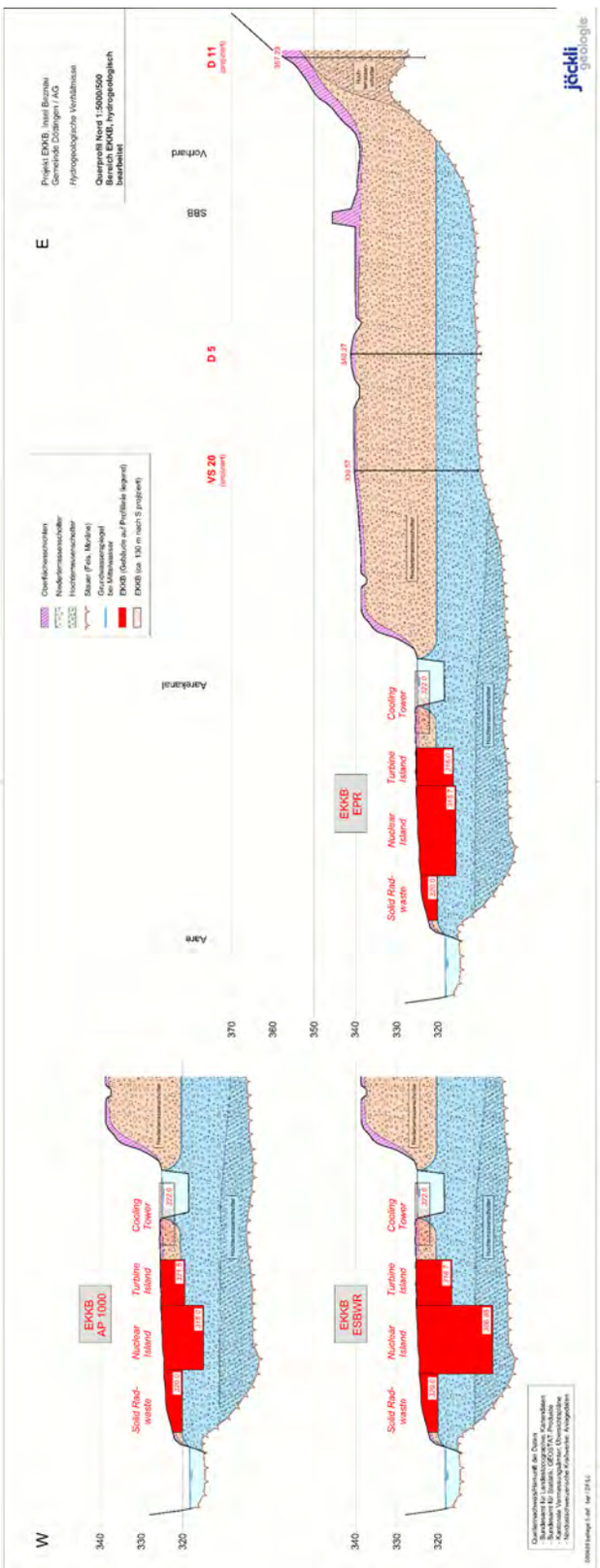


Abbildung 3.6-17: Querprofil EKKB



Die vorhandene Informationsdichte ist dabei sehr inhomogen, indem auf der Beznau-Insel die Ergebnisse zahlreicher Sondierungen zur Verfügung stehen, während im Gebiet östlich des Oberwasserkanals vergleichsweise wenige Bohrdaten vorliegen.

Der Grundwasserleiter im westlichen Abschnitt besteht im oberen Teil aus gut durchlässigen Niederterrassen-Schottern (Schicht A; Tabelle 3.6-4), für welche bei den Durchflussberechnungen ein mittlerer Durchlässigkeitsbeiwert k von 4×10^{-3} m/s eingesetzt wurde. Für den aus Hochterrassen-Schottern (Schicht A') bestehenden tieferen Teil wurde ein k-Wert von 1.5×10^{-3} m/s eingesetzt.

Für das Grundwasserspiegelgefälle wurde für den grössten Teil des Gebietes ein Wert von 2.5‰ angenommen, mit Ausnahme des südlichen Teils der Beznau-Insel (bestehendes KKB), wo das Gefälle ca. 4‰ beträgt.

3.6.6.2.2 Auswirkungen nach Realisation des Projekts EKKB

Aus den Berechnungen (Abbildung 3.6-16 und Tabelle 3.6-4) geht hervor, dass das bestehende Kernkraftwerk bezogen auf den Talquerschnitt eine Verminderung der Durchflusskapazität von lediglich 1% bewirkt hat.

Tabelle 3.6-4: Angaben über die Verminderung der Durchflusskapazität

Annahme: Grundwasserspiegel-gefälle (i) innerhalb der Teilgebiete konstant	Querschnittsverminderung	Durchlässigkeit k	Flächen-Transmissivitäts-verminderung	Grundwasserspiegelgefälle, i	Durchflusskapazitäts-verminderung	Verfügbare Durchflusskapazität	Verminderung	Verminderung bestehend plus neu
	[m^2]	[m/s]	[m^3/s]		[m^3/s]	[m^3/s]	%	%
Bestehendes KKW (Profil Süd)								
Schicht A	101	0.004	0.40	0.0040	0.0016			
Schicht A'	69	0.0015	0.10	0.0040	0.0004			
Total			0.50	0.0040	0.0020	0.1863	1	
Neues KKW AP1000 (Profil Nord)								
Schicht A, Westteil	30	0.004	0.12	0.0040	0.0005			
Schicht A, Ostteil	925	0.004	3.70	0.0025	0.0093			
Total			3.82		0.0097	0.2089	5	6
Neues KKW ESBWR (Profil Nord)								
Schicht A, Westteil	30	0.004	0.12	0.0040	0.0005			
Schicht A, Ostteil	2026	0.004	8.10	0.0025	0.0203			
Schicht A'	685	0.0015	1.03	0.0025	0.0026			
Total			9.25		0.0233	0.2089	11	12
Neues KKW EPR (Profil Nord)								
Schicht A, Westteil	30	0.004	0.12	0.0040	0.0005			
Schicht A, Ostteil	1486	0.004	5.94	0.0025	0.0149			
Total			6.06		0.0153	0.2089	7	8

Bei drei der Varianten für den geplanten Neubau (Abbildung 3.6-17 und Tabelle 3.6-4) betragen die Verminderungen der Durchflusskapazität unter Berücksichtigung des Grundwasserspiegelgefälles zwischen 5% und 11%, was für das bestehende und das geplante

KKW zusammen eine totale Verminderung zwischen 6% und 12% ergibt. Für diese Berechnungen wurden konservative Annahmen zu den Dimensionen der Bauten angewendet.

Die in diesem Zusammenhang erwähnten und beschriebenen Reaktortypen sind beispielhafte Varianten, die dem heutigen Stand der Technik möglicher Kernreaktoren entsprechen. Diese stellen jedoch keinen Vorentscheid zur Wahl des Reaktortyps oder des Anlagenlieferanten dar. Diese Wahl erfolgt im Zuge der Vorbereitung des Baubewilligungsgesuches nach den geltenden gesetzlichen Anforderungen für die Beschaffung von Kernanlagen.

Gemäss Gewässerschutzverordnung (GschV) Anhang 4, Ziff. 211 Abs. 4 darf die Durchflusskapazität des Grundwassers durch Einbauten unter den mittleren Grundwasserspiegel gegenüber dem unbeeinflussten Zustand um höchstens 10% vermindert werden. Die den Betrachtungen betreffend Notstandskühlung (Ergiebigkeit) zugrunde gelegte Variante EPR erfüllt mit 8% diese Bedingung.

Falls eine Variante gewählt wird, die der oben genannten Bedingung nicht entspricht, müssen geeignete Kompensationsmassnahmen getroffen werden, um die 10%-Regel zu erfüllen. Damit wird sich auch für andere Varianten ein ähnliches, höchstens geringfügig schlechteres Szenario ergeben wie für die Variante EPR. Gegenüber den Betrachtungen zur Notstandswasserversorgung der relevanten Kühlsysteme ergeben sich somit keine signifikanten Veränderungen.

3.6.7 Ergiebigkeit des Grundwassers für die Notstandskühlung

Um die Ergiebigkeit des Grundwasserstroms für die Notstandskühlung der Anlagen KKB 1 und 2 zu ermitteln, wurden 1985 Pumpversuche durchgeführt. Aus zwei Versuchsbrunnen wurden simultan bis zu 260 l/s entnommen. Dabei wurde die Feldergiebigkeit nicht überschritten. Jene liegt über 300 l/s und selbst bei Verlust der Stauhaltung Beznau können mit einem Horizontalfilterbrunnen immer noch rund 260 l/s auf Dauer entnommen werden. Ein zusätzlicher Wegfall der Stauhaltung Klingnau hätte auf einen Horizontalbrunnen auch keinen relevanten Einfluss.

Zur Klärung der Feldergiebigkeit im Fall eines zusätzlichen Bedarfs an Grundwasser für eine Notstandskühlung des EKKB wurden die Grundwasserverhältnisse modelliert und analysiert.

3.6.7.1 Modellszenarien

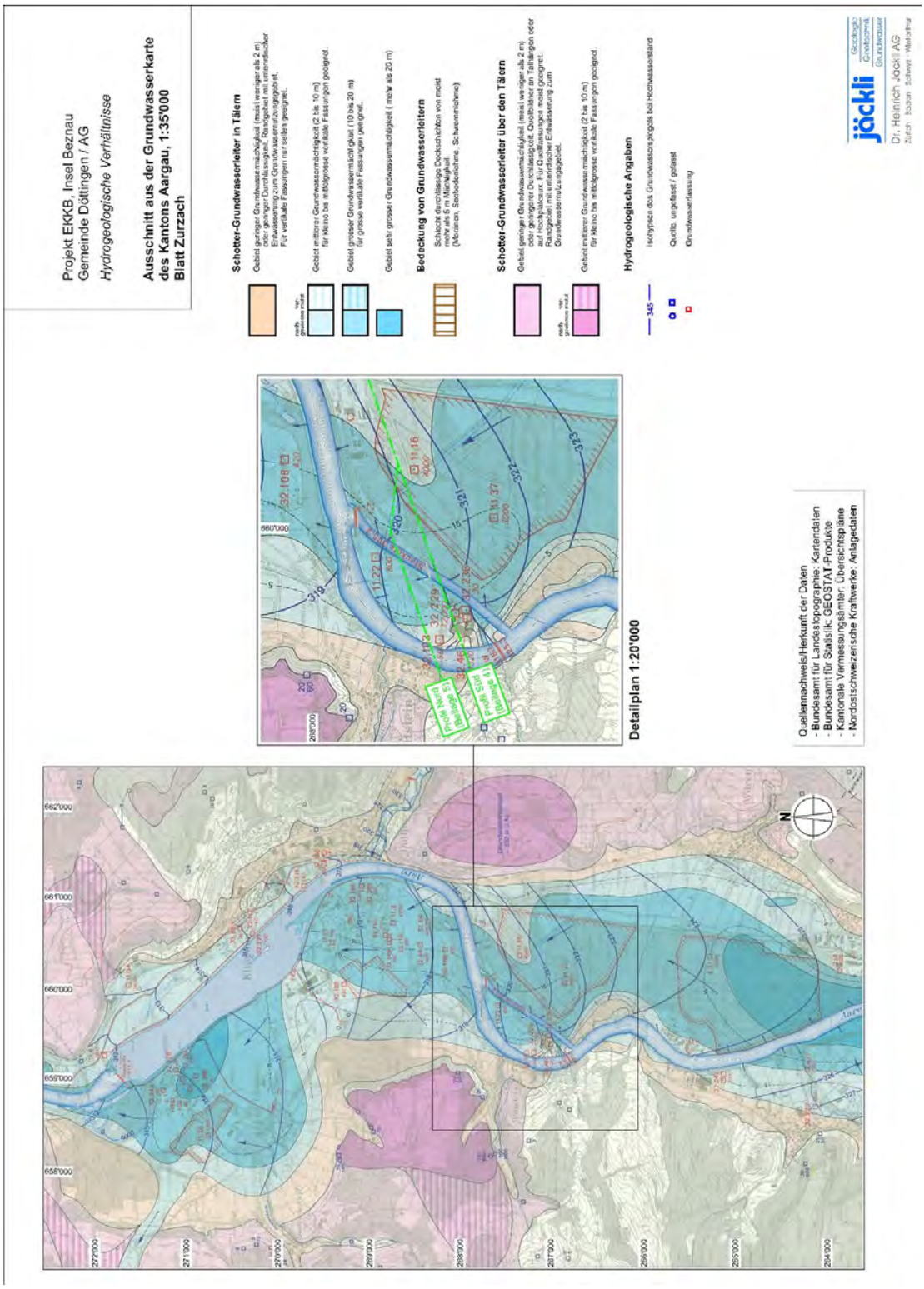
3.6.7.1.1 Numerische Modellierung Ist-Zustand bei Mittelwasser (Kalibrierung)

In einem ersten Schritt wurden die heutigen Grundwasserströmungsverhältnisse bei Mittelwasser rechnerisch nachgebildet.

Als Grundlage für die stationäre Kalibrierung des Strömungsmodells diente im Wesentlichen die Darstellung auf der Grundwasserkarte 1:25'000, Blatt Zurzach (Abbildung 3.6-18).

Zusätzlich wurden die Ergebnisse einer Stichtagsmessung des Grundwasserspiegels vom 11.07.2008 berücksichtigt, welche den Verlauf der Grundwasseroberfläche im Bereich der Beznau-Insel im Detail wiedergibt. Die neuen Messungen zeigen, dass das Unterwasser wohl eine deutlich stärkere Vorflutwirkung auf das Grundwasser ausübt als dies in der Grundwasserkarte 1:25'000 angedeutet wird.

Abbildung 3.6-18: Ausschnitt aus der Grundwasserkarte des Kantons Aargau



Basierend auf dem stationär kalibrierten Modell wurde eine *instationäre* Eichung und Validierung aufgrund von folgenden Pumpversuchen beim KKW Beznau durchgeführt:

- Einzelpumpversuche in den Versuchsbrunnen VB1 und VB2 (1981)
- Simultan-Pumpversuch in den Versuchsbrunnen VB1 und VB2 (1985)
- Pumpversuch im Notstandsbrunnen (1988).

Da die weiteren Modellierungsschritte auf dem erarbeiteten "Grundmodell" aufbauen, bestimmt dessen Qualität in starkem Masse, inwieweit die nachfolgenden Modellierungen zu belastbaren Prognoseresultaten führen. Die Ergebnisse dieser Modellrechnung wurden daher mit den vorliegenden Messungen verglichen und die Modellparameter wurden innerhalb der Plausibilitätsgrenzen variiert, um eine möglichst gute Übereinstimmung zu erzielen.

3.6.7.1.2 Numerische Modellierung Ist-Zustand Niederwasser

Die Modellierung des Ist-Zustands berücksichtigt die hydraulischen Zustände (Staukote, Kanaltiefe usw.) des hydraulischen Kraftwerks Beznau. Es ist vorgesehen, das Kraftwerk zu modernisieren. Die entsprechenden Vorhaben werden bis Baubeginn des EKKB abgeschlossen sein. Allfällige Änderungen der hydraulischen Zustände werden beim Ergiebigkeitsnachweis und der Auslegung der allenfalls notwendigen Brunnensysteme berücksichtigt. Zurzeit ist weder eine Kanalaustiefung noch eine Erhöhung der Staukote vorgesehen. Die entsprechenden Unterlagen zum Baubewilligungsgesuch werden den Neubauzustand des hydraulischen Kraftwerks berücksichtigen.

Einflüsse auf die Grundwasser-Durchflusskapazität (vgl. auch Kapitel 3.6.6.2) werden im Umweltverträglichkeitsbericht behandelt.

Ausgehend von der Modellierung Ist-Zustand wurde ein Niederwasserstand (NW) simuliert. Hierfür wurde ein tiefer Aarewasserabfluss vorgegeben. Die Durchlässigkeit der Aaresohle blieb unverändert.

Die Festpotenzialränder und Randzuflüsse wurden entsprechend einem NW neu definiert.

3.6.7.1.3 Numerische Modellierung EKKB-Projekt-Zustand bei Mittelwasser und bei Niederwasser

In weiteren Modellierungsschritten wurde der EKKB-Projektzustand nachgebildet, wobei von den drei zur Diskussion stehenden Kraftwerkskonzepten die Variante EPR implementiert wurde. Die Fundationskoten der tief reichenden und als lokale Strömungshindernisse für die Grundwasserfliessbewegung wirkenden Gebäude "Nuclear Island" und "Turbine Island" des geplanten EKKB liegen in diesem modellierten Fall bei ca. Kote 316 m ü.M.

Bei der Variante EPR beträgt die Verminderung der Durchflusskapazität in Folge der Einbauten weniger als 10%, sodass das Projekt gemäss Gewässerschutzverordnung im Sinne einer Ausnahme ohne Kompensationsmassnahmen bewilligungsfähig wäre. Die Variante ESBWR hätte hingegen eine Verminderung der Durchflusskapazität von mehr als 10% zur Folge, sodass Kompensationsmassnahmen erforderlich werden. Da diese zum heutigen Zeitpunkt nicht festgelegt werden können, ist eine Berücksichtigung derselben im Modell nicht möglich. Es sei aber angemerkt, dass die Variante "ESBWR mit Massnahmen" in hydraulischer Hinsicht

vergleichbare Auswirkungen hätte wie die Variante EPR. Die Variante AP1000 würde eine geringere Verminderung der Durchflusskapazität verursachen und sich somit weniger negativ auf die Ergiebigkeit des Grundwasserleiters auswirken.

Für die Notstandkühlung des EKKB wurde ein Grundwasserbedarf von 300 l/s angenommen. Dies ist als approximativ zu betrachten, weil die Auslegungsanforderungen einer zukünftigen Anlage zurzeit nicht bekannt sind. Zudem wurde unterstellt, dass beim bestehenden KKB 1 und 2 ein gleichzeitiger Pumpbetrieb im Notstandsbrunnen von 200 l/s erforderlich ist. Diese Förderrate entspricht der Konzessionswassermenge. Das Notstands-Brunnenwassersystem des KKB 1 und 2 ist effektiv auf eine Entnahmemenge von maximal 160 l/s ausgelegt. Zurzeit werden weitere Projekte im KKB geplant durch welche ein geringfügig höherer Grundwasserbedarf entstehen könnte. Deshalb ist es möglich, dass der Gesamtbedarf des KKB höher als 200 l/s wird. Bei den für das Baubewilligungsgesuch benötigten detaillierten Nachweisen der Grundwasserergiebigkeit wird der aktuelle Grundwasserbedarf des KKB berücksichtigt.

Der Pumpbetrieb in den beiden Notstands-Brunnensystemen wurde über eine Zeitdauer von 30 Tagen simuliert. Dieser kombinierte Wasserbedarf von 500 l/s, konstant über eine Zeitdauer von 30 Tagen, ist aus heutiger Perspektive eine vernünftige Grundlage für die Beurteilung der Grundwasserergiebigkeit am Standort.

3.6.7.1.4 Numerische Modellierung der Spezialsituation "Wegfallen der Stauhaltung" (Ist-Zustand und Projektzustand)

In einem weiteren Schritt wurden die Auswirkungen bei einem allfälligen Wegfallen der Stauhaltung simuliert. Hierfür wurden die Wasserspiegelhöhen der Aare für einen ungestörten Ausgangszustand, wie er vor dem Bau des Kraftwerks vorgelegen hat, im Modell eingegeben. Die übrigen Randbedingungen und Eingabedaten des Modells blieben unverändert.

3.6.7.2 Modellwahl und Eingabedaten

3.6.7.2.1 Wahl des numerischen Grundwassermodells

Als Rechenmodell wurde das Programm "FEFLOW" der WASY GmbH gewählt. Bei diesem Grundwassermodell wird die Strömungsgleichung iterativ nach dem Finite-Elemente-Verfahren gelöst. FEFLOW erlaubt eine flexible Vernetzung, daher kann das Gitternetz an natürliche Strukturen wie Flüsse und Brunnenstandorte angepasst werden. Das Modellgebiet wurde in Tetraederelemente zerlegt und in den relevanten Bereichen lokal verfeinert. Im vorliegenden Fall ist ein instationäres 2-Schichten-Modell ausreichend. Die oberste Modellschicht diente zur Berücksichtigung der in den Grundwasserleiter eintauchenden Kraftwerksbauten.

Da detaillierte Kenntnisse der vertikalen Durchlässigkeitsverteilung nur lokal vorhanden sind und sich die grossräumige Strömung mit einem mittleren Profil-k-Wert hinreichend genau beschreiben lässt, wurde die Durchlässigkeit des Grundwasserleiters über die Tiefe als konstant angenommen. Gleichwohl musste das Modell in 2 Schichten unterteilt werden, damit die bestehenden und die geplanten, in den Grundwasserleiter eintauchenden Kraftwerksbauten berücksichtigt werden konnten. Diese wirken als undurchlässige Strömungshindernisse im oberen Teil des Grundwasserleiters.

3.6.7.2.2 Modellabmessungen und -gitternetz

Das Grundwassermodell umfasst den ca. 2 km breiten und 6 km langen Abschnitt des Aaretal-Grundwasserstroms vom Industriegebiet bei Station Siggenthal bis zum Stausee Klingnau.

Die Modellausrichtung folgt der N-S-Richtung der Landeskoordinaten, wobei die Landeskoordinaten zugleich Modellkoordinaten sind. Insgesamt weist das Modell 15'000 Zellen auf.

3.6.7.2.3 Modell-Eingabedaten

a) Festpotenzialränder

Die Modellränder im Süden und Norden wurden als Festpotenzialränder mit vorgegebenem piezometrischem Niveau definiert. Folgende Grundwasserspiegel wurden – gestützt auf die Grundwasserkarte und die vorhandenen Grundwasserspiegelmessungen – gewählt (vgl. Tabelle 3.6-5):

Tabelle 3.6-5: Grundwasserspiegel

Randpotenzial	Zufluss (Süden)	Wegfluss (Norden)
Mittelwasser (MW)	ca. 325.0 m ü.M.	316.0 m ü.M.
Niederwasser (NW)	ca. 324.5 m ü.M.	315.5 m ü.M.

b) Grundwasserneubildung durch Niederschlag und randliche Zuflüsse

Die flächenhafte Grundwasserneubildung durch Niederschlag im Modellbereich wurde mit 300 mm pro Jahr eingesetzt.

Die randlichen Zuflüsse wurden in erster Näherung aufgrund der Grösse der angrenzenden Einzugsgebiete und einer angenommenen Neubildungsrate von ca. 30 cm pro Jahr abgeschätzt. Im Rahmen der Kalibrierung erfolgte jeweils noch eine leichte Anpassung der so vorgegebenen Randzuflüsse. Die resultierenden Zuflussmengen betragen entlang dem östlichen Modellrand ca. 2.6 m^3/Tag pro Laufmeter bei Mittelwasser und ca. 2.3 m^3/Tag pro Laufmeter bei Niederwasser. Am nordwestlichen Modellrand betragen die Randzuflüsse ca. 1.3 resp. 1.1 m^3/Tag pro Laufmeter.

c) Hydraulische Wechselwirkung mit der Aare und dem Staukanal

Die Wasserspiegelhöhen der Aare wurden aufgrund der Resultate der hydraulischen Abflussberechnungen in das Modell eingegeben. Für die Mittelwasser-Modellierung wurde ein mittlerer Aareabfluss von 560 m^3/s eingesetzt. Der Niederwasser-Modellierung wurde ein Abfluss von 243 m^3/s zugrunde gelegt.

Die hydraulische Wechselwirkung zwischen Grundwasser und Aare wird neben der Potenzialdifferenz durch den so genannten Leakage-Faktor bestimmt, der die vorhandene Durchlässigkeit der Flusssohle wiedergibt. Im Gegensatz zu den durch Messungen recht genau bekannten Sohl- und Wasserspiegelhöhen lässt sich der Leakage-Faktor nicht direkt messen.

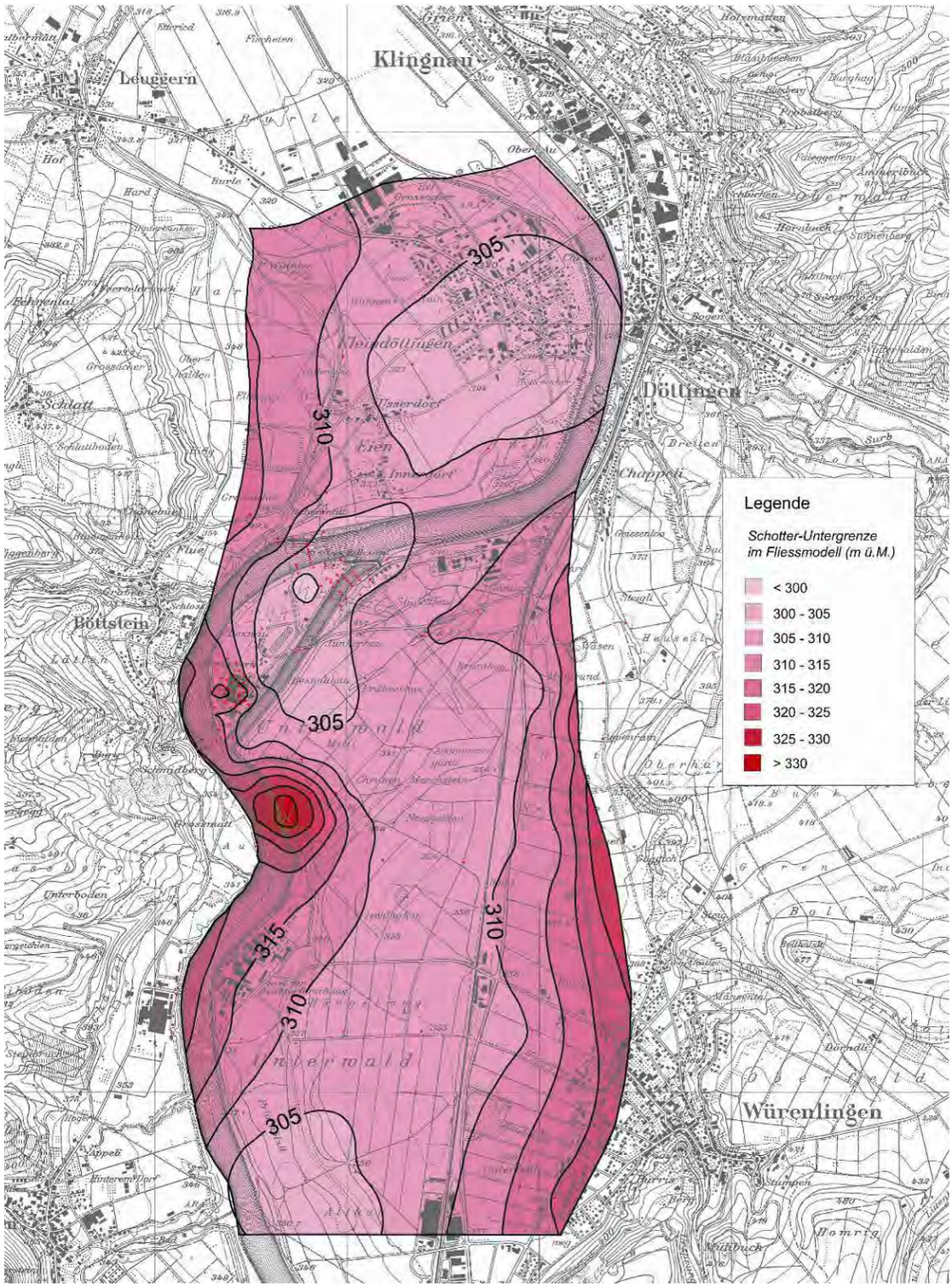
Gestützt auf hydraulische und hydrochemische Beobachtungen findet auf gewissen Flussabschnitten eine verstärkte Flusswasserinfiltration statt. In diesen Bereichen ist eine geringe oder fehlende Kolmatierung der Flusssohle anzunehmen, so dass dort in einem ersten Ansatz entsprechend erhöhte Werte des Leakage-Faktors eingesetzt wurden.

Die "effektive" Grösse des Leakage-Faktors muss indirekt, d.h. iterativ aus der Modelleichung bestimmt werden. Dafür wurden jeweils eine minimale und maximale Schranke gewählt und das Ergebnis eines Iterationsschrittes als Ausgangswert des jeweils nächsten Rechnungsdurchgangs genommen. Das Verfahren wurde so oft wiederholt, bis die Lösung nicht weiter optimiert werden konnte. Massgebend für die numerische Interpolation waren das Isohypsenbild, die gemessene Absenkung während der Pumpversuche und der zeitliche Verlauf der zugehörigen Absenkkurven.

d) Sohle des Grundwasserleiters

Die Sohle des Schotter-Grundwasserleiters wurde aufgrund vorhandener Bohrungen mittels eines Computerprogramms nach dem Kriging-Verfahren dreidimensional interpoliert und manuell entsprechend dem generellen Talverlauf nachbearbeitet. Die dem Modell zugrunde gelegte Sohle des Grundwasserleiters bzw. Oberfläche des Stauers ist in Abbildung 3.6-19 in Form von Isohypsen dargestellt.

Abbildung 3.6-19: Isohypsen der Felsoberfläche / Untergrenze Schotter



e) Porosität

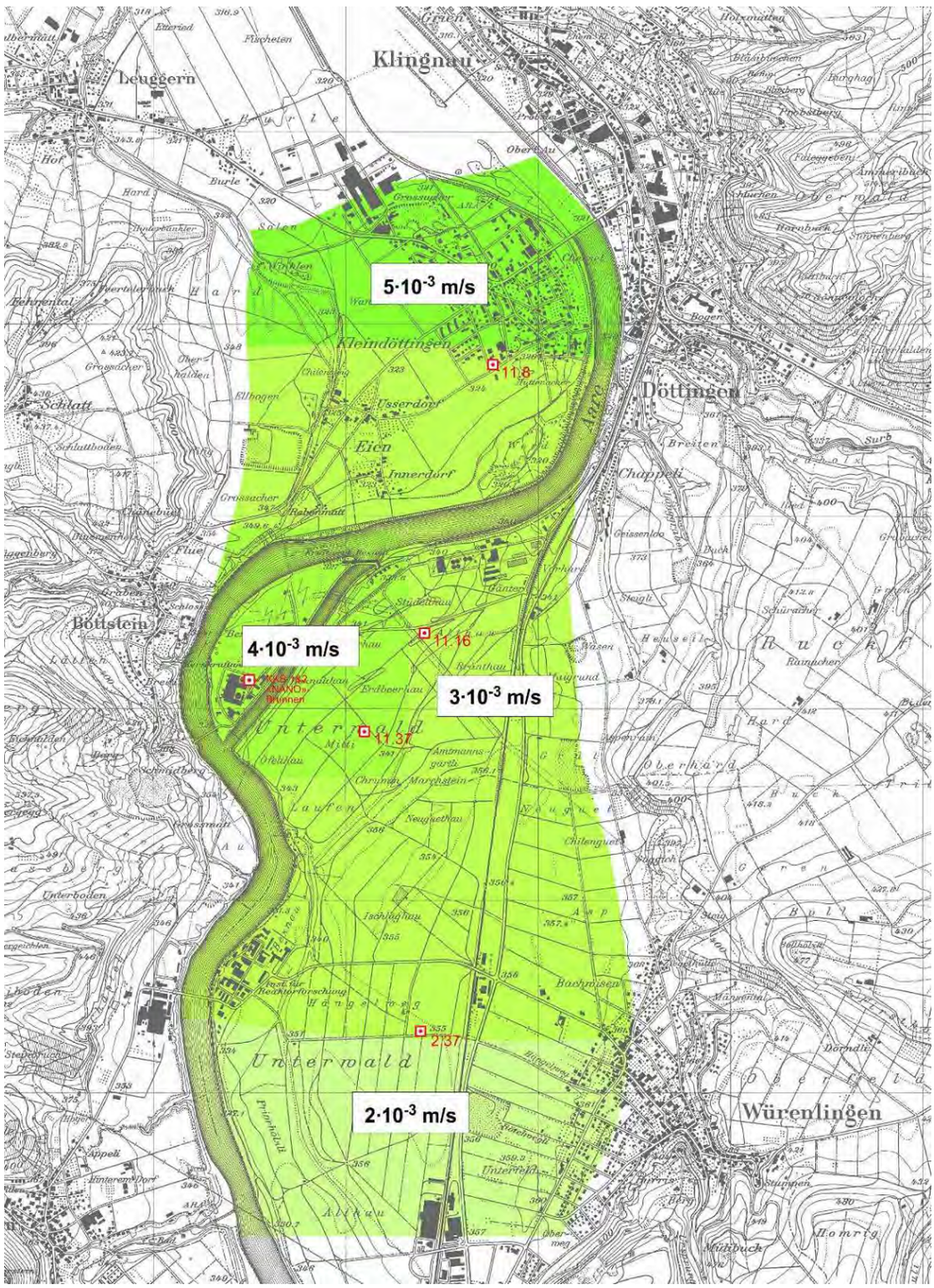
Für die effektive resp. nutzbare Porosität des Schotter-Grundwasserleiters wurde im ganzen Modellgebiet ein einheitlicher Wert von n_{eff} = 0.15 eingesetzt.

f) Durchlässigkeit des Grundwasserleiters

In der Vergangenheit sind im Modellgebiet schon diverse Pumpversuche durchgeführt worden. Die dabei ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerte k schwanken zwischen ca. $1x10^{-3}$ und $1x10^{-2}$ m/s. Beim im Jahre 1981 durchgeführten Pumpversuch im Versuchsbrunnen VB1 auf der Beznau-Insel ist ein Durchlässigkeitsbeiwert k von $5.2x10^{-3}$ m/s (Profil-k-Wert) ermittelt worden. Der anschliessende Pumpversuch im Versuchsbrunnen VB2 (k = $2.6x10^{-3}$ m/s) ist weniger repräsentativ, da der Brunnen zu diesem Zeitpunkt vermutlich noch zu wenig gut entsandet war.

Im Modell wurden anfänglich überall gleich grosse Durchlässigkeiten des Grundwasserleiters von k = $3x10^{-3}$ m/s eingesetzt. Bei den Modellrechnungen zeigte sich aber, dass mit einer homogenen Durchlässigkeitsverteilung die gemessenen hydraulischen Grundwasserspiegelhöhen und Gefällsverhältnisse nur unzureichend simuliert werden konnten. Insbesondere die vorhandene Verengung des Durchflussquerschnitts südlich des Stausees Klingnau erforderte lokal höhere Durchlässigkeiten (k = $5x10^{-3}$ m/s), um zu plausiblen Modellresultaten zu gelangen. Zudem wurden die Durchlässigkeiten im Bereich der Beznau-Insel auf k = $4x10^{-3}$ m/s angehoben und im Süden auf k = $2x10^{-3}$ m/s erniedrigt. Die lokale Anpassung des k-Werts stimmt generell gut mit den aus Pumpversuchen ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerten überein. Die gewählte Verteilung der Durchlässigkeiten ist in Abbildung 3.6-20 dargestellt.

Abbildung 3.6-20: Verteilung der Durchlässigkeitswerte im Modell



Auf eine vertikale Differenzierung des Grundwasserleiters in die etwas weniger durchlässigen Hochterrassen-Schotter und die besser durchlässigen Niederterrassen-Schotter wurde im Modell verzichtet, da die Datengrundlage für eine solche Unterscheidung nur in wenigen Bereichen ausreichend ist.

g) Bestehende Grundwasserentnahmen

Die laufenden Wasserentnahmen durch vorhandene grössere Grundwasserfassungen wurden im Modell ebenfalls berücksichtigt. Für folgende Pumpwerke wurde jeweils die mittlere Jahresförderung 1998-2007 eingesetzt:

- PW Beim Schulhaus (Konz.-Nr. 11.8), Böttstein[39]; Q = 870 l/min
- PW Unterwald (Konz.-Nr. 11.16), Döttingen[39],[40] Q = 1'120 l/min
- PW Unterwald (Konz.-Nr. 11.37), NOK[41] ; Q = 670 l/min
- PW Am Hängelweg (Konz.-Nr. 2.37), Würenlingen[41]; Q = 1'385 l/min

Die Angaben wurden durch eine Betrachtung der mittleren Jahresförderungen abgeleitet. Im Anforderungsfall für den Notstandsbrunnen kann die geförderte Menge höher oder niedriger sein.

Zurzeit wird eine Verlegung des PW Unterwald (Konz.-Nr. 11.16) der Gemeinde Döttingen geprüft. Der Betrieb einer Ersatz-Grundwasserfassung unweit des heutigen Standortes mit identischer Fördermenge hätte keine Auswirkungen auf die grossräumigen Grundwasser-verhältnisse. Ebenso hätte eine allfällige Verlegung des PW Unterwald in Richtung Süd bis Südost keine Änderungen der im nachfolgenden Kapitel beschriebenen Resultate der Modellrechnungen für die Notstandskühlung auf der Beznau-Insel zur Folge.

3.6.7.2.4 Ergebnisse der Modellrechnungen

a) Ist-Zustand Mittelwasser

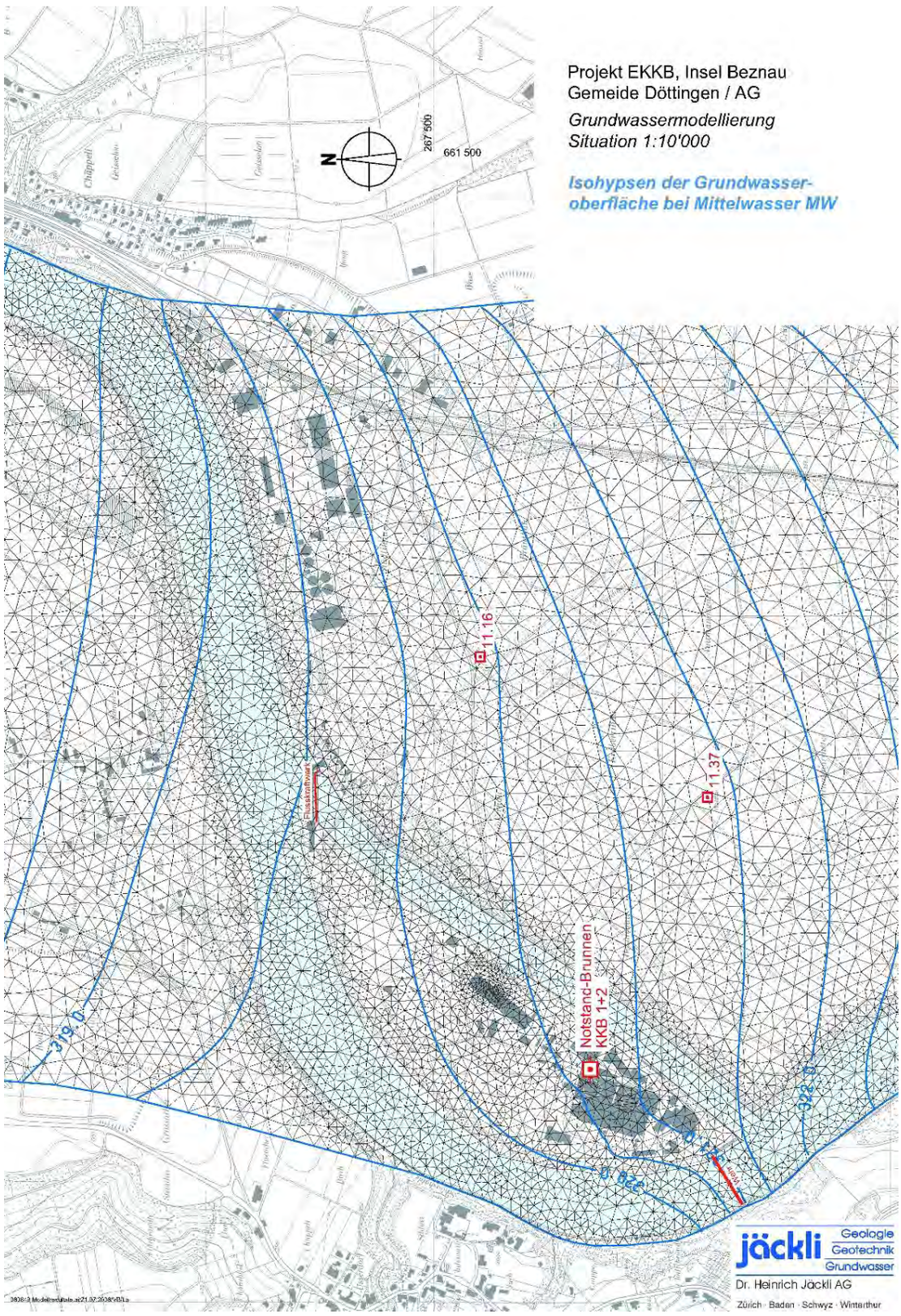
Das hydraulische Ergebnis der Modellsimulation "Ist-Zustand" ist in Abbildung 3.6-21 beigefügt.

[39] Q entspricht mittlerer Jahresförderung

[40] Zur Zeit wird eine Verlegung des PW Unterwald (Konz.-Nr. 11.16), Döttingen geprüft

[41] Q entspricht ca. 20% der Konzessionsmenge

Abbildung 3.6-21: Hydraulische Ergebnisse der Modellanalyse



Zusätzlich ist in Abbildung 3.6-22 die nutzbare Grundwassermächtigkeit im Bereich der Beznau-Insel bei Mittelwasser aufgrund der Modellrechnungen dargestellt.

Abbildung 3.6-22: Grundwassermächtigkeit bei Mittelwasser gemäss Modell im Bereich der Beznau-Insel

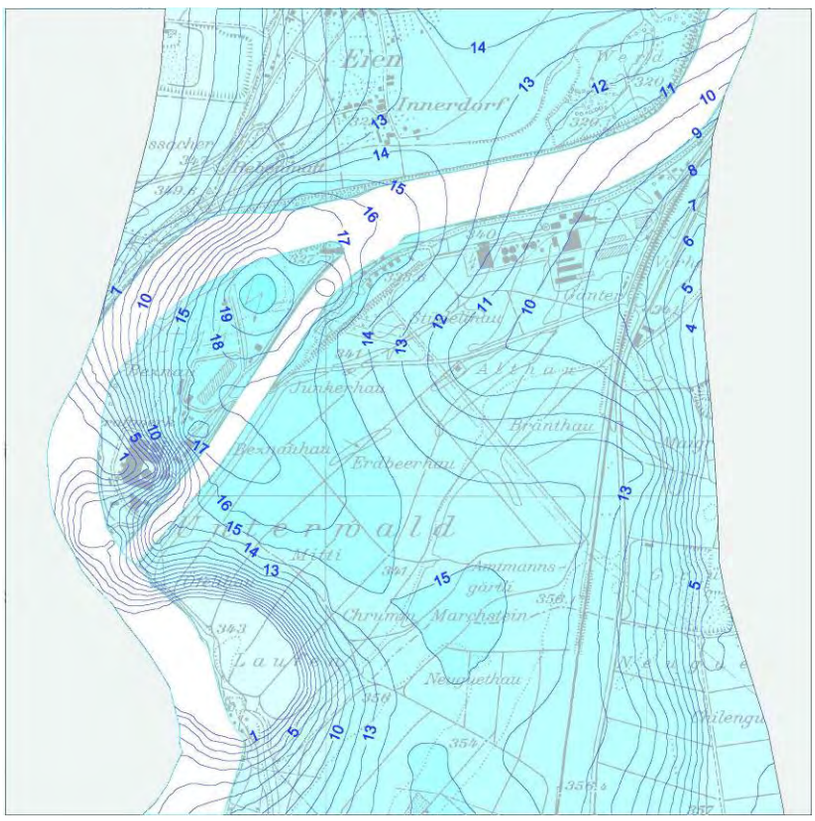
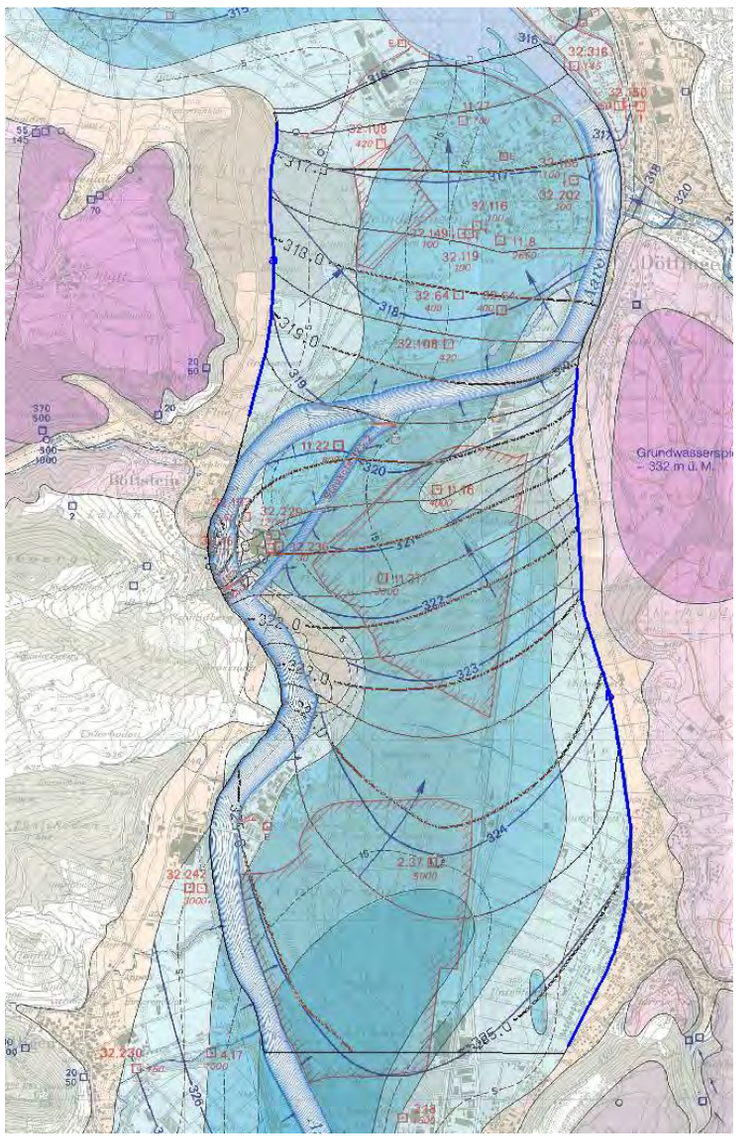


Abbildung 3.6-23 zeigt die Isohypsen der Grundwasseroberfläche bei Mittelwasser gemäss Modell im Vergleich zur Grundwasserkarte (Ausschnitt aus Abbildung 3.6-18). Die berechnete Grundwasseroberfläche weist eine gute Übereinstimmung mit der Darstellung auf der Grundwasserkarte (regionale Kalibrierung) auf. In den folgenden Abschnitten wird gezeigt, dass zudem auch die während der Pumpversuche festgestellten Absenktrichter gut nachgebildet werden konnten (instationäre, lokale Kalibrierung).

Abbildung 3.6-23: Isohypsen der Grundwasseroberfläche bei Mittelwasser gemäss Modell (schwarz) im Vergleich zur Grundwasserkarte (blau). Siehe auch Abbildung 3.6-18

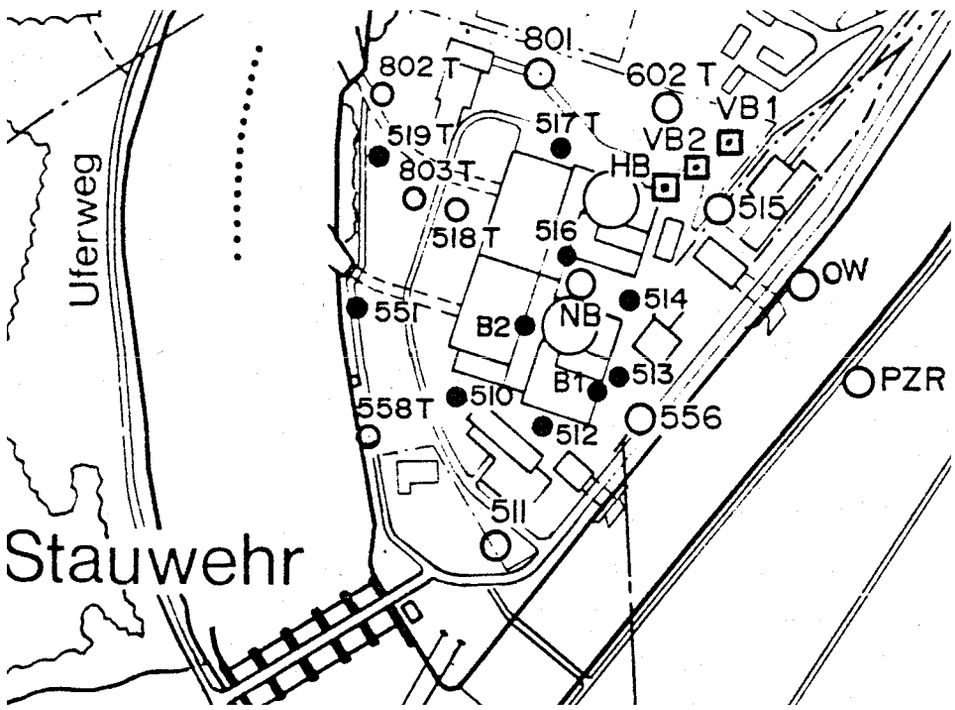


Einzelpumpversuche in den Versuchsbrunnen VB1 und VB2 (1981)

In den beiden Versuchsbrunnen auf der Beznau-Insel (Standorte siehe Abbildung 3.6-24) wurden im September 1981 Pumpversuche von 10 resp. 7 Tagen Dauer durchgeführt. In beiden Fällen wurde die Entnahmemenge bis auf 83 l/s gesteigert und anschliessend während einiger Tage konstant gehalten. Im Versuchsbrunnen VB1 bewirkte die Entnahme dieser Wassermenge eine Grundwasserspiegelabsenkung von nur rund 1 m. Interessant ist die Feststellung, dass der Grundwasserspiegel im Versuchsbrunnen VB2 um 3.1 m sank. Wie schon erwähnt, dürfte der Filterbrunnen VB2 zu Beginn noch nicht einwandfrei entsandet gewesen sein. Eine Analyse der Wasserspiegelabsenkung in den umliegenden Beobachtungsrohren zeigt nämlich, dass diese im gleichen Rahmen liegen wie beim Pumpversuch im VB1. Aus diesem Grund wird die simulierte Absenkung nur mit dem Pumpversuch im VB1 verglichen.

Die Modellrechnung weist für VB1 eine Absenkung von fast 1.5 m auf und darf somit im Vergleich zur Messung als konservativ betrachtet werden. Der gemessene und der simulierte zeitliche Verlauf der Grundwasserspiegelabsenkung in den Beobachtungsrohren sind vergleichbar.

Abbildung 3.6-24: Situation 1:5000 mit Lage des Nano-Brunnens (HB), des Notbrunnens (NB), der Versuchsbrunnen VB1 und VB2 sowie von Beobachtungsstellen



Simultan-Pumpversuch in den Versuchsbrunnen VB1 und VB2 (1985)

Der Versuchsbrunnen VB2 wurde vor Beginn des Pumpversuches mittels Schockbetrieb nochmals entsandet, was zu einer verbesserten Brunnenergiebigkeit resp. zu einer deutlich geringeren Grundwasserspiegelabsenkung führte, als sie 1981 gemessen wurden. Die Entnahmemenge in den Brunnen VB1 und VB2 wurde in Etappen erhöht, bis simultan total 260 l/s Grundwasser gefördert wurden. Im VB1 wurde eine Absenkung von ca. 3.4 m gemessen, im VB2 eine solche von 4.7 m. Das Modell gibt eine Absenkung in den Versuchsbrunnen VB1 und VB2 von je ca. 4.2 m wieder.

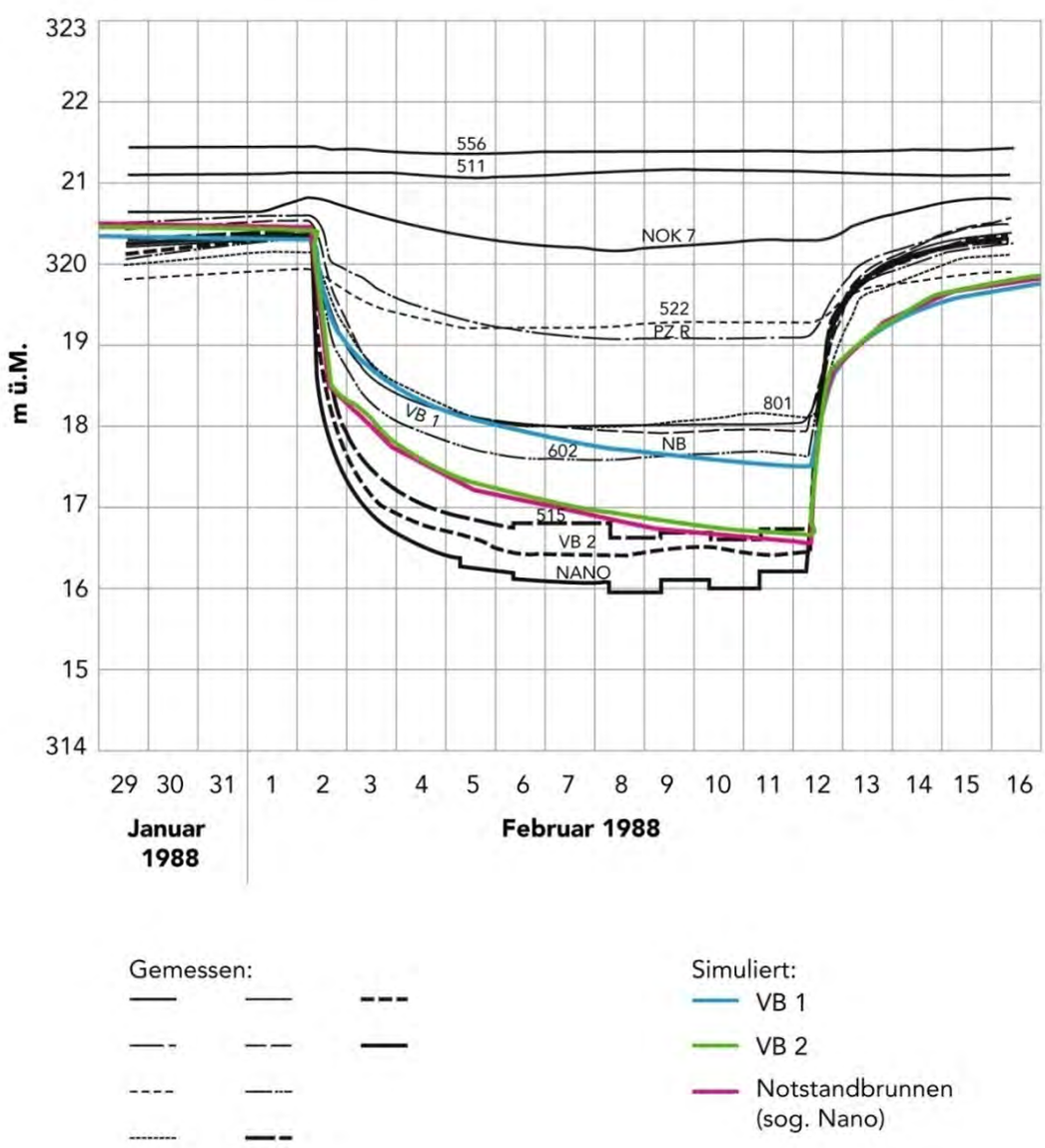
Pumpversuch im Notstandsbrunnen (1988)

Für die Notstandswasserversorgung von KKB 1 und 2 wurde im Jahr 1987, wenig südwestlich vom Versuchsbrunnen VB2, ein Horizontal-Filterbrunnen erstellt. Bei der Erzeugung des Gitternetzes wurden Lage, Geometrie und Anzahl der Horizontal-Filterstränge berücksichtigt. Der Horizontal-Filterbrunnen wird durch mehrere Einzelbrunnen auf Knoten entlang der Stränge definiert.

Im Februar 1988 wurde die Brunnenergiebigkeit mit einem Leistungspumpversuch von 10 Tagen Dauer getestet. Der Pumpversuch wurde mit einer Förderrate von rund 240 l/s durchgeführt. Der Brunnenwasserspiegel senkte sich bei dieser Leistung um rund 4.0 m ab und erreichte bereits nach 7 Tagen annähernd einen Beharrungszustand. Im VB2, welcher sich in unmittelbarer Nähe einzelner Horizontalfilterstränge des Nano-Brunnens befindet, wurde eine Absenkung von 4.0 m gemessen. Diese entspricht der effektiven Grundwasserspiegelabsenkung im Nahbereich des Horizontalfilterbrunnens. Im rund 25 m weiter NE liegenden VB1 stellte sich eine Absenkung von 2.5 m ein, wobei auch dort der quasistationäre Zustand auffallend rasch, nämlich bereits nach 4-5 Tagen erreicht worden ist (Abbildung 3.6-25).

Aufgrund der Modellrechnung resultiert nach einer Pumpdauer von 10 Tagen im VB1 eine etwas grössere Absenkung, während sich im VB2 der Wasserspiegel noch nicht ganz auf das Niveau gemäss den früheren Messungen abgesenkt hat. In den Modellrechnungen wird der Beharrungszustand nach 10 Tagen noch nicht erreicht. Für den stationären Absenkzustand weist das Modell im VB1 eine Absenkung von ca. 3.0 m und im VB2 eine solche von 4.0 m aus. Damit stimmt die Absenkung im Nahbereich des Horizontalfilterbrunnens exakt mit den Messwerten überein, während der Wasserspiegel im VB1 gemäss Modellsimulation ca. 0.5 m tiefer abgesenkt wird.

Abbildung 3.6-25: 10-tägiger Pumpversuch im Notstandsbrunnen Februar 1988 (Q = 240 l/s), Vergleich zwischen gemessenen und simulierten Ganglinien der Grundwasserspiegel



Anmerkung: Die Grafik zeigt den seinerzeit gemessenen Verlauf des Grundwasserspiegels im KKB-Notstandsbrunnen sowie in den Beobachtungsrohren inkl. Versuchsbrunnen VB1 und VB2 (schwarz) sowie den simulierten Verlauf im Notstandsbrunnen VB1 bzw. VB2 (farbig).

Fazit

Die Übereinstimmung der Modellresultate mit den aus den drei Pumpversuchen gewonnenen Messergebnissen ist teils recht gut; beim Gradienten der Spiegelabsenkung etwas weniger gut. Da das Prognoseszenario neben dem Pumpbetrieb im neuen Notstandsbrunnen des EKKB eine gleichzeitige Förderung aus dem bestehenden Notstandsbrunnen des KKB 1 und 2 vorsieht, wurde eine möglichst gute Nachbildung des Pumpversuches 1988 angestrebt.

Im Modell resultiert dabei gegenüber den anlässlich des Pumpversuchs gewonnenen Messresultaten eine zeitlich verzögerte Absenkung und der Beharrungszustand ist nach zehn Tagen noch nicht erreicht (Abbildung 3.6-25). Für den quasi-stationären Endzustand stellt sich im Förderbrunnen und in dessen Nahbereich im Modell eine vergleichbare Absenkung ein. Der Absenktrichter verläuft hingegen etwas flacher, sodass in der Umgebung etwas grössere Absenkungen resultieren.

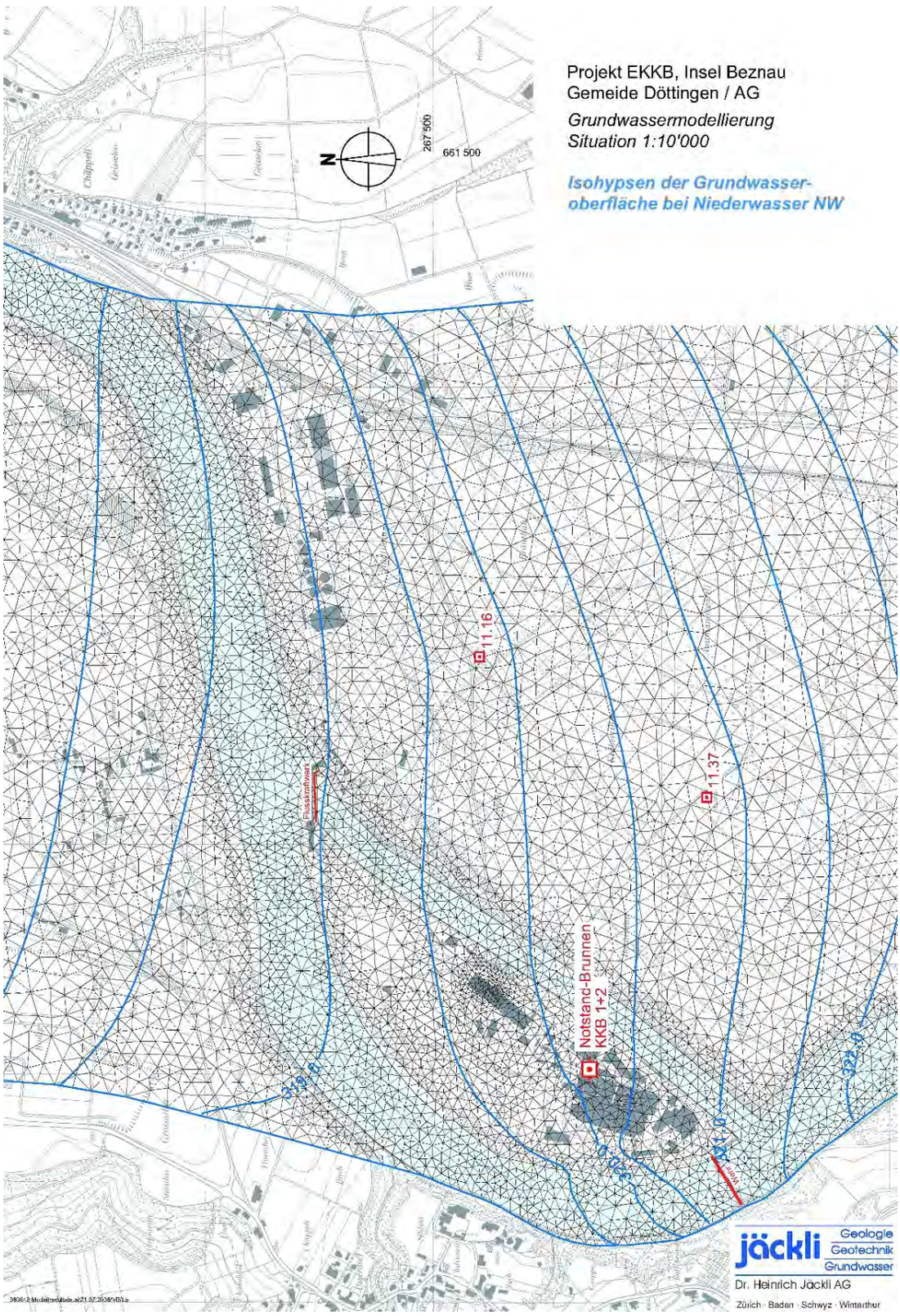
b) Ist-Zustand Niederwasser

In Abbildung 3.6-26 sind die Ergebnisse der hydraulischen Modellsimulation bei NW dargestellt. Vergleichsmessungen für einen NW des Grundwassers fehlen. Hingegen liegen von den Grundwasserfassungen "Am Hängelweg", "Unterwald" und "Beim Schulhaus" Langzeitmessreihen vor. Nachfolgend (vgl. Tabelle 3.6-6) sind die bisher gemessenen Niederwasserstände der genannten Fassungen den im Grundwassermodell berechneten NW-Spiegeln gegenübergestellt:

Tabelle 3.6-6: Vergleich der Niederwasserstände, gemessen bzw. modelliert

	NW gemessen	NW modelliert
PW Am Hängelweg	ca. 323.6 m ü.M.	ca. 323.8 m ü.M.
PW Unterwald	ca. 319.9 m ü.M.	ca. 319.8 m ü.M.
PW Beim Schulhaus	ca. 317.1 m ü.M.	ca. 317.0 m ü.M.

Abbildung 3.6-26: Isohypsen der Grundwasseroberfläche bei Niederwasser



c) Projekt-Zustand mit Notstandskühlung

In einem weiteren Arbeitsschritt wurde die Projektvariante EPR in das Modell integriert.

Der neue Filterbrunnen für das EKKB wurde im Südosten vom "Turbine Island" gesetzt und es wurde ein Grundwasserbedarf von 300 l/s angenommen. Der Filterbrunnen wurde im Modell gleich wie der bestehende Notstandsbrunnen KKB 1 und 2 als Horizontalfilterbrunnen ausgebildet.

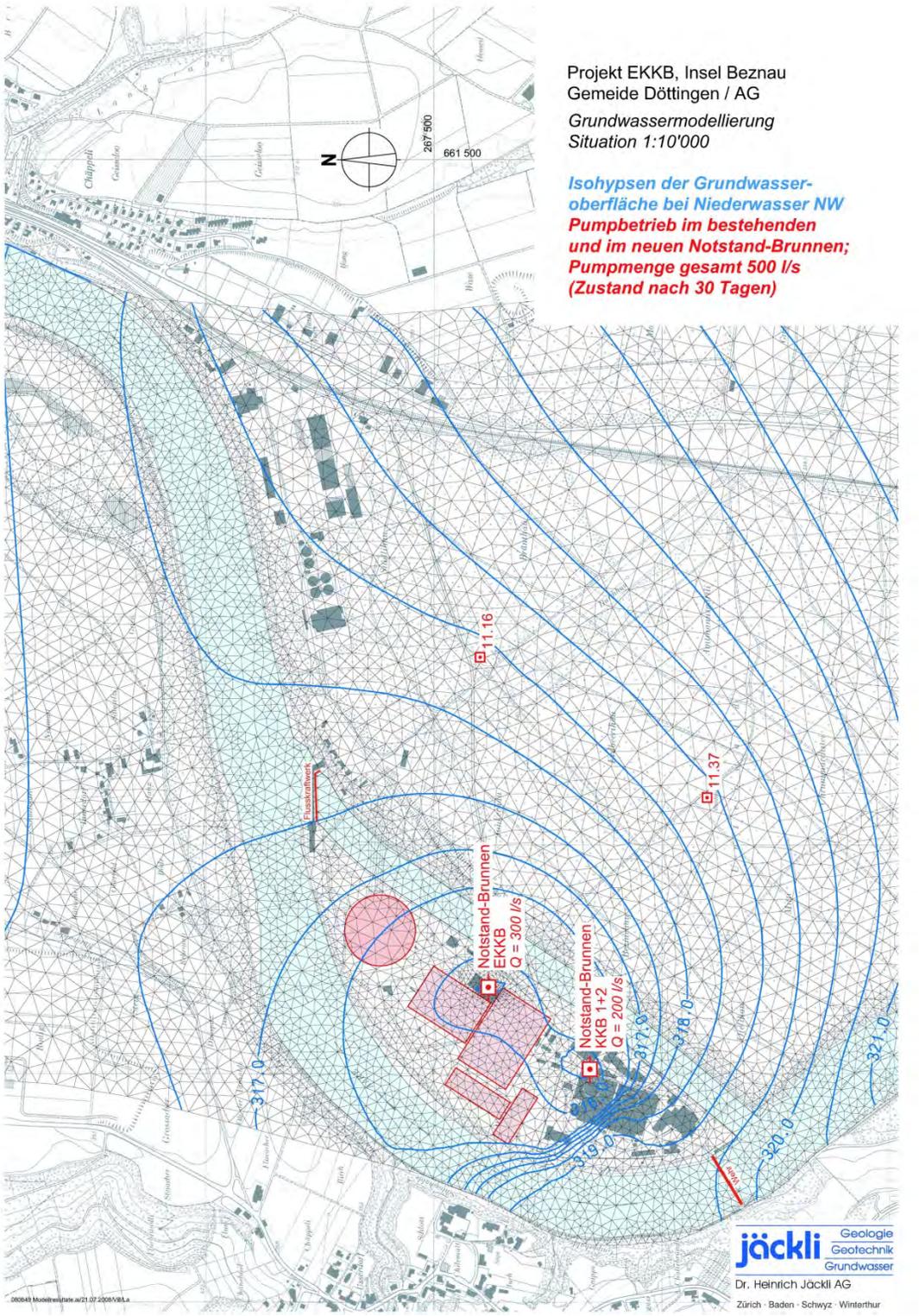
Parallel zum oben genannten Pumpbetrieb beim EKKB wurde eine Förderung von 200 l/s aus dem bestehenden Notstandsbrunnen für KKB 1 und 2 vorgegeben.

Die Pumpraten wurden über eine Zeitdauer von 30 Tagen simuliert. Der Modellrechnung liegen somit bezüglich der Förderung sehr konservative Annahmen zugrunde, da diese Menge nur zu Beginn der Notstandskühlung während weniger Tage zur Verfügung stehen muss und der Wasserbedarf anschliessend sukzessive abnehmen wird.

Modellierung Mittelwasser

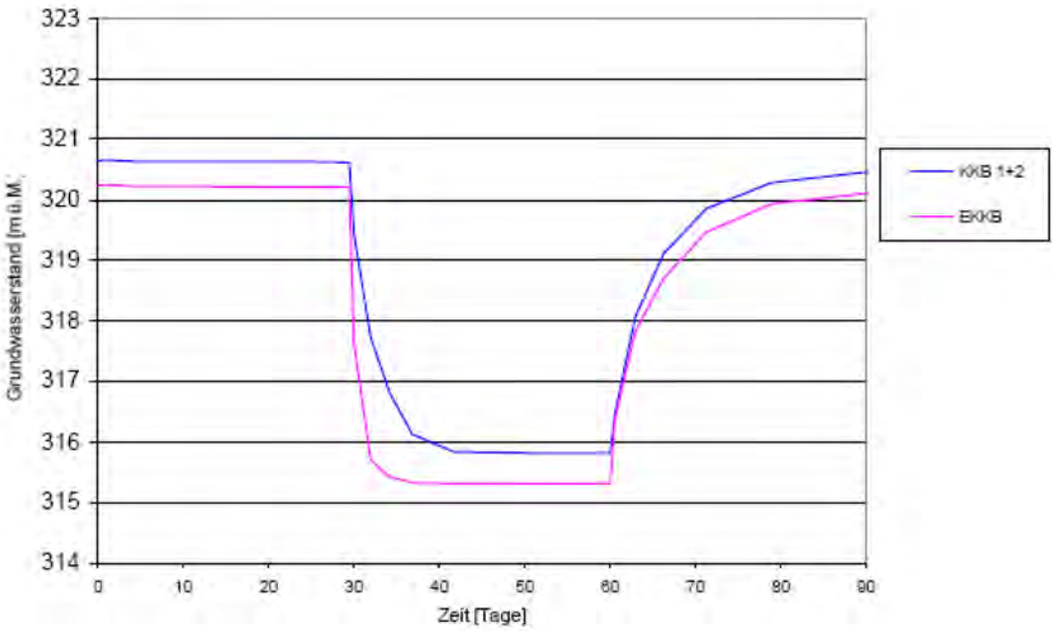
Gemäss den Resultaten der Modellrechnungen ist es problemlos möglich, mit den beiden Filterbrunnen die geforderte Leistung von 300 l/s resp. 200 l/s über eine Zeitdauer von 30 Tagen zu erbringen. Das Isohypsenbild der Grundwasseroberfläche nach 30 Tagen ist aus Abbildung 3.6-27 ersichtlich.

Abbildung 3.6-27: Isohypsen der Grundwasseroberfläche bei Mittelwasser und Notstandsbetrieb nach 30 Tagen (500 l/s)



Die resultierende Absenkung des Brunnenwasserspiegels ist in beiden Notstandsbrunnen praktisch identisch und beträgt rund 4.9 m (Abbildung 3.6-28).

Abbildung 3.6-28: Ganglinien der Grundwasserspiegel in den Notstandsbrunnen (Projekt-Zustand MW)



In den beiden nächstgelegenen Pumpwerken "Unterwald" (Konz.-Nr. 11.37 und 11.16, vgl. Abbildung 3.6-27) wird sich der Grundwasserspiegel nach 30 Tagen Pumpbetrieb um max. ca. 1.3 resp. 0.9 m absenken. Diese vergleichsweise geringe Absenkung des Grundwasserspiegels wird zu keiner nennenswerten Einschränkung im Betrieb der beiden Pumpwerke führen.

Gemäss Modell infiltrieren bei natürlichen Mittelwasserverhältnissen ca. 40 l/s Aarewasser aus dem Oberwasserkanal in das Grundwasser. Während des Pumpbetriebs mit einer Entnahme von total 500 l/s aus den beiden Filterbrunnen erhöhen sich die Wasserverluste aus dem Kanal auf etwa 55 l/s. Die resultierende Erhöhung der Infiltrationsrate von 15 l/s ist im Vergleich zur Pumpmenge bescheiden.

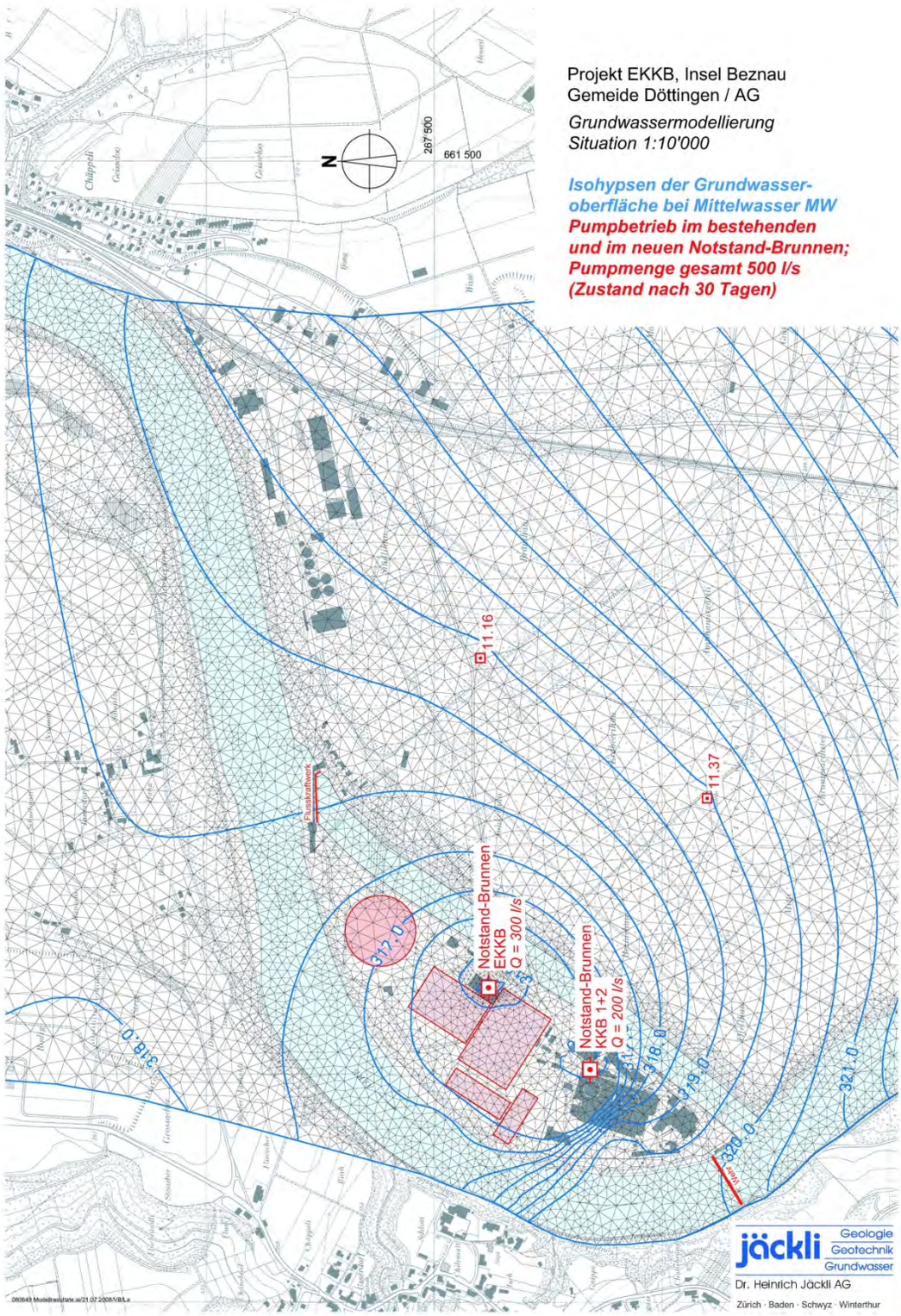
Wie bereits erwähnt, ist aufgrund des Verlaufs der Grundwasserisohypsen im Bereich der Beznau-Insel eine ausgeprägte Vorflutwirkung der Aare im Unterwasserbereich unterhalb des Stauwehrs anzunehmen. Auf dem knapp 1.5 km langen Abschnitt zwischen dem Stauwehr und dem Flusskraftwerk Beznau exfiltrieren gemäss Modellrechnung bei Mittelwasser etwa 135 l/s. Durch den Pumpbetrieb mit einer Förderung von total 500 l/s aus den beiden Notstandsbrunnen wird der Grundwasserspiegel im Unterwasser unter den Flusswasserspiegel abgesenkt. Dadurch kommt es zu einer Umkehr der wechselseitigen Beziehung zwischen Aare und Grundwasser, sodass nun Aarewasser in das Grundwasser infiltrieren kann. Weil die Kolmation der Gewässersohle der Infiltration einen höheren Widerstand entgegensetzt als dies für den Prozess der Exfiltration der Fall ist, wurde der Leakage-Faktor für den Infiltrationsvorgang rund 50% tiefer angesetzt als für die natürlicherweise, vor allem über die hoch durchlässigen Flanken im Uferbereich erfolgende Exfiltration über die hoch durchlässigen Flanken im Uferbereich. Gemäss

Modell beträgt die Infiltrationsrate etwa 105 l/s. Der Hauptanteil des geförderten Grundwassers entspricht einem Zustrom von "echtem" Grundwasser aus dem obstromigen Grundwasserleiter.

Modellierung Niederwasser

In einem zweiten Arbeitsschritt wurde geprüft, ob die erforderlichen Förderraten auch bei Niederwasser erbracht werden können (Abbildung 3.6-29). Gemäss Modell würde sich der Brunnenwasserspiegel im bestehenden Notstandsbrunnen um 4.3 m absenken, im geplanten Filterbrunnen des EKKB ist eine Absenkung von rund 4.0 m zu erwarten.

Abbildung 3.6-29: Isohypsen der Grundwasseroberfläche bei Niederwasser und Notstandsbetrieb nach 30 Tagen (500 l/s)



Die Infiltration aus dem Oberwasserkanal beträgt bei natürlichen Niederwasserverhältnissen gemäss Modell ca. 44 l/s. Die im Vergleich zum Mittelwasser leicht höhere Infiltrationsmenge erklärt sich aus dem Umstand, dass die Infiltrationsleistung im Wesentlichen durch die Differenz zwischen Grundwasser- und Flusswasserspiegel bestimmt wird. Entsprechend der grösseren Potenzialdifferenz resultiert bei Niederwasser eine leicht höhere Infiltrationsmenge aus der Aare.

Bei Pumpbetrieb mit einer Entnahme von 300 l/s resp. 200 l/s über eine Zeitdauer von 30 Tagen erhöhen sich die Wasserverluste aus dem Kanal um ca. 12 l/s auf etwa 56 l/s. Zusätzlich würde im Unterwasserabschnitt Aarewasser mit einer Rate von 130 l/s in das Grundwasser infiltrieren.

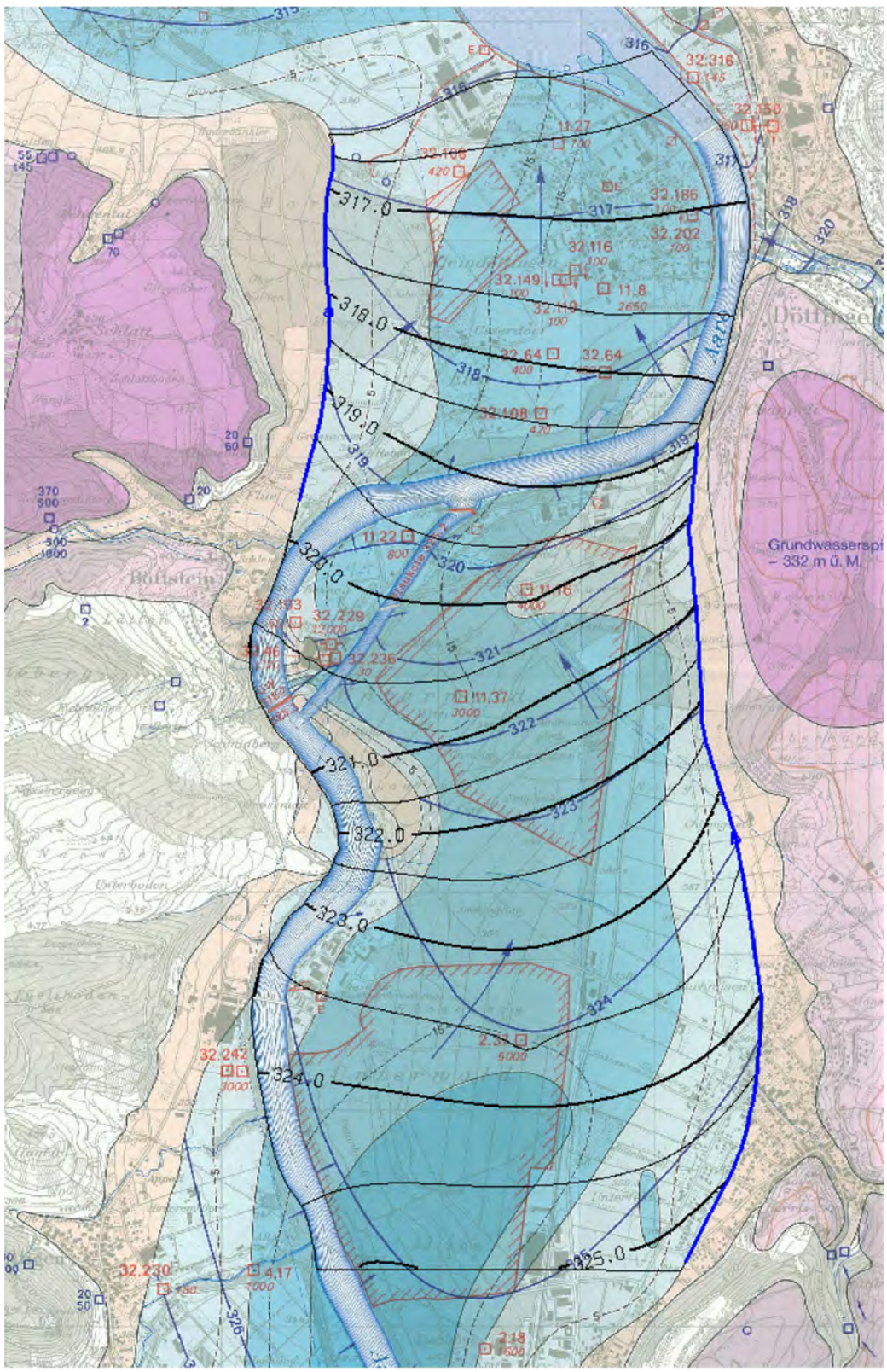
d) Spezialfall: Wegfallen der Stauhaltung

In einem letzten Schritt wurden die Auswirkungen bei einem Wegfallen der Stauhaltung simuliert, und es wurde untersucht, ob auch in diesem Fall die erforderlichen Wassermengen für die Notversorgung zur Verfügung stehen.

Ist-Zustand

Gemäss Ergebnis der Modellrechnung resultiert für dieses Szenario oberhalb der Stauhaltung ein Absinken des Grundwasserspiegels. Dies ist auf eine verminderte Infiltration aus der Aare zurückzuführen. Im Bereich der Beznau-Insel infiltriert kein Wasser mehr aus dem Kanal, sondern nur noch aus der Aare. Die heutige Vorflutwirkung der Aare im Unterwasserbereich entfällt weitgehend, sodass im Kraftwerksbereich geänderte Fliessverhältnisse resultieren. Unterhalb der Stauhaltung, im nördlichen Teil des Modellgebiets, würde die Grundwasseroberfläche etwa gleich bleiben. Abbildung 3.6-30 zeigt das simulierte Isohypsenbild bei einem Wegfallen der Stauhaltung im Vergleich zum heutigen Zustand gemäss Grundwasserkarte.

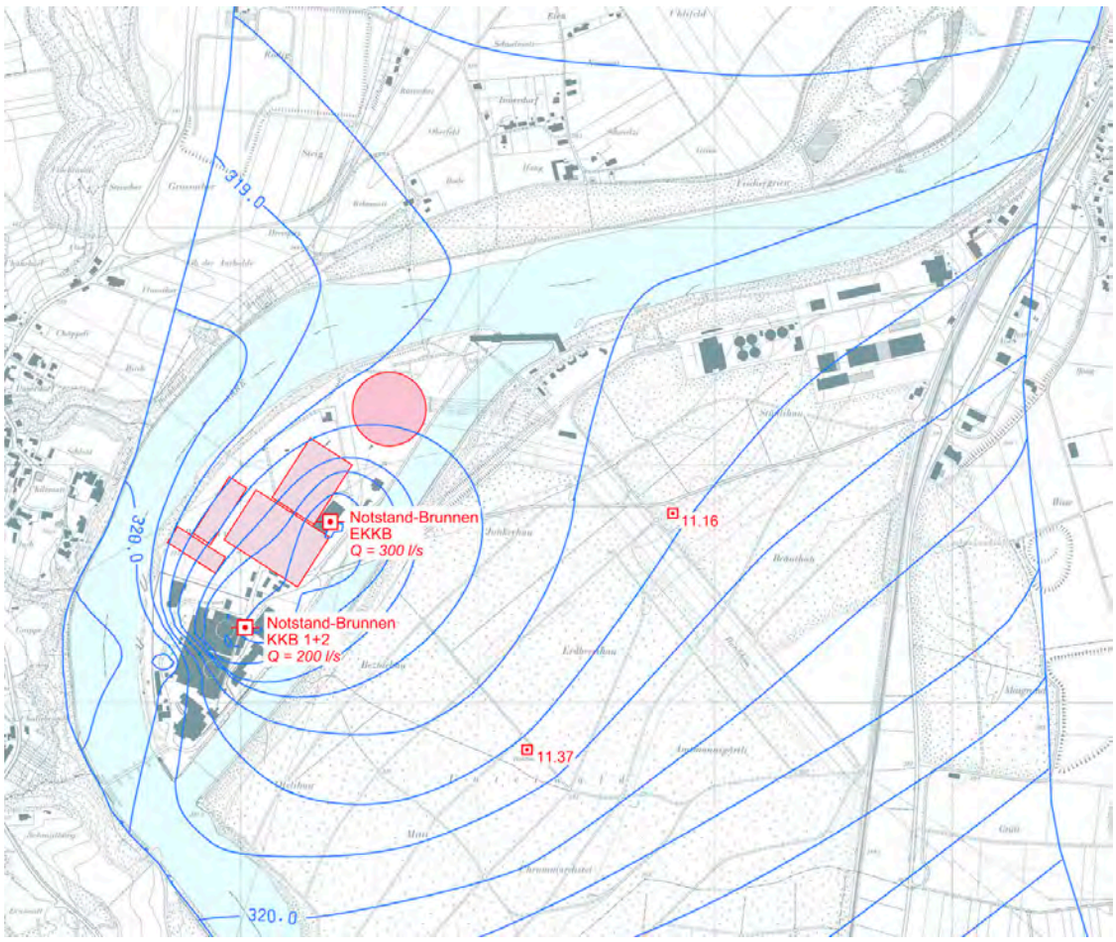
Abbildung 3.6-30: Isohypsen der Grundwasseroberfläche bei Mittelwasser und Wegfallen der Stauhaltung (schwarz) im Vergleich zur Grundwasserkarte (blau)



Projekt-Zustand

Gemäss den Resultaten der Modellrechnungen ist es bei einem Wegfallen der Stauhaltung immer noch möglich, mit den beiden Notstandsbrunnen die erforderliche Entnahmeleistung von 300 l/s resp. 200 l/s über eine Zeitdauer von 30 Tagen zu erbringen. Das Isohypsenbild der Grundwasserfläche nach 30 Tagen ist aus Abbildung 3.6-31 ersichtlich. Es resultiert eine etwas geringere Grundwasserspiegelabsenkung als beim Szenario Ist-Zustand. Grund hierfür ist die verstärkte Infiltration von Wasser aus der Aare.

Abbildung 3.6-31: Isohypsen der Grundwasseroberfläche bei Mittelwasser und Wegfallen der Stauhaltung; Pumpbetrieb im bestehenden und im neuen Notstandsbrunnen: gesamt 500 l/s (Zustand nach 30 Tagen)



3.6.7.2.5 Zuverlässigkeit der Modellresultate

a) Beurteilung der Unsicherheiten

Die Resultate von Modellrechnungen sind stets mit gewissen Unsicherheiten behaftet und stellen grundsätzlich nur eine Annäherung an die tatsächlichen Verhältnisse dar. Die Zuverlässigkeit der Modellergebnisse ist umso besser, je kleiner die Unsicherheiten in Bezug auf die Eingabedaten sind.

Im vorliegenden Fall konnten die hydraulischen Verhältnisse des Aare-Grundwasserstroms recht gut simuliert werden. Die gewählten Durchlässigkeiten entsprechen etwa den aus Pumpversuchen ermittelten Werten. Eine gewisse Vereinfachung stellt die homogene Durchlässigkeitsverteilung in vertikaler Richtung dar.

Die grössten Unsicherheiten betreffen die hydraulischen Parameter resp. die Durchlässigkeit der Aaresohle ("Leakage"). Diese wurden aufgrund einer ersten Schätzung vorgegeben und anschliessend durch Kalibrierung für den Ist-Zustand noch angepasst.

Bei der instationären Eichung des Modells bzw. der Simulation der früheren Pumpversuche zeigte sich, dass der quasistationäre Zustand (Beharrungszustand) im Modell deutlich langsamer erreicht wird, als dies bei den Pumpversuchen seinerzeit beobachtet werden konnte. Eine Erklärung dafür könnte die "Zeitabhängigkeit" der Porosität bei rascher Absenkung des Grundwasserspiegels sein: Eine hohe Absenkgeschwindigkeit der Grundwasseroberfläche bei grosser Förderung führt zu einem verzögerten, unvollständigen Entleeren des Absenktrichters. Dadurch werden deutlich zu kleine nutzbare Porositäten vorgetäuscht. Erst mit zunehmender Pumpdauer kommt die effektiv nutzbare Porosität zum Tragen. Eine solche zeitliche Abhängigkeit der Porosität kann mit dem numerischen FE-Modell nicht nachgebildet werden. Dem Modell wurde eine konstante Porosität von 0.15 zugrunde gelegt, was einen repräsentativen Wert für die Niederterrassenschotter darstellt.

Im Beharrungszustand zeigen die Modellrechnungen hingegen eine sehr gute Übereinstimmung mit der beobachteten Absenkung des Grundwasserspiegels. Dies zeigt, dass mit der im Modell gewählten Porosität der stationäre Zustand nach Erreichen der Beharrung zutreffend nachgebildet werden kann.

b) Sensitivitätsanalyse

Im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse wurde der Einfluss der einzelnen Parameter auf die Modellresultate ermittelt. Als relativ sensitiv erwiesen sich dabei die zonar kalibrierten Durchlässigkeitsbeiwerte. Für den Fall höherer Genauigkeitsanforderungen an das Modell besteht diesbezüglich ein Bedarf für eine weiterführende Datenerhebung. Grundsätzlich wird der Beharrungszustand bei der Wahl von grösseren k-Werten zwar schneller erreicht, was mit den Messungen besser übereinstimmen würde. Gleichzeitig resultiert aber eine deutlich geringere Wasserspiegelabsenkung. Durch geänderte k-Werte konnte somit keine Verbesserung der instationären Eichung erzielt werden.

Eine Variation der effektiven Porosität führt zu einer Änderung der Absenkgeschwindigkeit. Wird die Porosität im Modell verkleinert, so ist weniger Wasser im System gespeichert und die Absenkung erfolgt im Brunnennahbereich entsprechend schneller. Es hat sich jedoch gezeigt, dass die Sensitivität dieses Parameters wesentlich geringer ist, da die Porosität nur in einer engen

Bandbreite variiert werden kann. Eine zeitliche Änderung der Porosität bei Pumpversuchen, wie sie im vorangehenden Kapitel diskutiert wird, kann mit dem numerischen Modell nicht simuliert werden.

Einen recht grossen Einfluss auf die Modellresultate üben auch die Leakage-Werte in Aare und Oberwasserkanal aus. Bei Annahme grösserer Leakage-Werte infiltriert mehr Wasser aus dem Oberwasserkanal. Analog zu grösseren Durchlässigkeiten wird der quasistationäre Zustand während des Pumpversuchs schneller erreicht, aber die simulierten Absenkungen sind entsprechend kleiner. Durch Variation der Leakage-Werte konnte die Übereinstimmung zwischen den Modellergebnissen und den Messungen hinsichtlich des zeitlichen Absenkvorgangs während der Pumpversuche somit ebenfalls nicht weiter verbessert werden. Die übrigen Modellparameter vermochten die Modellresultate in Bezug auf die Pumpversuchsergebnisse nicht signifikant zu beeinflussen.

3.6.7.3 Zusammenfassung und Folgerungen

Für die Notstandsversorgung der sicherheitsrelevanten Kühlsysteme von KKB 1 und 2 sowie des EKKB wurde eine erforderliche Wassermenge von 500 l/s postuliert. Zur Beurteilung der Frage, ob und für welche Zeitdauer diese Grundwassermenge zur Verfügung steht, wurde ein zweidimensionales FE-Grundwasserströmungsmodell erstellt. Das Modell wurde sowohl stationär als auch instationär, anhand der Resultate früherer Pumpversuche, geeicht. Dabei konnte eine gute Übereinstimmung zwischen gemessenen und simulierten Daten erzielt werden.

Mit Hilfe des kalibrierten Strömungsmodells wurde anschliessend das Prognoseszenario mit einer Entnahme von 200 l/s aus dem bestehenden Notstandsbrunnen und zusätzlich 300 l/s aus einem neuen Horizontalfilterbrunnen beim EKKB berechnet. Im Modell wurden die bestehenden und die gemäss Anlagenvariante EPR geplanten Einbauten in den Grundwasserleiter berücksichtigt.

Trotz der beachtlichen Grundwasserentnahme resultiert gemäss Modell keine Feldabsenkung resp. keine Übernutzung des vorhandenen Grundwasserdargebotes. Die lokale Absenkung in den Filterbrunnen beträgt maximal rund 4-5 m. Der Brunnenwasserspiegel wird somit nur etwa 0.5-1.5 m tiefer abgesenkt als bei Einzelbetrieb und maximaler Entnahme im bestehenden "Nano-Brunnen". Die Infiltrationsmenge aus dem Oberwasserkanal erhöht sich bei Pumpbetrieb von 40-45 l/s auf etwa 55 l/s. Zusätzlich infiltrieren 100-130 l/s Aarewasser aus dem Unterwasser in das Grundwasser. Der Anteil an Aare-Infiltrat, welches im Bereich der Beznau-Insel infiltriert, macht somit einen Anteil von ca. 30-35% der Gesamtfördermenge aus.

In den beiden nächstgelegenen, gleichnamigen Pumpwerken "Unterwald" der NOK (Konz.-Nr. 11.37) und der Gemeinde Döttingen (Konz.-Nr. 11.16, vgl. Abbildung 3.6-18) wird sich der Grundwasserspiegel nach 30 Tagen Pumpbetrieb um maximal ca. 1.3 resp. 0.9 m absenken. Diese vergleichsweise geringe Absenkung wird zu keiner nennenswerten Einschränkung im Betrieb der beiden Pumpwerke führen. Selbst bei natürlicherweise tiefen Grundwasserständen und gleichzeitiger Grundwasserentnahme für die Notstandskühlung wird der Wasserstand in den beiden Fassungen ca. 8 m (11.37) resp. 2.3 m (11.16) über dem Niveau der installierten Unterwasserpumpen liegen. Ein intensiver Förderbetrieb, d.h. ein Dauerbetrieb mit der konzessionierten Entnahmemenge wird demzufolge selbst unter diesen ungünstigen Randbedingungen problemlos möglich sein.

Gestützt auf die ausgeführten Modellrechnungen sollte eine Notstandsversorgung der sicherheitsrelevanten Kühlsysteme mit dem vorhandenen Grundwasser während einer Dauer von bis zu 30 Tagen somit ohne Probleme möglich sein. Die Realisierung eines Horizontalfilterbrunnens mit einer entsprechend hohen Brunnenergiebigkeit, analog dem Notstandsbrunnen des KKB, wird dabei vorausgesetzt.

Ein Wegfallen des Stauwehrs hätte keine nachteiligen Folgen in Bezug auf die Ergiebigkeit der beiden Notstandsbrunnen. Die Modellrechnungen zeigen, dass das vorhandene Grundwasserdargebot selbst bei dieser Spezialsituation ausreichen wird, um die Notversorgung während 30 Tagen sicherstellen zu können.

3.6.8 Externe Ereignisse

Es bestehen bezüglich Grundwasserverhältnisse keine externen Ereignisse, welche zu Störfällen führen könnten. Ein rascher Verlust der Grundwassermächtigkeit bzw. von dessen Ergiebigkeit ist nicht vorstellbar. Auch ein totaler Verlust der Stauhaltung zum Beispiel bei Erdbeben führt nicht zu einem transienten Verlust der Grundwassermächtigkeit. Die regelmässig durchgeführten betrieblichen Prüfungen der Grundwasserbrunnen und Pumpen würden eine langsame Veränderung der Grundwassertemperatur bzw. Ergiebigkeit rechtzeitig entdecken.

3.6.9 Beurteilung der Standorteignung

Die Grundwasserverhältnisse im Unteren Aaretal sind dank zahlreichen Untersuchungen im Zusammenhang mit der intensiven öffentlichen und privaten Nutzung und mit dem Schutz des Grundwassers und nicht zuletzt auch mit den Aktivitäten der NOK im Raum Beznau ausgesprochen gut bekannt und in zahlreichen Unterlagen ausführlich dokumentiert.

Die Untersuchungen zeigen im Wesentlichen, dass die bisherigen Aktivitäten und Nutzungen in der Region das wichtige Grundwasservorkommen weder in qualitativer noch in quantitativer Hinsicht in nennenswertem Ausmass nachteilig beeinflusst haben.

Abhängig vom Reaktortyp wird gegebenenfalls externes Kühlwasser zur Kühlung von sicherheitsrelevanten Komponenten und Räumen benötigt, einerseits für die Nachspeisung von geschlossenen Kühlkreisläufen, anderseits für die Direktkühlung.

Wie oben erwähnt verfügt der Standort über eine ausreichende Grundwasserergiebigkeit, um solche Kühlzwecke zu gewährleisten. Grundwasser kann auch verwendet werden, um die Feuerlöschwasserreservoire zu füllen und nachzuspeisen.

Die Grundwassertemperaturen am Standort weisen niedrigere Schwankungsbreiten auf, verglichen mit Flusswassertemperaturen. Auch aus diesem Grund ist Grundwasser als Kühlmittel geeignet.

Aufgrund des hohen Grundwasserdargebotes stehen noch Reserven zur Verfügung. Die Grundwasserergiebigkeit am Standort ist auch ausreichend für die Versorgung im Notstand, falls notwendig. Die Versorgung im Normalbetrieb ist problemlos. Die Temperaturverhältnisse sind ausreichend bekannt und liefern eine gute Basis für die Auslegung der durch Grundwasser gekühlten Systeme und Komponenten. Es wird dazu eine Betrachtung der längerfristigen Einflüsse von Klimaveränderungen auf die Grundwasserverhältnisse notwendig, um Auslegungsparameter festzulegen, welche bis zum Ende der Lebensdauer der Anlage bestehen.

Ebenfalls sind die chemischen Eigenschaften des Grundwassers gut bekannt und die Erfahrungen in KKB 1 und 2 zeigen keinerlei Schwierigkeiten.

Aus diesen Überlegungen ist ersichtlich, dass die Grundwassereigenschaften am Standort Beznau geeignet sind für den Bau und Betrieb des EKKB.

Die Auswirkungen des Projekts EKKB und einer Klimaerwärmung auf den Temperaturhaushalt des Grundwassers sind im Rahmen der Vorbereitung zum Baubewilligungsgesuch weiter zu untersuchen. Gemäss aktuellen Prognosen des Bundesamtes für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz, Zürich, muss bei den Lufttemperaturen in der Schweiz bis 2070 mit einer Erwärmung von bis zu 4.7 °C gerechnet werden. Diese erhöhten Temperaturen werden sich auch auf die Oberflächengewässer und von dort ins Grundwasser durchpausen. Es muss somit im Grundwasser eine ähnliche Temperaturerhöhung wie in der Luft postuliert werden.

3.6.10 Umsetzung bei der Auslegung

Abhängig von der Reaktorauslegung wird externes Kühlwasser zur Kühlung von sicherheitsrelevanten Komponenten und Räumen und zur Abführung von Restwärme aus Reaktor, Containment und Brennelementlagerbecken benötigt.

Wie oben erwähnt verfügt der Standort über ausreichende Mengen Grundwasser, um die Notstandskühlung sowie die Nachspeisung von Feuerlöschwasserreserven sicherzustellen bzw. die übrigen Systeme zu unterstützen. Die Wassertemperaturen liegen innerhalb des für die Auslegung der Kühlsysteme geforderten Rahmens.

Die Verfügbarkeit sicherheitsrelevanter Grundwasserbrunnen und Systeme unter Störfallbedingungen (insbesondere bei Erdbeben) muss gewährleistet werden (vgl. dazu Kapitel 3.6.7).

Grundsätzliche Anforderungen an die sicherheitsrelevante Auslegung im Zusammenhang mit der Kühlung sind in der Kernenergieverordnung Art. 10 und in der HSK-Richtlinie HSK-R-101 (bzw. neue Richtlinie G02) festgelegt.

Detaillierte Angaben zur Auslegung der Kühlsysteme sind Gegenstand des Sicherheitsberichts zur Baubewilligung und der vorläufigen und definitiven Systemauslegungsspezifikationen. Diese Unterlagen werden im Rahmen der Gesuche zur Baubewilligung bzw. ersten Baufreigabe erstellt und eingereicht, entsprechend den Anforderungen der Kernenergieverordnung Anhang 4.

Es werden folgende weitere grundwasserspezifische Untersuchungen im Rahmen der Vorbereitung des Baugesuchs vorgesehen:

- Standortabklärungen für den allfälligen, erforderlichen Notstandsbrunnen mit Bohrungen und Pumpversuchen
- Laufende Neuberechnung der Verminderung der Durchflusskapazität je nach Projektstand
- Abschätzung der Auswirkungen eines zusätzlichen Wärmeeintrags in die Aare bzw. ins Grundwasser. Mit der gewählten Variante eines geschlossenen Kühlkreises für das Hauptkühlwassersystem wird der Wärmeeintrag in die Aare minimiert. Ein Wärmeeintrag in das Grundwasser kann hauptsächlich über die Gebäudefundamente erfolgen. Die tendenzielle Erhöhung der Grundwassertemperatur wird weiter verfolgt und der Einfluss von Klimaprognosen berücksichtigt. Diese Problematik wird nicht zuletzt angesichts der schon vorhandenen tendenziellen Zunahme der Grundwassertemperaturen bei der weiteren Planung frühzeitig berücksichtigt.

3.6.11 Anhang 17: Chemische Beschaffenheit des Grundwassers

Abbildung 3.6-32: Chemische Beschaffenheit des Grundwassers im PW Unterwald, Döttingen, Teil 1

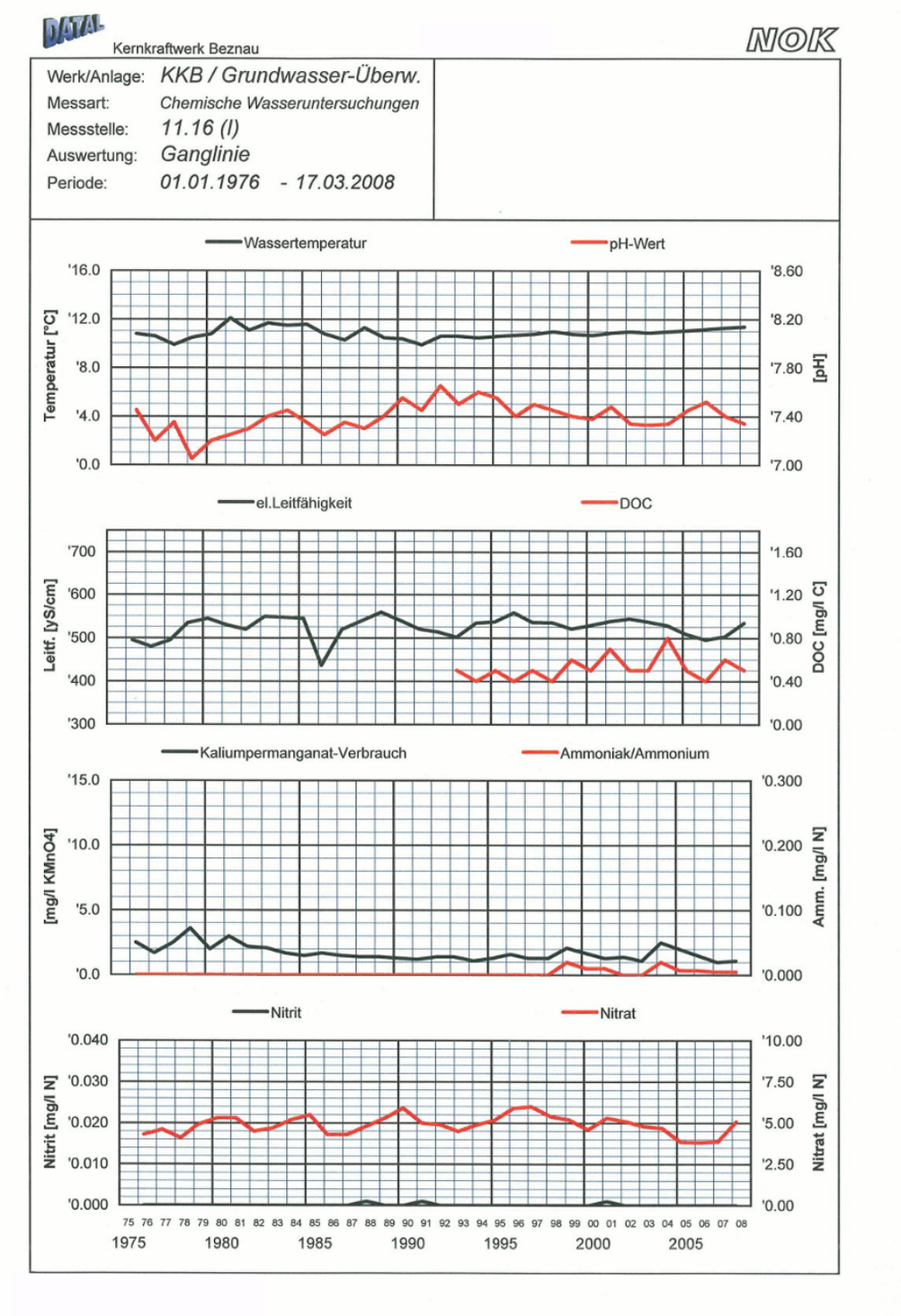


Abbildung 3.6-33: Chemische Beschaffenheit des Grundwassers im PW Unterwald, Döttingen, Teil 2

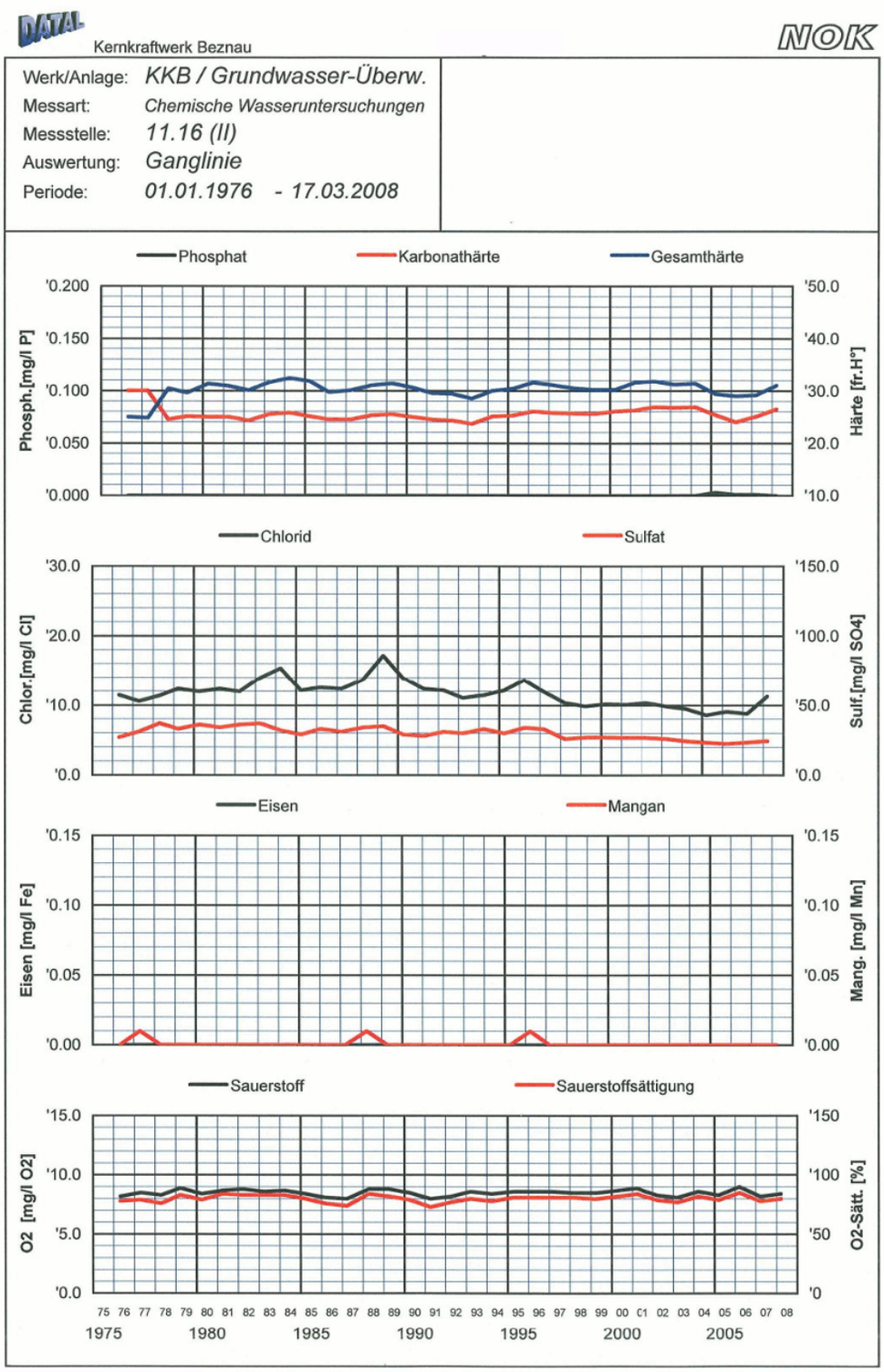


Abbildung 3.6-34: Chemische Beschaffenheit des Grundwassers im PW Beim Schulhaus, Böttstein, Teil 1

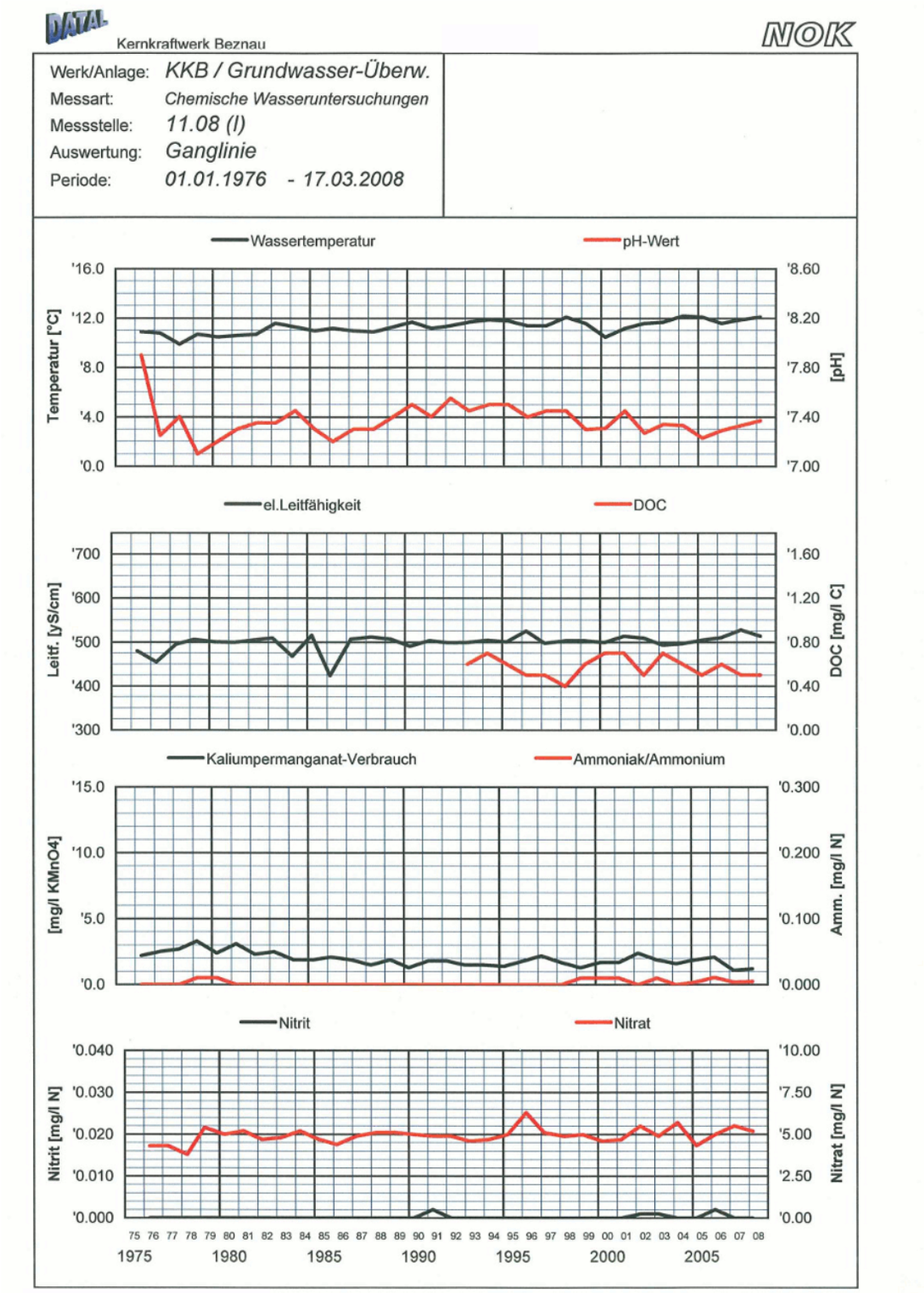


Abbildung 3.6-35: Chemische Beschaffenheit des Grundwassers im PW Beim Schulhaus, Böttstein, Teil 2

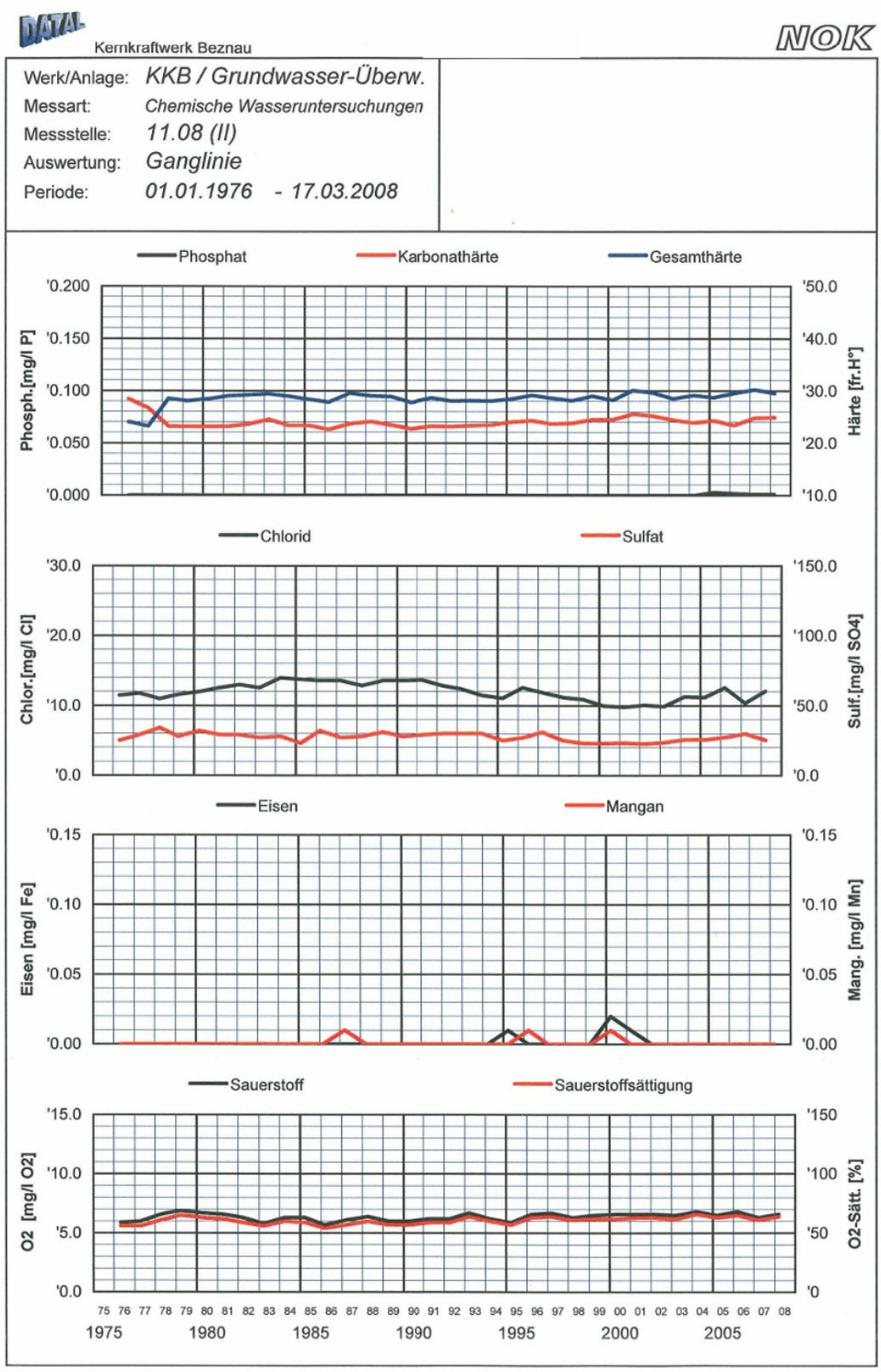


Abbildung 3.6-36: Chemische Beschaffenheit des Grundwassers im Brunnen 1001, Kleindöttingen, Teil 1

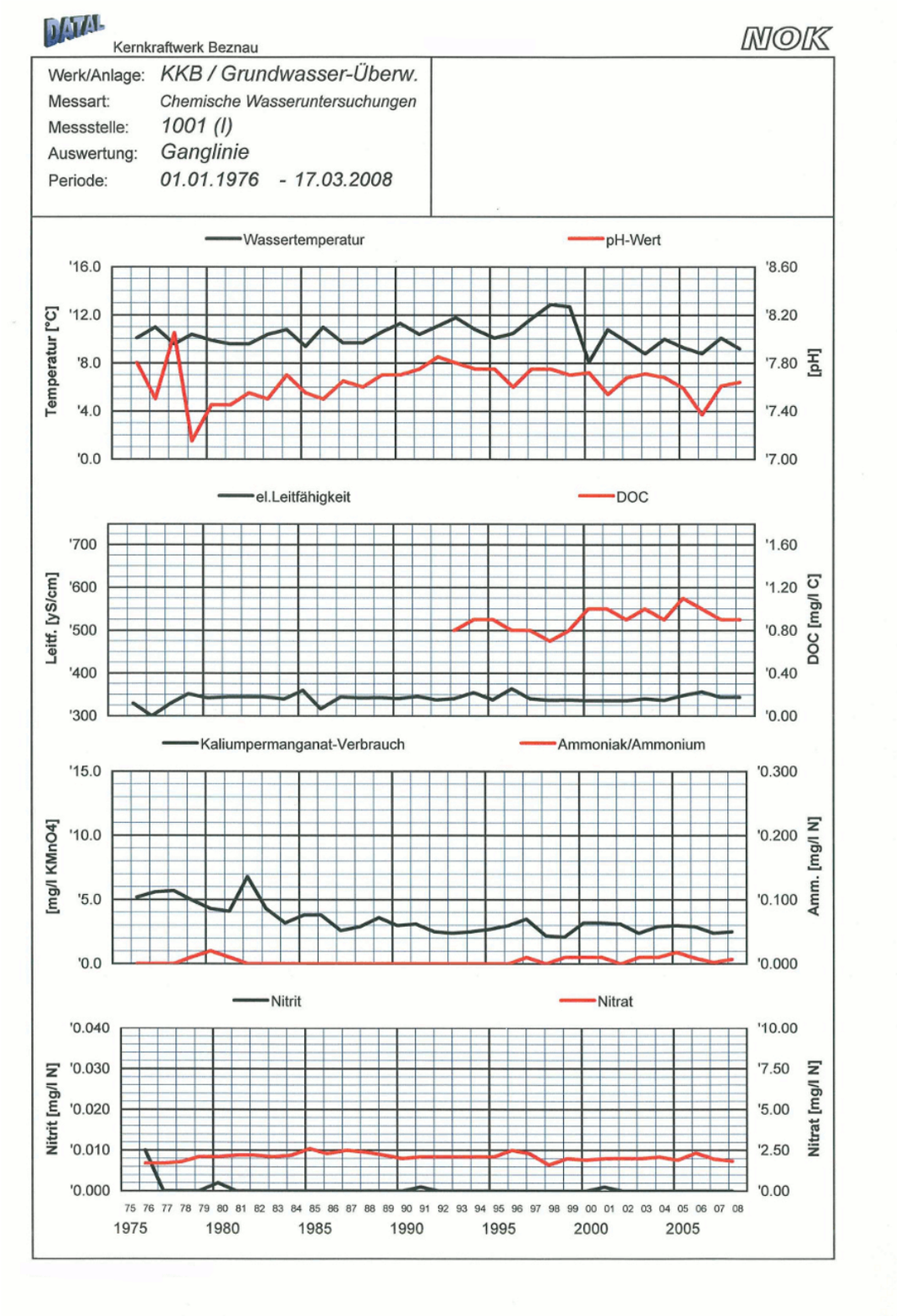
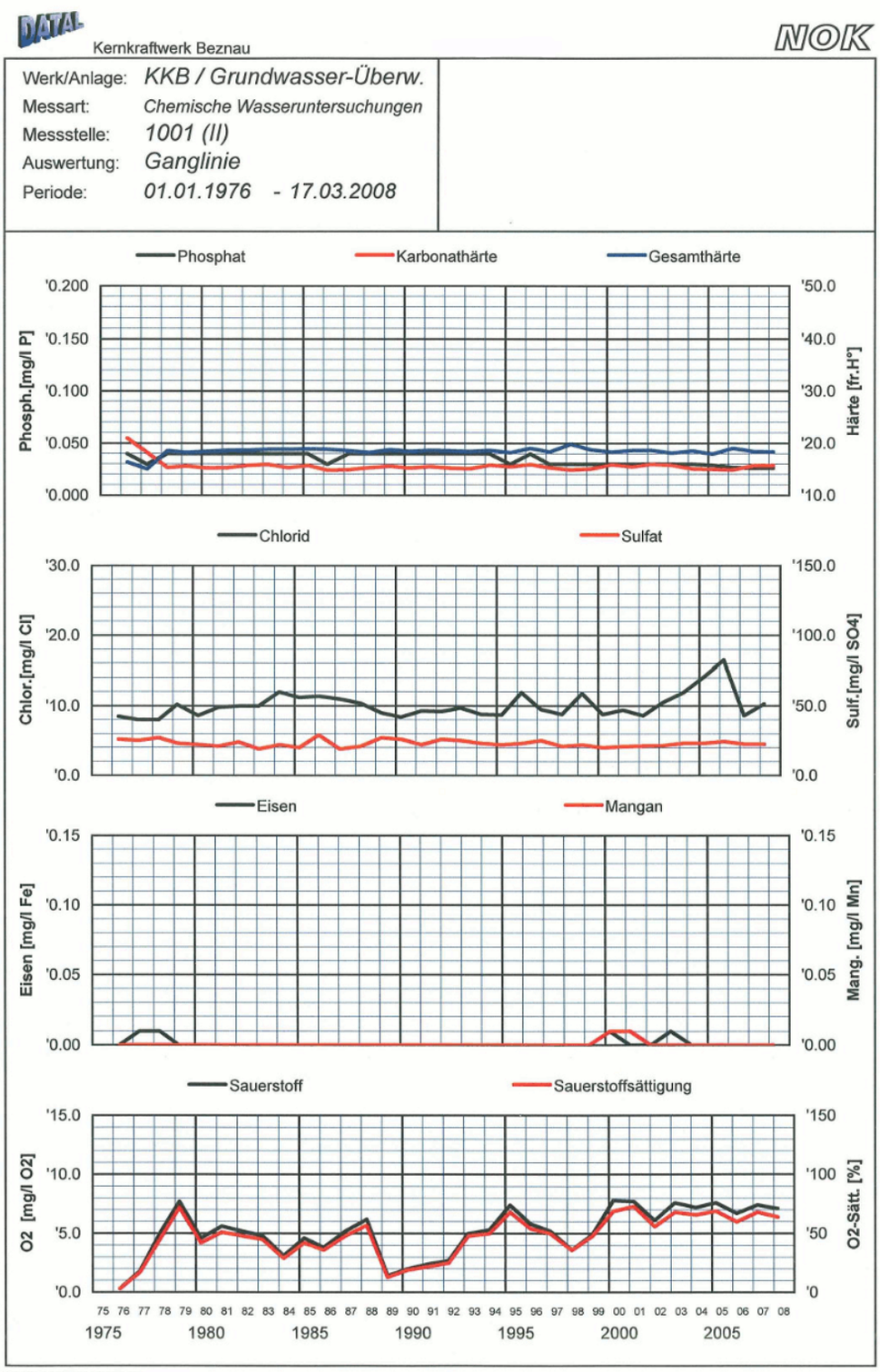


Abbildung 3.6-37: Chemische Beschaffenheit des Grundwassers im Brunnen 1001, Kleindöttingen, Teil 2



3.6.12 Anhang 18: Temperatur des Grundwassers und der Aare

Abbildung 3.6-38: Ganglinien der Temperatur in der Aare, Messstelle T22, Oberwasserkanal, 1968-2007

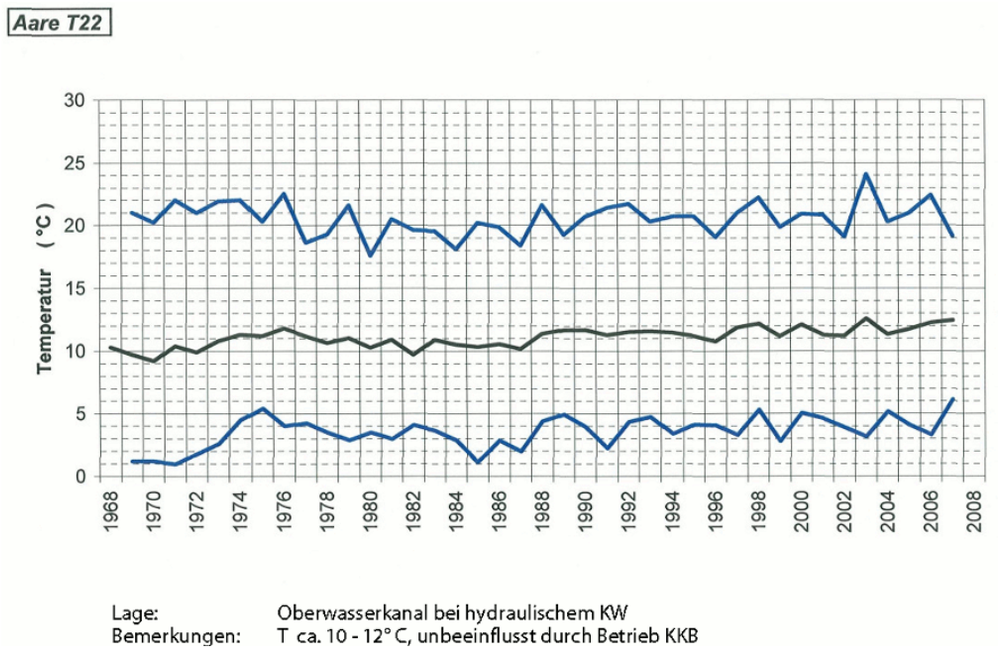


Abbildung 3.6-39: Ganglinien der Temperatur in der Aare, Messstelle T4, unterhalb des KKB, 1976-2007

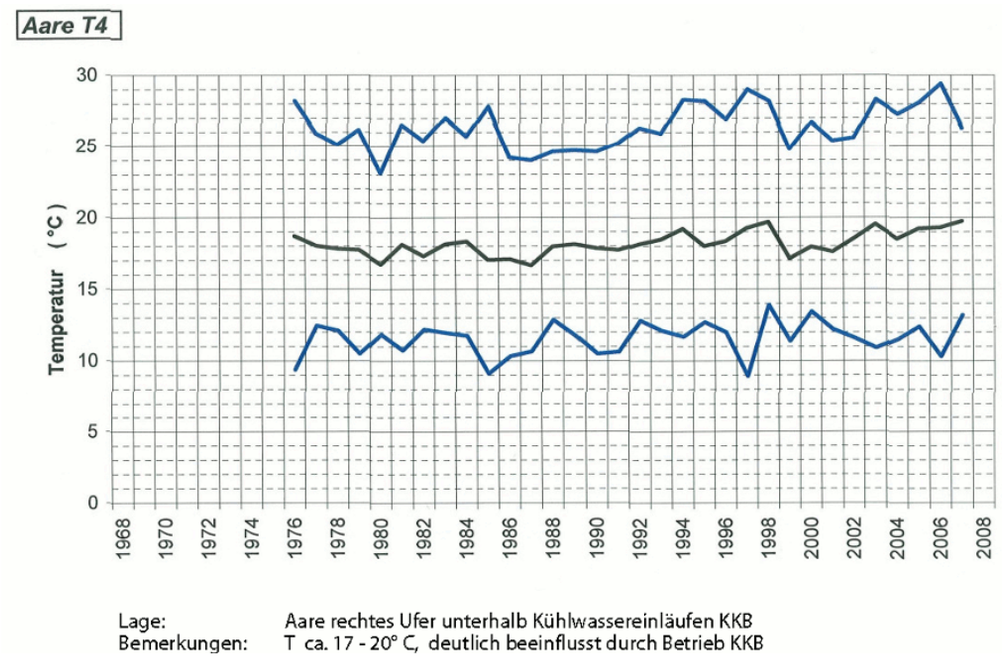
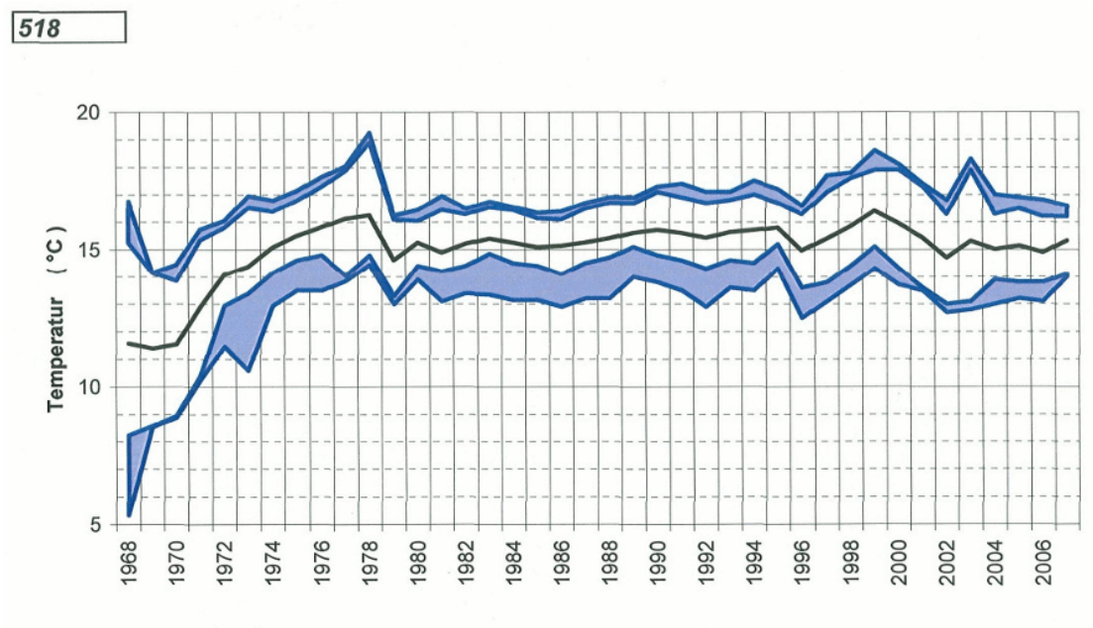
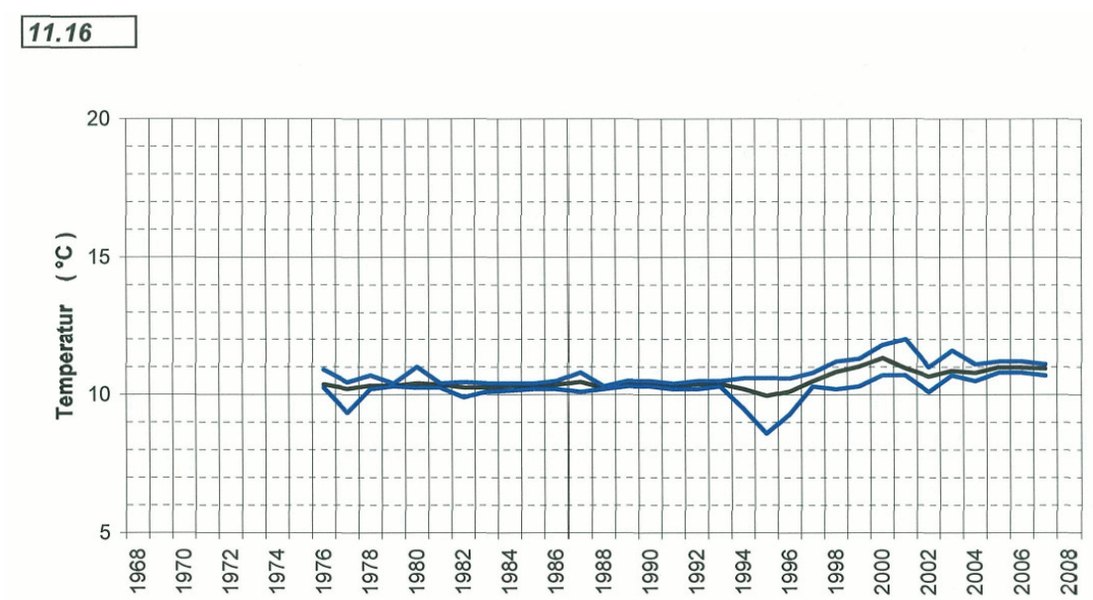


Abbildung 3.6-40: Ganglinien der Temperatur im Beobachtungsrohr 518, 1968-2007



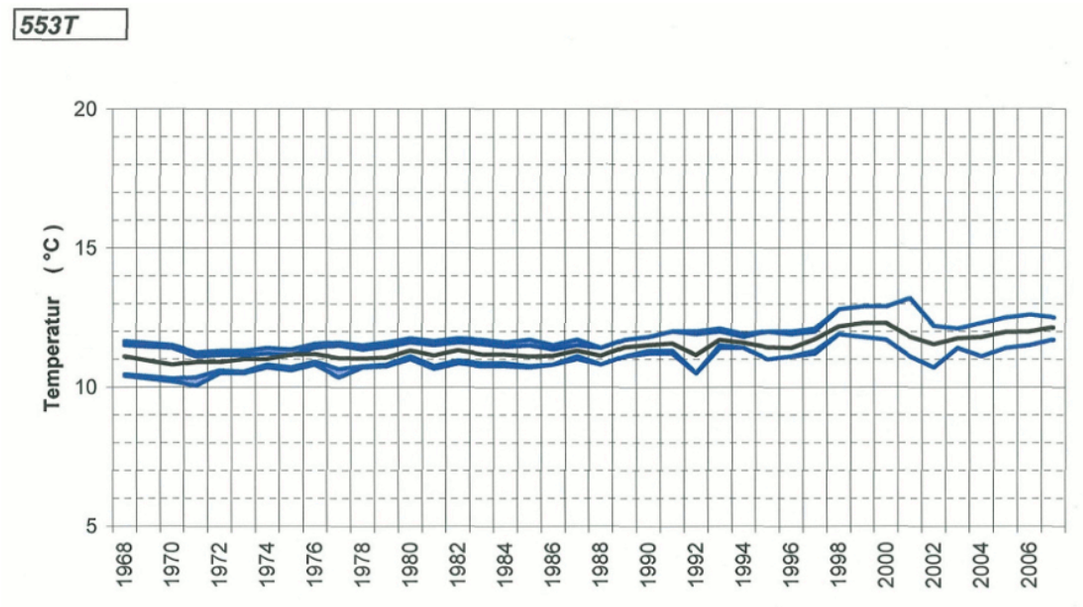
Lage: Beznau-Insel, zwischen den Kühlwasserausläufen
Bemerkungen: deutliche Aufwärmung nach Betriebsaufnahme KKB

Abbildung 3.6-41: Ganglinien der Temperatur im PW Unterwald, Döttingen (11.16), 1976-2007



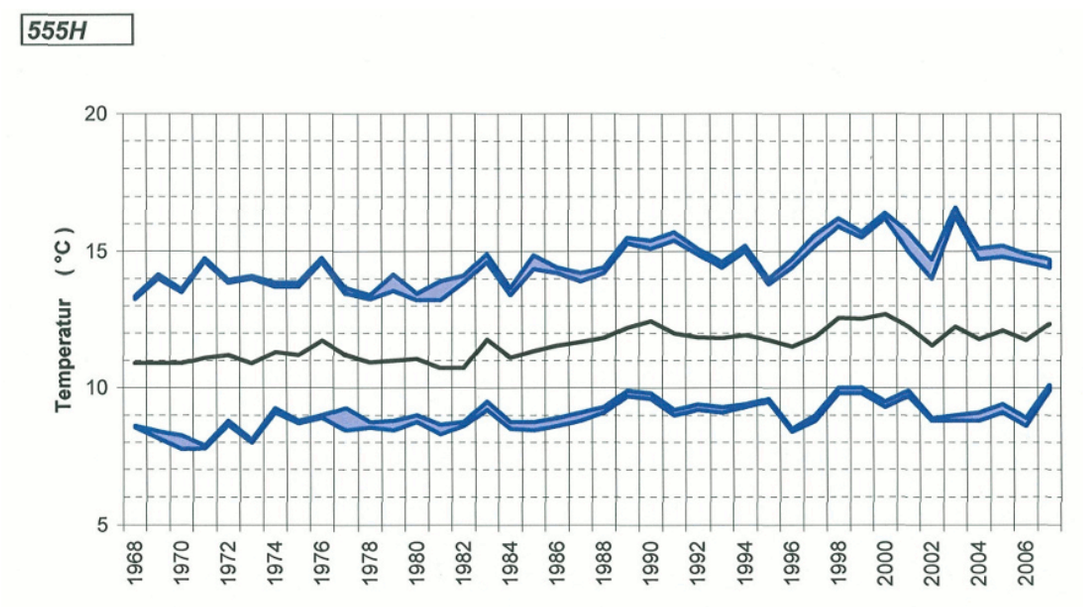
Lage: Gebiet Unterwald, Zuströmbereich KKB
Bemerkungen: Homotherm, tendenzieller Anstieg seit Mitte der 90-er Jahre, Klimaeffekt

Abbildung 3.6-42: Ganglinien der Temperatur im Beobachtungsrohr 553T, 1968-2007



Lage: linkes Aareufer Nahbereich, tiefer Teil Grundwassersäule
Bemerkungen: Homotherm, tendenzieller Anstieg seit 80-er Jahren

Abbildung 3.6-43: Ganglinien der Temperatur im Beobachtungsrohr 555H, 1968-2007



Lage: linkes Aareufer entfernter Bereich, oberer Teil Grundwassersäule
Bemerkungen: deutliche Schwankungen, tendenzieller Anstieg seit 80-er Jahren

Abbildung 3.6-44: Ganglinien der Temperatur im Beobachtungsrohr 558, 1968-2007

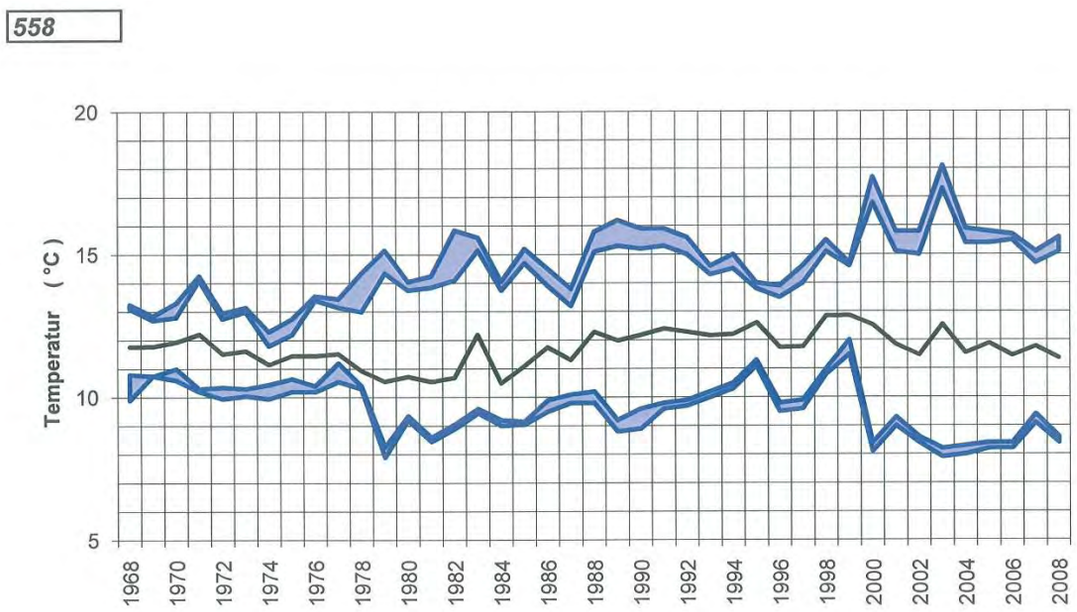
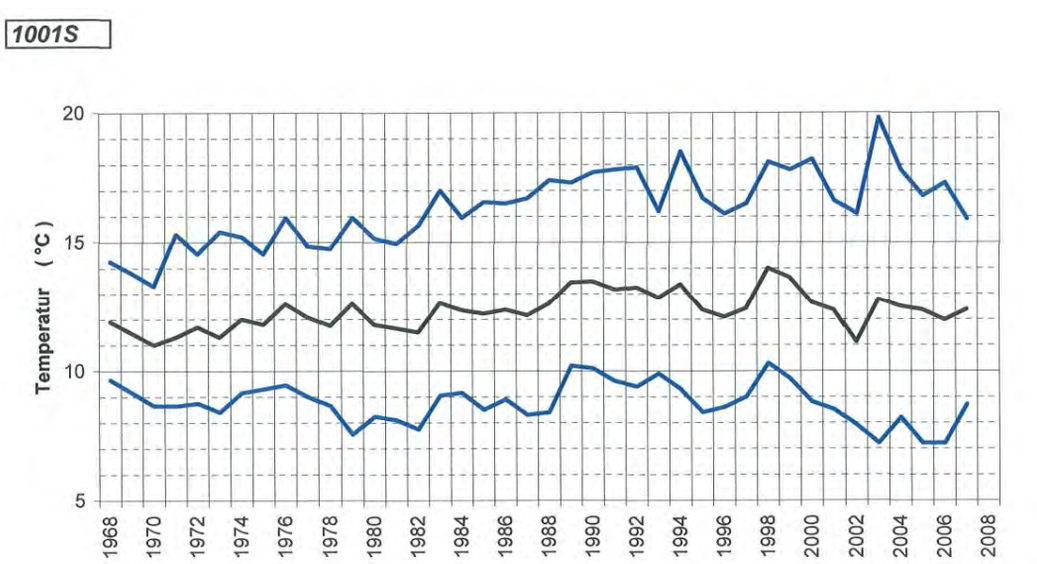
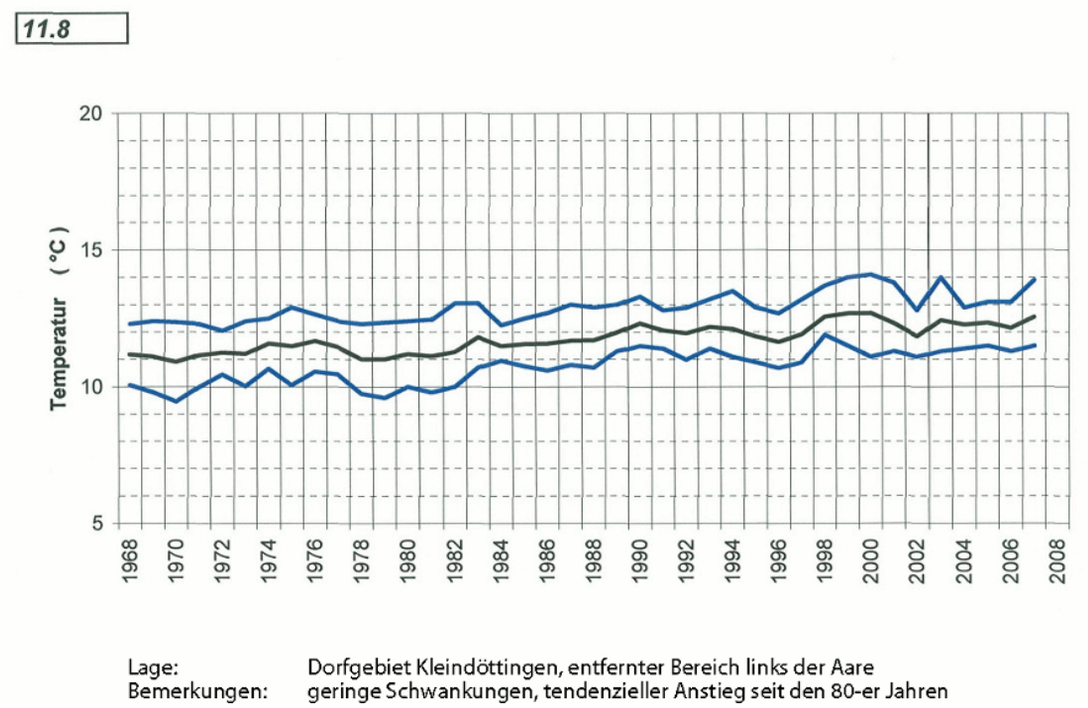


Abbildung 3.6-45: Ganglinien der Temperatur im Brunnen 1001, Kleindöttingen, 1968-2007



Lage: Dorfgebiet Kleindöttingen, Nahbereich links der Aare
Bemerkungen: Mässige Schwankungen, tendenzieller Anstieg in den 80-er und 90-er Jahren

Abbildung 3.6-46: Ganglinien der Temperatur im PW beim Schulhaus, Kleindöttingen (11.08), 1968-2007



3.7 Geologie, Baugrundeigenschaften und Erdbebengefährdung

3.7.1 Geologie

3.7.1.1 Geologie in der weiteren Umgebung des Standortes

3.7.1.1.1 Talgeschichte

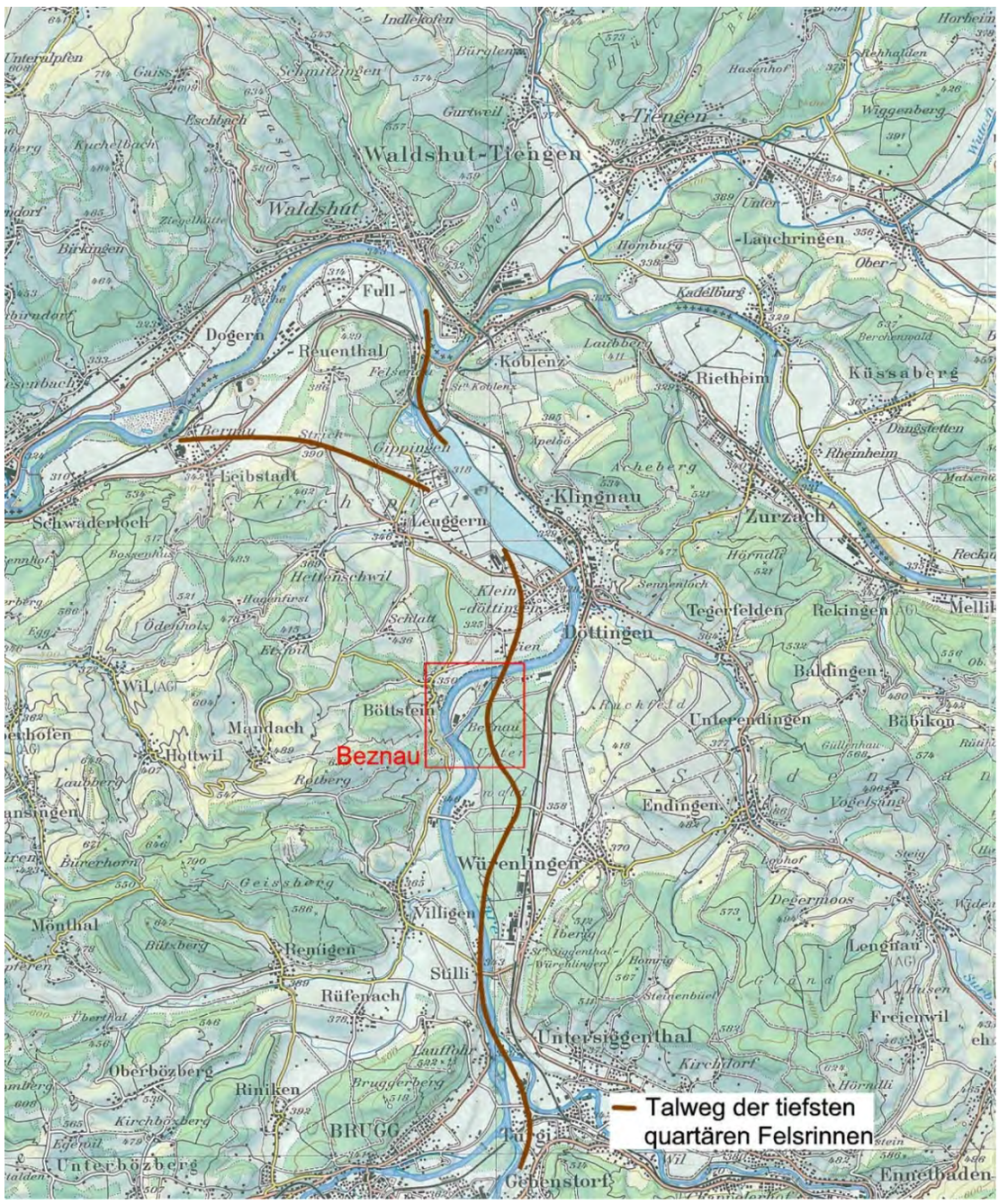
Die Beznau liegt im unteren Aaretal, welches in die flach gegen Südsüdost einfallenden Schichten des Tafeljuras eingeschnitten ist. Das Tal wurde bereits im frühen Pliozän vor rund 10 Millionen Jahren, spätestens aber zu Beginn der Jurafaltung angelegt; hier flossen während dieser langen Zeit die gesammelten Flusssysteme von Aare, Reuss und Limmat, und zeitweise auch Walensee-Rhein, gegen Norden ab. Ursprünglich erfolgte die Entwässerung ab Klingnau in nordöstlicher Richtung über das Wutachtal gegen die Donau, erst vor ca. 4.2 Mio. Jahren wurde die Aare bei Klingnau/Koblenz gegen Westen in das heutige Hochrheintal abgelenkt. Der Bodensee-Rhein hat die Aare im Raum Koblenz erst noch später, d.h. vor ca. 1.7 Mio. Jahren erreicht [98].

Im Zuge der zahlreichen quartären Eiszeiten in den letzten 2 Mio. Jahren ist das Aaretal zuerst sukzessive tiefer in die Felsunterlage eingekerbt und in jüngerer Zeit mit fluvioglazialen Sedimenten unterschiedlicher Beschaffenheit aufgefüllt worden. Die tiefste Erosion erfolgte wohl während einer der grössten Vergletscherungen vor mehr als 600'000 Jahren. Der Talweg der tiefsten Felsrinne folgt nicht dem Lauf der heutigen Aare (Abbildung 3.7-1). Bei Leuggern verzweigt sich die Felsrinne: eine offenbar ältere, heute mit Schotter gefüllte Rinne zieht unter dem Strick hindurch Richtung Leibstadt, eine jüngere Rinne hat beim Kraftwerk Klingnau den Durchbruch durch den Muschelkalk Richtung Koblenz geschafft.

Die jüngsten fluvioglazialen Schotter im Aaretal, und so auch diejenigen im Unterwald östlich der Beznau, wurden während der letzten Eiszeit vor etwas mehr als 20'000 Jahren akkumuliert. Seither hat sich die Aare durch fluviatile Erosion wieder rund 30 m in die Schotter eingeschnitten und dabei z.T. markante Terrassenränder geschaffen.

Daraus folgt, dass das Aaretal ein sehr alt angelegtes Tal mit einem reifen morphologischen Relief ist.

Abbildung 3.7-1: Geomorphologie des unteren Aaretals



3.7.1.1.2 Geologie und Stratigrafie

Bedingt durch das südsüdostwärts gerichtete Einfallen der Schichten durchschneidet die Aare auf ihrem Weg durch den Tafeljura von Brugg herkommend sukzessive ältere Schichten des Juras und der Trias. Zwischen Stilli und dem Unterwald sind es Kalke und Mergel (Effinger Schichten) des Malm, im Gebiet des Paul Scherrer Instituts (PSI) sind es Kalke und Mergel des Doggers. Im Gebiet der Beznau ist es überwiegend Opalinuston (unterster Dogger), im Gebiet Kleindöttingen sind es Liaskalke und in Klingnau und Leuggern Gips- und Mergelschichten des Keupers. In der Enge nach dem Kraftwerk Klingnau durchschneidet die Aare die Kalk- und Dolomitschichten des mittleren Muschelkalkes. Die Geologie der Felsunterlage (subcrop) im unteren Aaretal ist in Haldimann et al. 1984 [44] im Detail dargestellt.

Der Felsuntergrund im Bereich der Beznau wird überwiegend durch Opalinuston aufgebaut. Die darunter folgende Schichtreihe ist dank der Bohrung Beznau (Nagra 1984 [53]) bestens dokumentiert; es sind namentlich Liaskalke und –mergel sowie der ganze Schichtstapel der Trias (Abbildung 3.7-2). Die Lage der Bohrung ist aus Abbildung 3.7-4 ersichtlich.

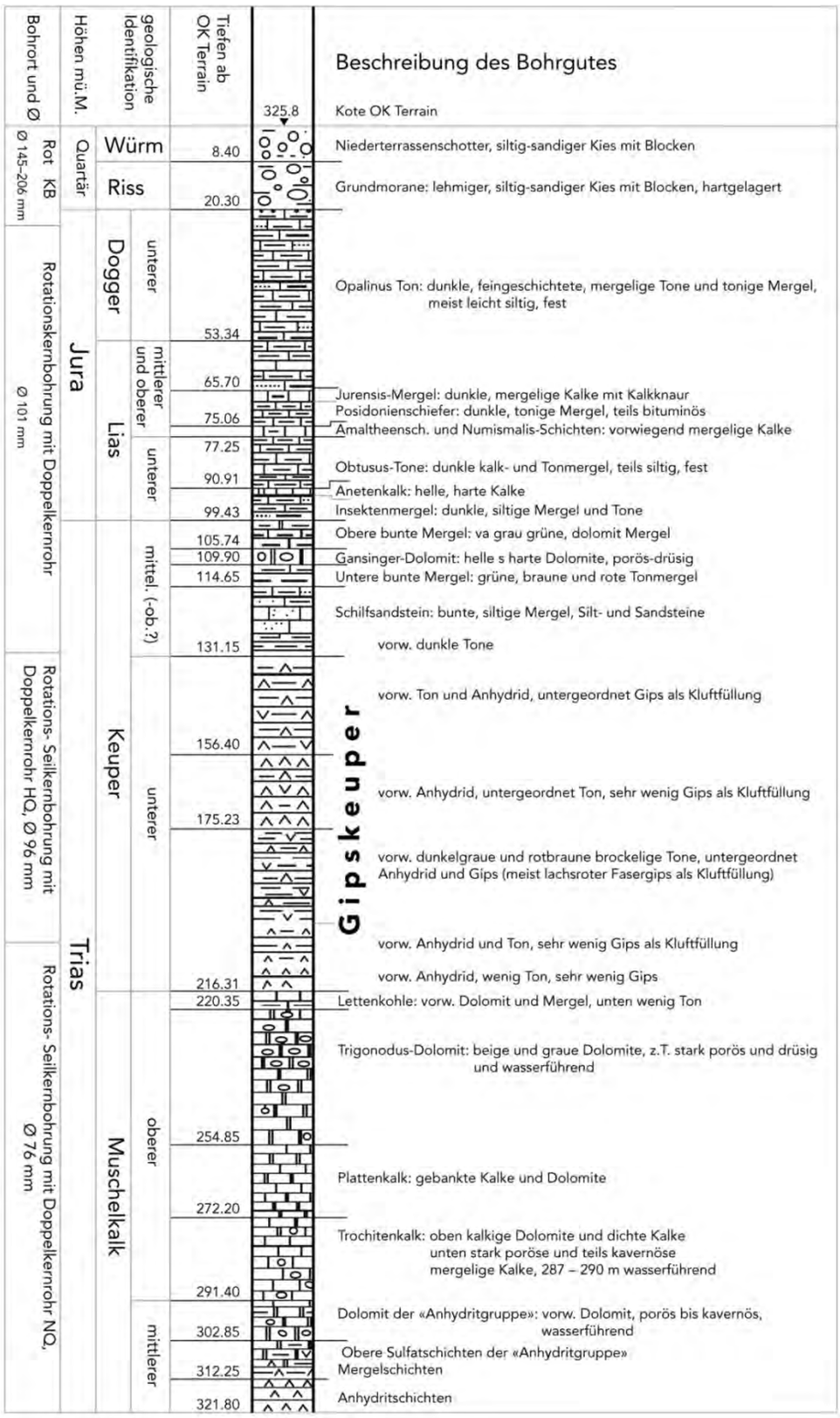
In der Schichtabfolge der Trias werden im Originalprofil der Nagra wiederholt poröse Gesteinsschichten beschrieben, namentlich im Trigonodus-Dolomit und in der Anhydritgruppe. Die Porosität wird durch calcitgefüllte Drusen (cm-Bereich) oder durch gelöste Gipskristalle (mm-Bereich) hervorgerufen. Kavernöse Strukturen oder eigentliche Hohlräume, welche einstürzen und Erschütterungen oder Setzungen auslösen könnten, wurden nicht beobachtet.

Seit den 1980er Jahren ist bekannt, dass die Beznau am Nordrand des nordschweizerischen Permokarbontroges liegt, d.h. unter dem Mesozoikum (Deckgebirge) folgt ein tieferes Stockwerk (Sockel), mit dem kristallinen Grundgebirge und den Sedimentgesteinen des Permokarbontroges (Abbildung 3.7-10).

3.7.1.1.3 Lockergesteine

Die Talfüllung im unteren Aaretal besteht generell aus fluvioglazialen Schottern, welche aus den akkumulierten Ablagerungen mehrerer Eiszeiten besteht und hier vereinfacht und ohne weitere Gliederung als Niederterrassen-Schotter bezeichnet werden. Einzelheiten dazu finden sich in Kapitel 3.7.2.1.

Abbildung 3.7-2: Bohrprofil der Bohrung Beznau (vereinfachte Version aus [53])



3.7.1.1.4 Tektonische Strukturen im Sockel

Nordrand des Permokarbontroges: Der Nordrand des Permokarbontroges im nördlichen Kanton Aargau wurde in der Vergangenheit durch die Nagra mit unterschiedlichem Detaillierungsgrad und z.T. mit spekulativen Konstruktionen dargestellt. Die wohl objektivste Darstellung ist diejenige in Nagra [96] (Abbildung 3.7-10). Wie die Abbildung zeigt, wird der Trog im Norden von Trogschultern mit WSW-ENE-streichenden Abbruchrändern oder Abschiebungen begleitet. Diese sind ihrerseits durch verschiedene herzynische, d.h. WNW-ESE-streichende Verwerfungen (in der Regel dextrale strike-slip faults) zergliedert. Der im Prinzip WSW-ENE streichende nördliche Trograndwird dadurch in verschiedene dextral (im Uhrzeigersinn) gegeneinander verschobene Schollen versetzt. Einzelne dieser alten herzynischen Verwerfungen streichen auch durch das Gebiet der Beznau.

Vorwald-Störung: Die Vorwald-Störung ist eine präherzynisch angelegte, Nordwest-Südost-streichende Verwerfung, welche sich vor allem im Kristallin des Südschwarzwaldes äussert. Unter der mesozoischen Sedimentbedeckung auf Schweizer Gebiet lässt sie sich in den seismischen Profilen als Verwerfung mit südwestgerichteter Abschiebung bis in das Gebiet Döttingen und evtl. weiter gegen Südosten verfolgen. Alle Indizien sprechen dafür, dass sie nördlich der Beznau durch das Gebiet Eien / Kleindöttingen streicht und unter dem nördlichen Ruckfeld gegen das Tälchen von Unterendingen zieht, wo sie in Form einer etwa 110 Grad streichenden und Richtung SSW einfallenden Flexur in den Malmkalken in Erscheinung tritt.

Klingnau-Struktur: Mit der Klingnau-Struktur postuliert Laubscher [50] eine breite, Südsüdwest-Nordnordost-streichende Flexurzone im Bereich des unteren Aaretals, entlang welcher die oben aufgeführten Sockelstrukturen des Tafeljuras axial gegen Ostsüdosten abgebogen sind. Die Klingnau-Struktur beeinflusst vor allem das Relief des Sockels unter dem Abscherhorizont der Trias. Im Raum Beznau betrifft sie die Vorwald-Störung und die Mandacher Flexur, indem diese gegen Südosten tiefer gesetzt werden und östlich der Klingnau-Struktur ein anderes Erscheinungsbild zeigen und weniger stark in Erscheinung treten als westlich davon. Das Alter der Hauptversetzungen an der Klingnau-Struktur darf also als prätriadisch angenommen werden.

Die Klingnau-Struktur erscheint über alles gesehen nicht so sehr als tektonisches Element, sondern eher als strukturelle Grenzzone, welche einen westlichen und einen östlichen Bereich mit unterschiedlichem tektonischem Charakter voneinander trennt. Die Klingnau-Struktur lässt sich nicht mit anderen in der Zwischenzeit bekannt gewordenen tektonischen Strukturen des Permokarbontroges in Verbindung bringen, und sie wurde im Gelände noch nie direkt beobachtet.

Störung von Tegerfelden - Kohlgruben: Eine publizierte tektonische Struktur im Umfeld der Beznau ist die Störung von Tegerfelden und Kohlgruben. Sie wurde durch Bitterli et al. [41] im Ruckfeld als Verwerfung mit südgerichteter Abschiebung und weiter östlich als Flexur postuliert und mit der Verwerfung im Tälchen von Kohlgruben östlich Rekingen am deutschen Rheinufer in Verbindung gebracht. Gegen Westen lassen Bitterli-Dreher et al. [42] die Störung unscharf gegen den nördlichen Bereich der Beznau-Insel streichen. Hier sind in den seismischen Linien schwache Anzeichen einer südvergenten Flexur oder Abschiebung zu erkennen, welche allerdings nur das tiefere Stockwerk mit dem Kristallin und allenfalls die ältesten mesozoischen Schichten, nicht aber die jüngeren mesozoischen Schichten verstellt hat.

Verschiedene Beobachtungen lassen an den Darstellungen in Bitterli et al. [41] zweifeln:

- An der Surb bei Tegerfelden lässt sich im Bereich der mutmasslichen Störung ein etwas steileres Schichtfallen beobachten, welches auf eine Flexur (Flexur von Rekingen) hindeutet, eine Verwerfung ist hingegen nicht auszumachen.
- Am Hang westlich Tegerfelden lässt sich kein Versatz an einer hypothetischen Störung nachweisen, welche Malm gegen oberen Dogger verstellen würde, der obere Dogger zieht hier geradlinig durch.
- Im Wald zwischen Tegerfelden und Rekingen ist kein Indiz für eine Störung zu erkennen.
- In den seismischen Profilen der Nagra ist jeweils die Flexur von Rekingen als Verbiegung der mesozoischen Schichtreihe über einem WSW-ENE-streichenden Trograndbruch im Sockel klar erkennbar, aber keine mutmassliche Störung von Tegerfelden-Kohlgruben.

Wir kommen zum Schluss, dass die Störung von Tegerfelden-Kohlgruben im Sinne von [41] nicht existiert.

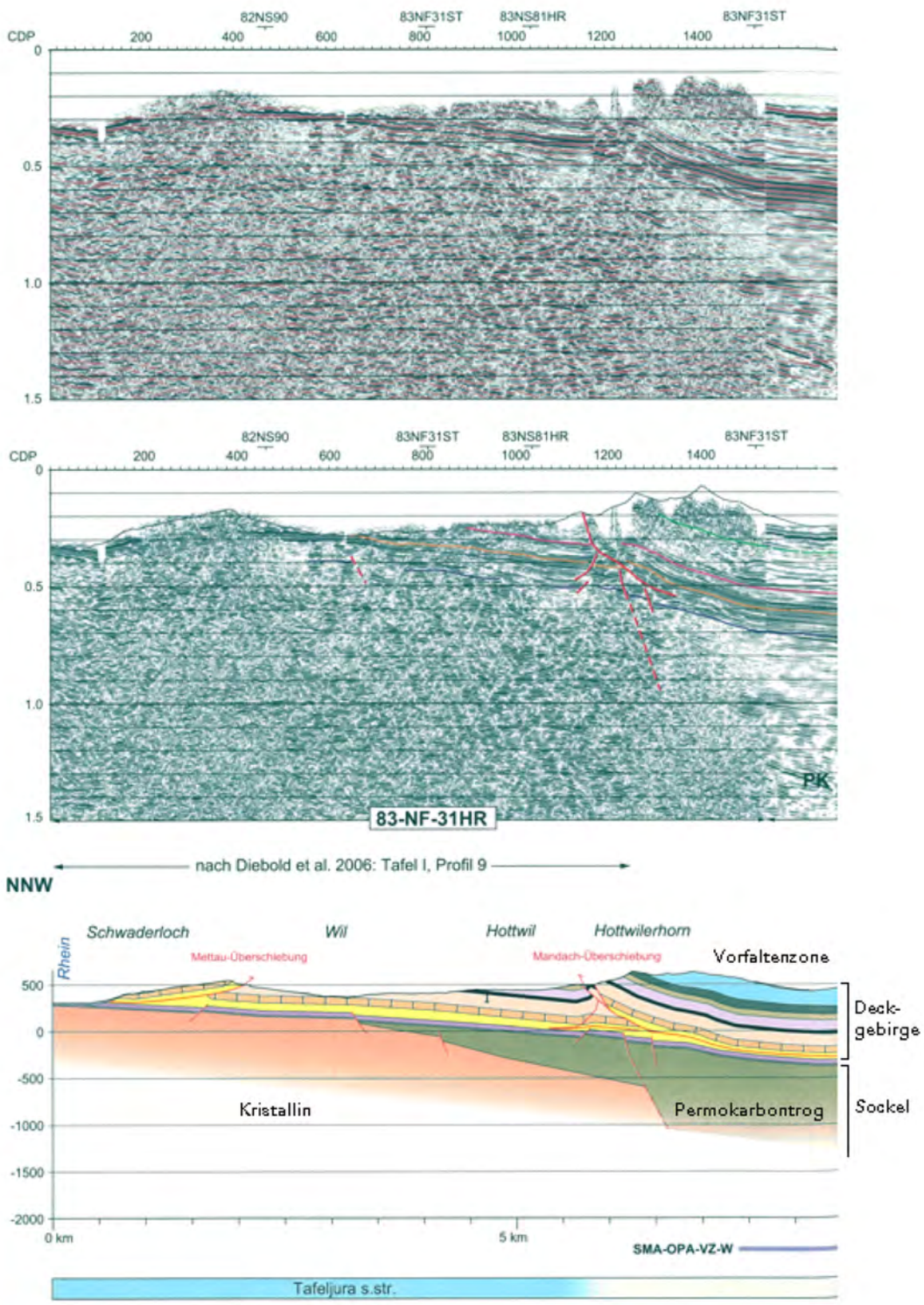
3.7.1.1.5 Tektonische Strukturen im Deckgebirge

Die auffälligste tektonische Störung im Raum Beznau ist die *Mandacher Überschiebung*. Ihr ist das ganze Kapitel 3.7.1.2.5 gewidmet.

Die Mandacher Überschiebung und die weiter südlich gelegenen tektonischen Strukturen der Endingen-Flexur, der Siggenthal-Antiklinale und der Iflue-Flexur haben dazu geführt, dass der Tafeljura heute gegliedert wird in einen Tafeljura s.str. und eine so genannte Vorfaltenzone [43]. Letztere umfasst das Gebiet vom eigentlichen Faltenjura südlich von Brugg bis zur Mandacher Überschiebung, was etwa der Breite des Permokarbontroges in diesem Gebiet entspricht (Abbildung 3.7-10). Es sind denn auch alte Versetzungen und Flexuren am Nordrand des Permokarbontroges, wie z. B. die Mandacher Flexur unter der Aufschiebungsfläche der eigentlichen Mandacher Überschiebung (Sub-Décollement im Sinne Laubscher [50]), welche die Abscherung der Mandacher Überschiebung in den duktilen Schichten der Trias bewirkt hat (Abbildung 3.7-3).

Unter dieser Betrachtungsweise verläuft der Nordrand des Faltenjuras s.l. entlang der Mandacher Überschiebung und damit durch das Wehr Beznau und die Südspitze der Beznau-Insel. Der Hauptteil der Insel Beznau liegt im Bereich des Tafeljuras s.str. mit einem ruhigeren tektonischen Schichtverlauf als in der Vorfaltenzone.

Abbildung 3.7-3: Die Mandacher Überschiebung westlich des Aaretals (aus [96], ergänzt)



3.7.1.2 Geologie in Standortnähe

Die Dichte geologischer und geotechnischer Informationen und der Kenntnisstand über den Untergrund sind im Gebiet der Insel Beznau aussergewöhnlich hoch. An kaum einer anderen Örtlichkeit in der Schweiz stehen auf engstem Raum eine vergleichbare Menge von Bohrungen, reflexionseismischen Linien, geologischen Oberflächenaufnahmen und geotechnischen Untersuchungen zur Verfügung. Die dichten lokalen Daten sind dabei gut in grossräumige Aufnahmen und Messnetze eingebunden. Dank der günstigen Datenlage und den vielen geologischen Forschungsarbeiten in diesem Gebiet sind gute und ausreichende Voraussetzungen gegeben, um die geologischen Aspekte, die bei der Standorteignung eine Rolle spielen, zuverlässig zu beurteilen.

3.7.1.2.1 Datenbasis vor dem OPAL-Projekt

Die Datenbasis entstand über Jahrzehnte als Resultat mehrerer Untersuchungs- und Messkampagnen, die schon vor dem Bau der bestehenden Kraftwerkanlage begannen und aus unterschiedlichem Anlass in den 1970er und frühen 1980er Jahren fortgesetzt wurden. Die letzten Felduntersuchungen vor dem Beginn des OPAL-Projektes datierten aus den 1990er Jahren.

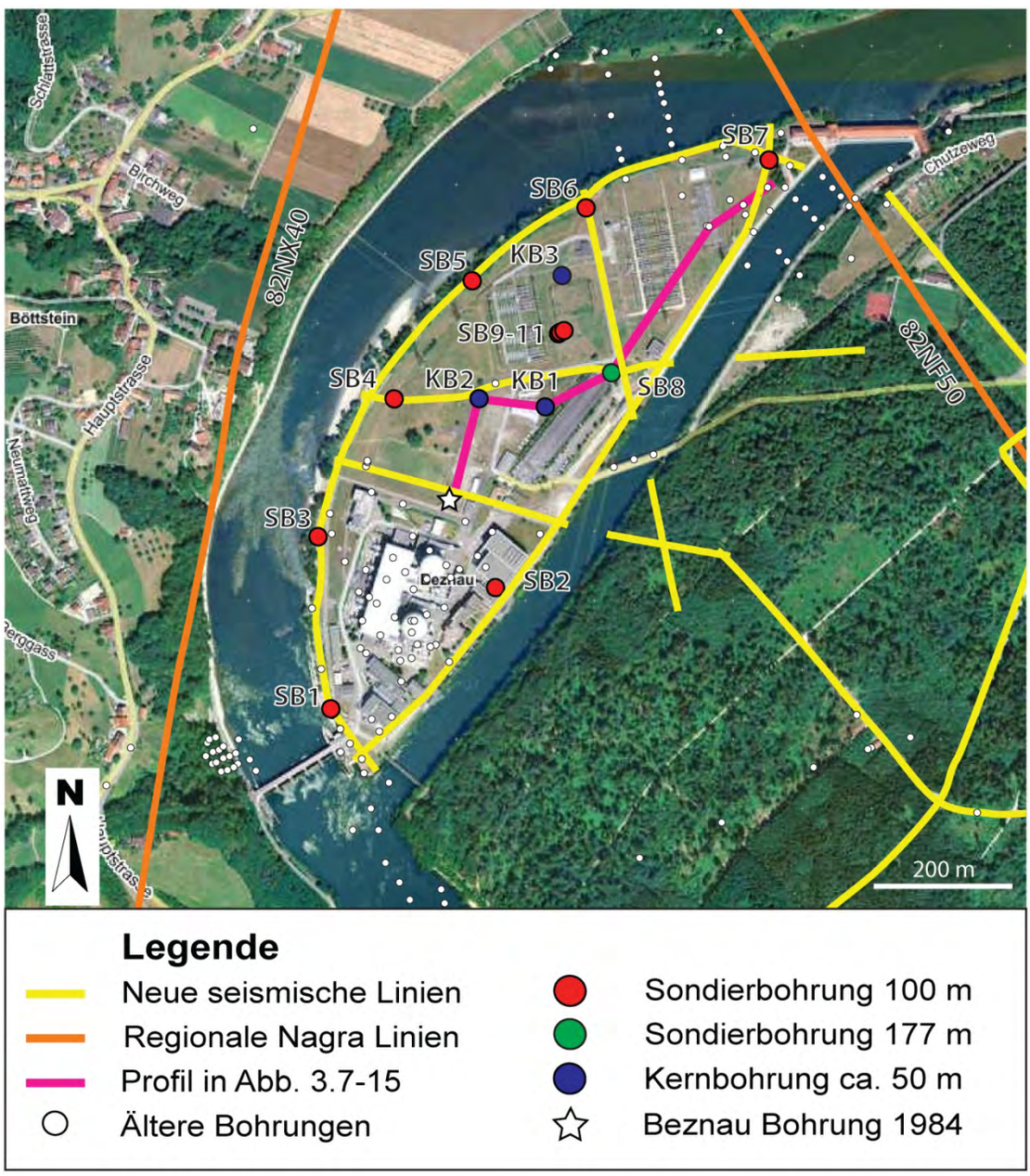
Im südwestlichen Teil und zu einem geringeren Mass im äussersten nordöstlichen Teil der Insel war die Dichte an Kern- und Sondierbohrungen bereits sehr hoch. Die tiefste Bohrung war – und bleibt auch nach dem OPAL-Projekt – mit einer Endtiefe von 320 m die Bohrung Beznau von 1984, die den mittleren Muschelkalk angebohrt hat ([53], siehe Abbildung 3.7-2 und Abbildung 3.7-4). Nördlich der Insel hat die Nagra-Tiefbohrung Böttstein das Kristallin bis auf eine Tiefe von 1500 m erbohrt. Im zentralen Teil der Insel fehlte es an Bohrdaten, sodass die vorhandene Felsisohypsenkarte dort v.a. auf der Interpolation von weiter entfernten Daten beruhte. Die 320-m-Bohrung Beznau wurde bohrlochgeophysikalisch mit verschiedenen Sonden zur Bestimmung physikalischer Parameter vermessen. Diese und andere Untersuchungen zur Bestimmung der Ausbreitungsgeschwindigkeit seismischer Wellen liefern u.a. Eingabeparameter für die Berechnung des "Standorteffekts", d.h. die standortspezifische Verstärkung von Erdbebenwellen durch oberflächennahe geologische Schichten. Die bohrlochgeophysikalischen Daten erwiesen sich allerdings als wenig zuverlässig, sodass die Experten der PEGASOS-Erdbebengefährdungsstudie im Falle von Beznau mehrere alternative Scherwellengeschwindigkeitsprofile mit unterschiedlicher Gewichtung verwendeten (vgl. Kapitel 3.7.3.5.5 und Abbildung 3.7-31). Im Gegensatz dazu wurden die Laborversuche und -analysen an Bohrkernen, die für die damalige Zeit überdurchschnittlich zahlreich und gut dokumentiert sind, positiv beurteilt, was dazu führte, dass sich die Experten für ihr Beznau-Modell auf einen einzigen Satz von nichtlinearen Materialeigenschaften einigen konnten.

Reflexionsseismische Linien guter Qualität stehen unmittelbar westlich (82NX40), östlich (82NF50) und nördlich der Insel (83NS81-HR) zur Verfügung (Beispiel siehe Abbildung 3.7-7). Dabei handelt es sich zwar um regionale Linien der Nagra aus den 1980er Jahren, die aber im Bereich der Insel Beznau sehr dicht beieinander liegen und für eine Erfassung der Untergrundstrukturen günstig orientiert sind.

3.7.1.2.2 Datenbasis nach dem OPAL-Projekt

Zur Ergänzung der vorhandenen Datenbasis wurde Anfang 2008 das OPAL (Osiris-Pegasos-Beznau-Leibstadt)-Felduntersuchungsprojekt gestartet. Damit sollten zusätzliche Daten, einerseits für das EKKB-Baugesuch und andererseits für das "PEGASOS Refinement Project" (PRP) erhoben werden (vgl. Kapitel 3.7.3.4). Das Untersuchungsprogramm war auf baugrundtechnisch relevante Daten und die Eingabeparameter für die Quantifizierung des Standorteffekts ausgerichtet (Kapitel 3.7.3.5.5). Zusätzliche Felduntersuchungen wurden dort durchgeführt, wo keine oder zu wenige Daten existierten (im Zentrum der Insel) oder wo die alten Daten den neuen Anforderungen nicht mehr genügten.

Abbildung 3.7-4: Übersicht über vorhandene Bohrungen und die im Rahmen des OPAL-Projekts durchgeführten Feldarbeiten



Das Programm beinhaltete zur strukturellen Erkundung des Insel-Untergrundes

a die Akquisition von mehreren Profilen mit Hybridseismik (einer Kombination von Reflexions- und Refraktionsseismik),

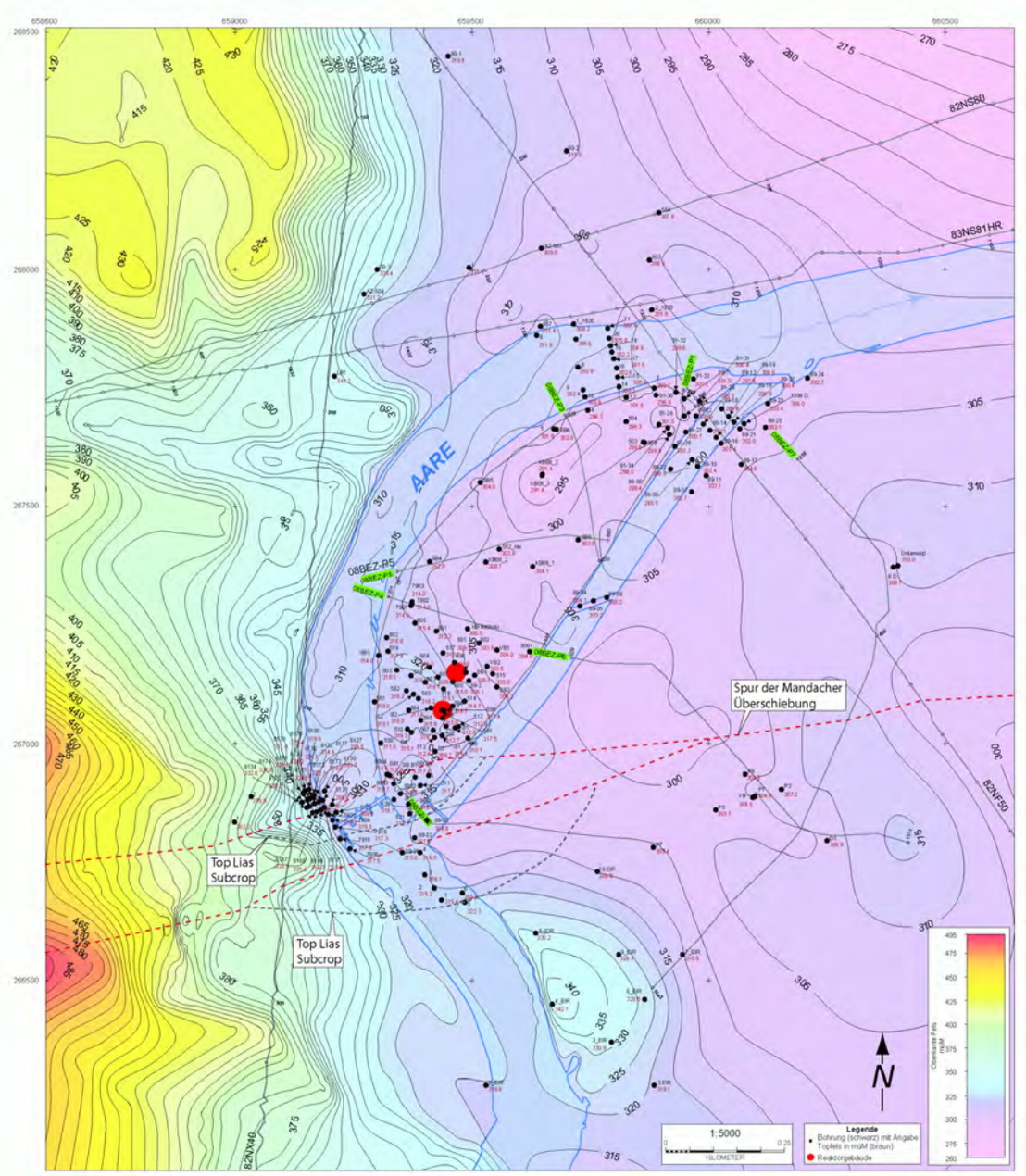
b das Abteufen von acht (destruktiven) Sondierbohrungen mit geophysikalischen Bohrlochmessungen, sowie – für die geotechnische Charakterisierung des Felses und des Lockergesteins –

c das Abteufen von drei Kernbohrungen im für den neuen Reaktor vorgesehenen (zentralen) Teil der Insel und

d ein extensives Programm von Labormessungen an diesen Kernen.

Ferner beinhalteten die bohrlochgeophysikalischen Arbeiten Messungen der Scherwellengeschwindigkeit mit der Downhole-Methode in den Kernbohrungen und mit der Crosshole-Methode in drei zusätzlichen, eigens dafür abgeteuften Spülbohrungen. In-situ-SPT (Standard Penetration Tests) und Seitendruck-Versuche wurden in den Kernbohrungen ebenfalls durchgeführt. Eine MASW (Multiple Array Surface Wave)-Auswertung der seismischen Profile sowie eine neue Array-Messung der umgebenden Bodenunruhe (Ambient Vibration), bei denen es um Analysen der Dispersion der Oberflächenwellen geht, wurden zur Bestimmung der Scherwellengeschwindigkeiten im Lockergestein ebenfalls durchgeführt. Schliesslich erlaubten neue punktuelle Messungen des V/H-Verhältnisses der Bodenunruhe, die Eigenfrequenz des Standortes zu präzisieren. All diese Untersuchungen sind in [108] beschrieben.

Abbildung 3.7-5: Neuinterpretation der Felsisohypsen im Gebiet Beznau, aus vorhandenen Daten und Ergebnissen des OPAL-Standortuntersuchungsprogramms. Die beiden roten Punkte markieren die Lage der Reaktorgebäude von KKB 1 und 2 [108]



Die OPAL-Felduntersuchungen haben den Kenntnisstand über den geologischen Untergrund der Insel Beznau weiter detailliert und verfeinert. Die wichtigsten Erkenntnisse, was die Standorteignung bzw. das Rahmenbewilligungsgesuch betrifft, können folgendermassen zusammengefasst werden:

- Lokale geologische Verhältnisse: Die beiden, weit nach Süden ragenden seismischen Linien haben den Ost-West-Verlauf der Mandacher-Störung und die Tatsache bestätigt, dass sie ausser an ihrer südwestlichsten Spitze, die Insel nicht tangiert (vgl. Abbildung 3.7-7). Ferner konnte die Felsisohypsenkarte (Abbildung 3.7-5) dank den neuen Bohrungen verfeinert werden.
- Baugrundmodell: Die Laboruntersuchungen haben das Bild des Baugrunds lokal verfeinert, ohne dass die früheren Erkenntnisse revidiert werden müssen.
- Standorteinfluss auf die seismische Gefährdung: Die neuen statischen und dynamischen Triaxial-Versuche an Bodenproben haben im Wesentlichen die mit den alten Versuchen ermittelten und von den PEGASOS-Experten voll übernommenen nichtlinearen Materialeigenschaften (vgl. oben) bestätigt. Dagegen haben die Untersuchungen zur Bestimmung der Scherwellengeschwindigkeiten zu neuen Erkenntnissen geführt. Aus heutiger Sicht scheinen die Scherwellengeschwindigkeiten eher höher zu liegen als im Rahmen des PEGASOS-Projektes aufgrund einer alten Crosshole-Messung und der Eigenfrequenz des Standortes beurteilt. Die Basis für diese neuen Erkenntnisse hat vor allem eine neue Crosshole-Untersuchung geliefert, wobei bei deren Beurteilung die Notwendigkeit deutlich wurde, die grosse Anisotropie einzelner lithologischer Formationen, wie im Besonderen des Opalinustons, zu berücksichtigen. Die am neuen Standort neu abgeteuften Bohrungen haben ausserdem die grössere Lockergesteins-Mächtigkeit (ca. 24 m für EKKB gegenüber 9 m für KKB) und die kleinere Opalinuston-Mächtigkeit (rund 35 m für EKKB gegenüber 55 m für KKB) gezeigt. Trotzdem zeugen die neuen Bestimmungen der Eigenfrequenz des Sedimentpaketes anhand der Bodenunruhe-Messungen davon, dass diese Eigenfrequenz lateral kaum variiert und zwischen 2.5 und 2.9 Hz liegt.

3.7.1.2.3 Beschreibung der lokalen Geologie

Felsuntergrund: Im Bereich der Beznau durchschneidet das Aaretal die Formation des Opalinustons. Es handelt sich um einen schwach mergeligen Tonstein mit rund 5% Karbonatgehalt, feinschichtig bis schiefrig und mit der Tendenz, unter Wasseraufnahme oberflächlich zu verwittern, wobei er sich in einen plastischen Ton verwandelt. Der Opalinuston bildet an der linksufrigen Talflanke bei Böttstein, unter der Insel Beznau und unter dem östlich angrenzenden Unterwald, den Felsuntergrund. Dessen stratigrafische Mächtigkeit beträgt rund 110 m; die Schichten fallen mit etwa 4° gegen SSE ein. Bei früheren Betrachtungen wurde im Norden der Insel ein Subcrop des Lias postuliert (Abbildung 3.7-6) [44]. Eine Neuinterpretation der Bohrdaten zeigt aber dass der Felsuntergrund unter der ganzen Beznau-Insel durch Opalinuston aufgebaut ist; erst nördlich der Aare folgen im Subcrop Mergel- und Kalkschichten der nächst tieferen Formation, des Lias. Dieses wurde durch die OPAL Untersuchungen (Bohrungen SP6 und SP7) bestätigt. Die nächst höhere Formation, Kalke und Mergel des mittleren Doggers, bildet etwa einen Kilometer weiter südlich, zwischen dem Gebiet Laufen und dem PSI, den Felsuntergrund.

Felsoberfläche: Die Felsoberfläche, das heisst die stratigrafische Oberfläche des Felses inkl. Verwitterungsschicht, weist im Gebiet Beznau eine sehr akzentuierte Morphologie auf, wie dies in den Isohypsenplänen (Abbildung 3.7-5 und Abbildung 3.7-6) gezeigt wird. Einen indirekten Einfluss auf die Morphologie der Felsoberfläche hat die Mandacher Überschiebung. Ihr Südschenkel ist gegenüber dem Nordschenkel um mindestens 60 m gehoben, und deshalb sind südlich der Verwerfung, d.h. südlich der Abzweigung des Oberwasserkanals, lokal die nächst tieferen Formationen des Lias (Kalke und Mergel) und stellenweise sogar des Keupers (Mergel und Evaporite) aufgeschlossen (Abbildung 3.7-6). Namentlich die Liaskalke wirken als erosionsresistente Härtlinge. Sie haben für die ungezähmte Aare vor dem Bau der Wasserkraftanlagen als hervortretende Felsrippen Stromschnellen bewirkt. Das Wehr Beznau wurde an der Stelle der Liaskalk-Rippe errichtet, wo bereits natürlicherweise eine Felsschwelle vorhanden war.

Wie die Isohypsenkarte in Abbildung 3.7-5 zeigt, fällt die Felsoberfläche unter der Beznau-Insel generell von Westsüdwest gegen Ostnordost und liegt im Bereich des EKKB auf Koten zwischen 300 und 305 m ü.M. Eine Besonderheit ist die fein strukturierte Morphologie der Felsoberfläche mit kleinräumigen Mulden, Rinnen und Buckeln mit bis zu 5 m Höhenunterschied, welche vor allem an Orten mit hoher Bohrdichte erkennbar ist, z.B. im Bereich der Neubauten des hydraulischen Kraftwerkes. Besonders auffällig sind zwei akzentuierte Mulden mit einer Ausdehnung von je etwa 20'000 m² und mit einer Übertiefung von 10-15 m: eine erste unmittelbar stromabwärts der Liasrippe beim Wehr und eine zweite beim EKKB unter der Freiluftschaltanlage. Diese Mulden sind teils rund, teils lang gestreckt, aber sie sind allseitig geschlossen. Es handelt sich also nicht um fluviatile Rinnen, sondern am ehesten um "Kolke", welche in einer älteren Eiszeit durch subglaziäre (unter dem Eis) Schmelzwässer erodiert und später durch Schotter eingedeckt worden sind.

Der Talweg der tiefsten Felsrinne im Gebiet Beznau folgt nicht dem heutigen Aarelauf (Abbildung 3.7-1 und Abbildung 3.7-5). Die Achse des glazial erodierten Aaretals verläuft von Stilli herkommend etwa in der Talmitte unter dem Unterwald und zieht beim Flusskraftwerk Beznau von Südsüdwest gegen Nordnordost unter der nach Osten abbiegenden Aare durch. Die Aare folgt nicht dieser tiefsten Felsrinne, sondern hat ihren Lauf in späterer Zeit innerhalb der Niederterrassen-Schotter an den westlichen Talrand verlagert und sich hier epigenetisch in den Fels aus Dogger, Lias und Opalinuston eingeschnitten.

Haldimann et al. [44] (vgl. Abbildung 3.7-6) machen auf einen unterirdischen Felssporn aufmerksam, welcher im Gebiet Bränthau (Unterwald) von Nordosten her ins Aaretal hineinzieht. Die zusätzlich berücksichtigten Bohrungen und die damals nicht berücksichtigte Seismik (speziell die neue Refraktionsseismik) bestätigen zwar in diesem Bereich kleine Erhebungen und Buckel in der Felsoberfläche (Abbildung 3.7-5), aber ein Opalinuston-Felssporn nördlich der Spur der Mandacher Überschiebung, wie in der in Abbildung 3.7-6gezeigten Form, lässt sich heute nicht mehr bestätigen.

Lockergesteine: Die Lockergesteinsfüllung des Felstroges im Opalinuston wird gebildet durch fluvioglaziale Schotter. Diese besitzen einen heterogenen Aufbau aus verschiedenen Schottergenerationen. Sie werden hier der Einfachheit halber als Niederterrassen-Schotter angesprochen, ohne auf deren Entstehungsgeschichte und darin enthaltene ältere Schotter näher einzutreten. Die Schottermächtigkeit ergibt sich praktisch aus der Differenz zwischen der Terrainoberfläche und der Felsoberfläche. Nur an wenigen Stellen ist über der Felsoberfläche eine gering mächtige Schicht einer alten Moräne entwickelt.

Die Tatsache, dass die oben erwähnten Rinnen und namentlich der Kolk beim Wehr Beznau mit mächtigen Schottern gefüllt sind, zeigt, dass die Felsoberfläche in dieser Form vor mehr als 25'000 Jahren (Höchststand letzte Eiszeit) durch Fluss- oder Gletschererosion modelliert worden war. Mindestens seit 25'000 Jahren (wahrscheinlich sogar wesentlich länger) ist sie unter fluvioglazialen Schottern verborgen und wurde durch exogene Prozesse nicht weiter verändert.

Auf die Beschaffenheit und die Schichtabfolge innerhalb der Lockergesteine wird im Kapitel 3.7.2.1 näher eingegangen.

3.7.1.2.4 Lokale tektonische Strukturen

Von den in Kapitel 3.7.1.1.4 und 3.7.1.1.5 beschriebenen tektonischen Strukturen ist das Gebiet Beznau wie folgt betroffen:

Durch das weitere Gebiet der Beznau streichen im Sockel unter dem mesozoischen Deckgebirge gewisse *Trograndbrüche* in Form von Abschiebungen am Nordrand des Permokarbontroges. Deren wichtigster Vertreter, die Mandacher Flexur, streicht indessen deutlich südlich der Ausbisslinie der Mandacher Überschiebung und damit südlich der Beznau-Insel durch (Abbildung 3.7-25). Unter der Beznau-Insel lassen sich in den seismischen Profilen keine Trograndbrüche erkennen. Diese Trograndbrüche betreffen in erster Linie das kristalline Grundgebirge und den Permokarbontrog

Die *Vorwald-Störung,* ebenfalls eine Struktur im Sockel, zieht aus westnordwestlicher Richtung aus dem Südschwarzwald kommend nördlich an der Beznau-Insel vorbei. Sie betrifft im Wesentlichen das kristalline Grundgebirge und das Paläozoikum. In Kapitel 3.7.1.3.2 wird gezeigt, dass sie seit dem Miozän inaktiv geblieben ist.

Gemäss gewissen Publikationen zieht die sogenannte Störung von *Tegerfelden-Kohlgruben* [41] von Ostnordost (Ruckfeld) her ins Gebiet Unterwald und gegen die Beznau hinein. Ihre Existenz ist indessen gemäss den Ausführungen in Kapitel 3.7.1.1.4 zu negieren.

Die *Klingnau-Struktur* wäre, wenn sie denn existiert, eine grossräumige axiale Flexurzone im Sockel, welche Südsüdwest-Nordnordost durch das untere Aaretal streicht und alle Sockelstrukturen mit ost-westlichen Streichrichtungen versetzt. Daraus können sich geometrische Komplikationen im Bereich der Schnittpunkte ergeben, die aber keine standortrelevanten Konsequenzen hätten.

Die auffälligste und wichtigste Struktur im Gebiet der Beznau ist die *Mandacher Überschiebung*; ihr ist das Kapitel 3.7.1.2.5 gewidmet.

Die südlich und südöstlich der Mandacher Überschiebung gelegenen tektonischen Elemente, die Endingen-Flexur, die Siggenthal-Antiklinale und die Iflue-Flexur liegen im Bereich der durch Kompressionsstrukturen geprägten sog. Vorfaltenzone in grösserer Entfernung der Beznau. Selbst wenn sie ein Potenzial für differenzielle Bewegungen oder Verschiebungen hätten, wäre dies ohne Einfluss auf den Standort.

3.7.1.2.5 Die Mandacher Überschiebung

Die Mandacher Überschiebung zieht, aus dem Gebiet von Frick kommend, als WSW-ENE-streichende, nordgerichtete Décollement-Überschiebung bei der Abzweigung des Oberwasserkanals unter der Aare durch. Sie ist in den Talhängen westlich des Wehres Beznau noch aufgeschlossen, streicht unter dem Wehr Beznau hindurch und zieht weiter unter die Alluvialbedeckung des Aaretals. Sie äussert sich in Form einer Aufschiebung, welche im Gebiet der Aare bei Beznau eine Vertikalkomponente von über 60 m und eine Horizontalkomponente von etwas mehr als 100 m besitzen dürfte.

Aufgrund einer detaillierten Kartierung des Felsuntergrundes (Subcrop) mit Bohrungen und anhand der seismischen Profile muss postuliert werden, dass die Ausbisslinie der Überschiebung hier in mindestens zwei Ästen vorliegt (z.B. [44], siehe Abbildung 3.7-6). Die Darstellung in Abbildung 3.7-6 muss allerdings aufgrund neuster Untersuchungen im Rahmen des Projektes OPAL korrigiert werden: Im Bereich des Wehres und der Abzweigung des Oberwasserkanals sind zwei Äste klar erkennbar. Die Aufspaltung ist indessen schon westlich der Aare vorhanden Die zwei Äste vereinen sich etwa 600 m östlich der Aare, und eine einzige Überschiebung zieht weiter in östliche Richtung unter den Unterwald (Abbildung 3.7-5).

An beiden Ästen bilden im Südschenkel Liaskalke und Liasmergel (im südlicheren Südschenkel lokal sogar Keupermergel) die Felsoberfläche. Am südlicheren Ast lässt sich eine Vertikalversetzung von mindestens 40 m (Mächtigkeit des gesamten Lias) ableiten.

In Bitterli [41] sind im Bereich des Wehres ausserdem drei Nord-Süd-streichende Brüche verzeichnet. Im Feld lässt sich indessen nur der östlichste dieser drei Brüche verifizieren. Angesichts dessen Kürze und des geringen Versetzungsbetrages wird seine Bedeutung als untergeordnet beurteilt.

Im Unterwald ist die Mandacher Überschiebung an der Oberfläche zwar nicht mehr erkennbar, aber ihr Verlauf kann dank der seismischen Profile, die in der Vergangenheit durch die Nagra erstellt und interpretiert worden sind ([58] und [43]), und dank der neuen Erkenntnisse beim Projekt OPAL [108] zuverlässig rekonstruiert werden. Demnach zieht die Mandacher Überschiebung vom Wehr Beznau ziemlich genau in östliche Richtung (Abbildung 3.7-5); sie ist auch im seismischen Profil 82NF50 noch deutlich zu erkennen (Abbildung 3.7-37). Weiter gegen Osten scheint sich die Überschiebung zu verlieren.

Auf den Bewegungsmechanismus an der Mandacher Überschiebung wird in den Kapiteln 3.7.1.3.3 und 3.7.3.6 näher eingegangen. Die Seismologie der Mandacher Überschiebung und der anderen lokalen Störungssysteme wird in Kapitel 3.7.3.6 beschrieben.

Abbildung 3.7-6: Felsisohypsen-Karte Beznau aus dem Jahr 1984 [44]

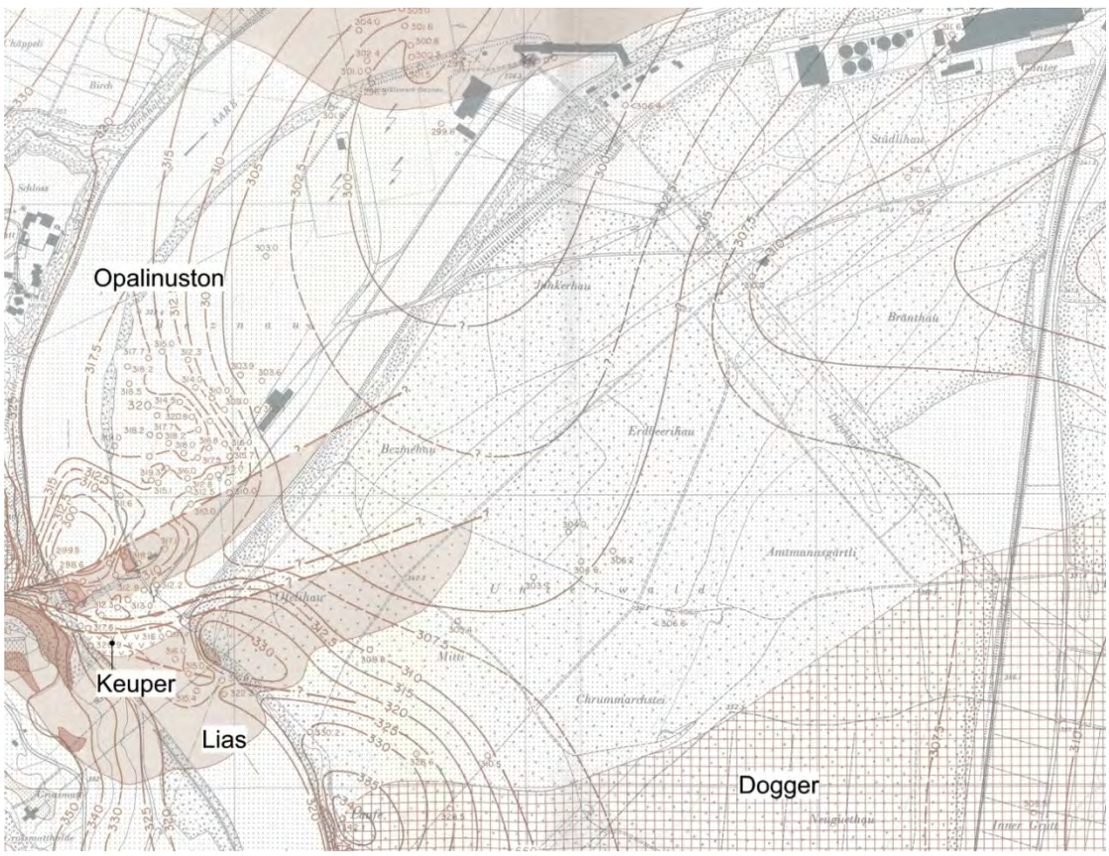
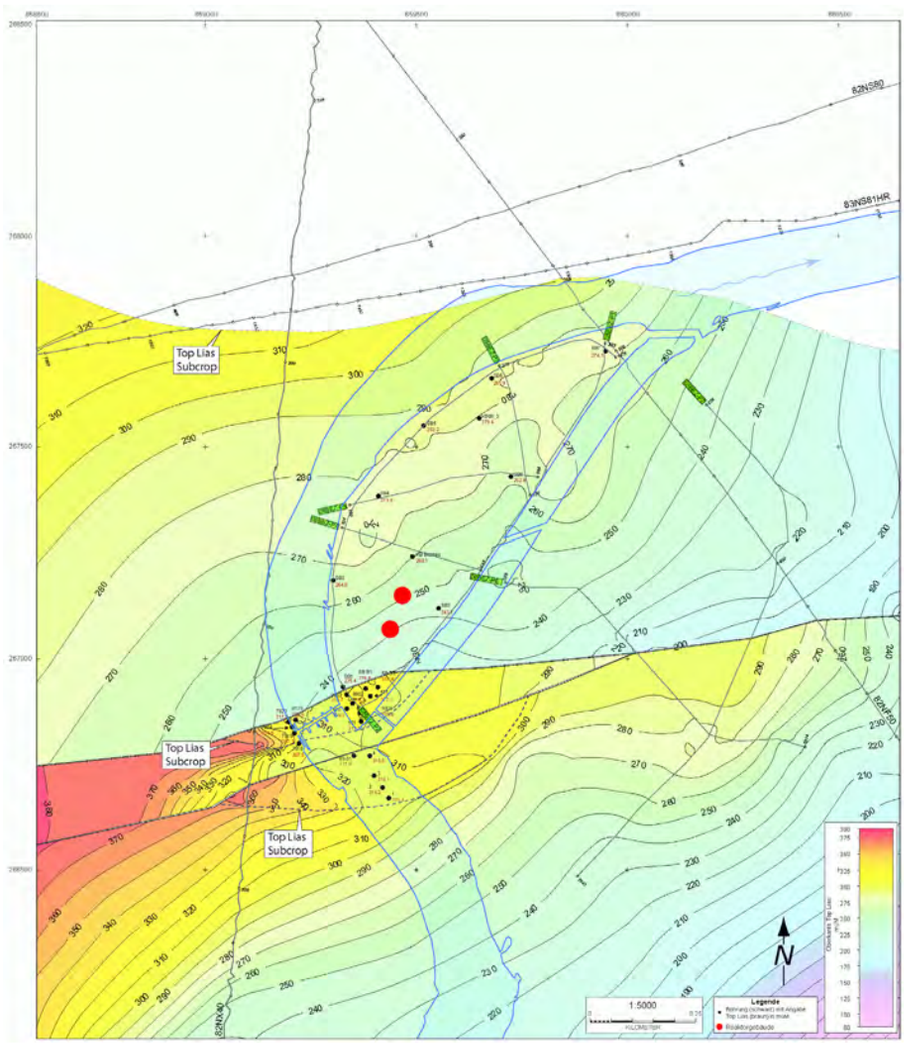


Abbildung 3.7-7: Isohypsenkarte Top Lias mit dem Verlauf der Mandacher Überschiebung südlich der Insel Beznau aus vorhandenen Daten und Ergebnissen des OPAL-Standortuntersuchungsprogramms. Die beiden roten Punkte markieren die Lage der Reaktorgebäude von KKB 1 und 2 [108]



3.7.1.2.6 Hydrogeologische Verhältnisse

Die Niederterrassen-Schotter des Aaretals stellen dank ihrer hohen bis sehr hohen Durchlässigkeit einen Grundwasserleiter von erstklassiger Güte dar. Als Grundwasserstauer wirkt zumeist die Felsunterlage, lokal auch die unter dem Schotter liegenden Seeablagerungen und Moränen. Die Grundwasserverhältnisse in Standortnähe sind in Kapiteln 3.7.2.2 und 3.6 ausführlich beschrieben. Abbildung 3.7-8 zeigt einen Ausschnitt der Grundwasserkarte des Kantons Aargau.

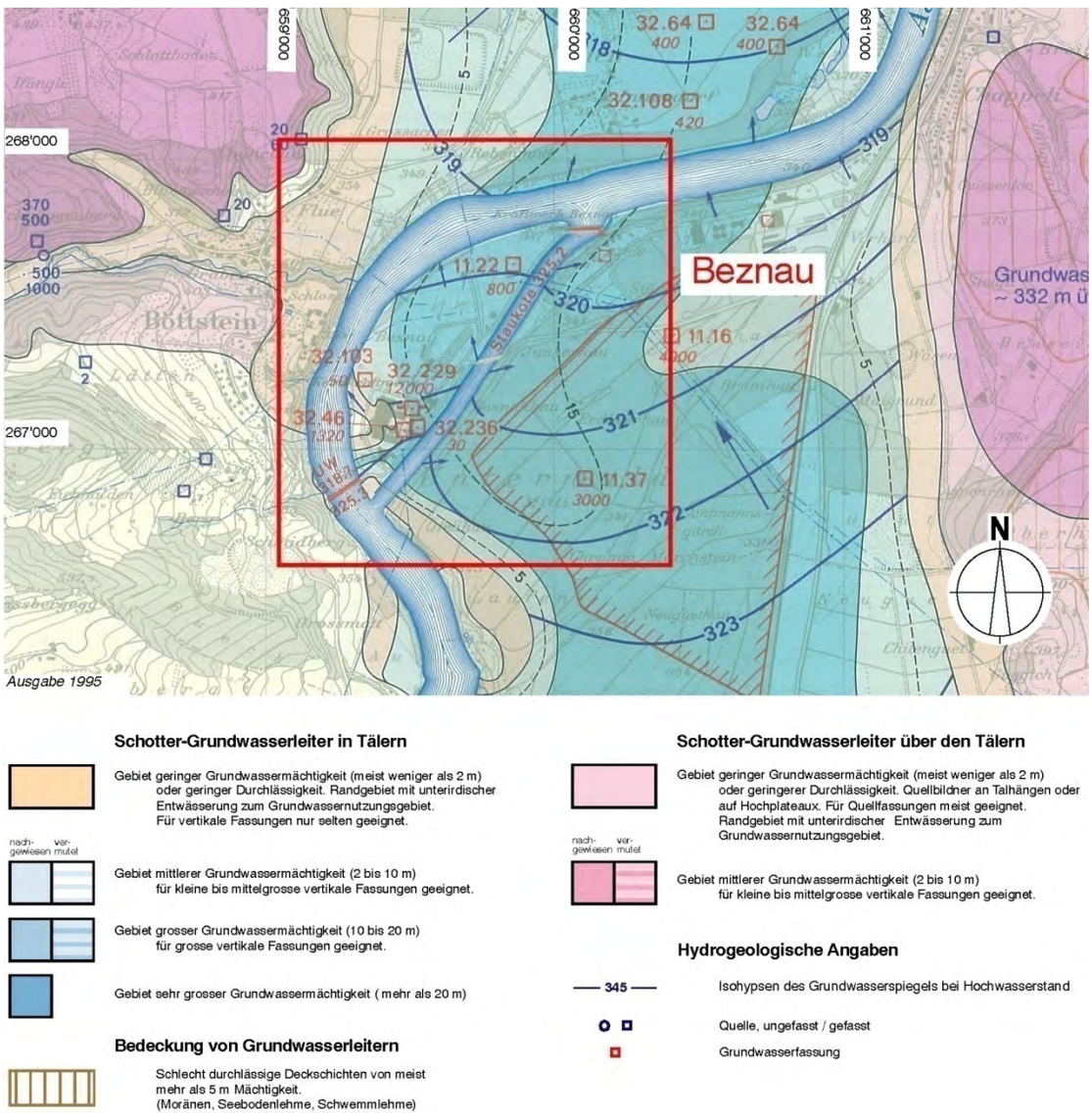
Das Grundwasser strömt im unteren Aaretal generell ungefähr parallel zur Talachse, ungefähr gegen Norden, und weist ausserhalb des unmittelbaren Einflussbereichs der Aare ein flaches Gefälle von lediglich ca. 1–2‰ auf. Im engeren Umfeld der Beznau-Insel weichen die Strömungsverhältnisse als Folge der Stauhaltung im Oberwasserkanal und in der Aare etwas vom allgemeinen Bild ab. Das Grundwasser strömt hier zwischen dem Oberwasserkanal und der Aare im Unterwasserbereich mit deutlich stärkerem Gefälle in nordwestlicher Richtung.

Die nutzbare Grundwassermächtigkeit beträgt im unteren Aaretal im Allgemeinen ca. 10 bis 15 m, im Bereich von lokalen, schmalen Rinnen sogar mehr als 20 m. Im Talrandbereich nimmt sie auf weniger als 5 m ab.

Im Bereich der Beznau-Insel ist die Grundwassermächtigkeit sehr unterschiedlich. Der Rand des nutzbaren Grundwassers liegt unmittelbar westlich der Kernkraftwerksanlage. In östlicher und nordöstlicher Richtung nimmt die Grundwassermächtigkeit rasch zu und erreicht noch im Bereich der bestehenden Gebäude 10 m, wenig weiter östlich sogar mehr als 15 m. Die bestehenden Kernkraftwerksanlagen reichen zum Teil ziemlich tief unter den Grundwasserspiegel und schränken damit den Durchflussquerschnitt lokal künstlich ein. Im Bereich der beiden Reaktorgebäude, welche auf dem Felsuntergrund fundiert sind, ist die Grundwassermächtigkeit praktisch vollständig unterbrochen.

Der Flurabstand des Grundwasserspiegels, d.h. die Mächtigkeit des trockenen Schotters über dem Grundwasser, ist in weiten Teilen des unteren Aaretales beachtlich hoch und beträgt zwischen ca. 15 und 30 m. Im Bereich der untersten Schotterterrassen gegen die Aare wird der Flurabstand geringer und beträgt im Bereich der Beznau-Insel je nach Terrainkote zwischen 3 und gut 6 m.

Abbildung 3.7-8: Ausschnitt aus der Grundwasserkarte des Kantons Aargau



Die Grundwasserspiegelschwankungen sind aufgrund der regulierenden Wirkung der Aare allgemein bescheiden. Die Amplituden betragen bei normalen jahreszeitlichen Schwankungen lediglich etwa 1 m. Im Fall von extremen Wasserständen können sie bis zu ca. 2 m ansteigen.

Die Grundwasserneubildung erfolgt durch Versickerung der Niederschläge in der Talsohle, durch den unterirdischen Zustrom von Hangwasser aus den Talflanken und insbesondere durch Infiltration von Aarewasser.

3.7.1.3 Geodynamisches Modell

3.7.1.3.1 Zielsetzung

Das hier präsentierte geodynamische Modell gibt eine Übersicht über die dem Sicherheitsbericht zugrunde liegenden Modellvorstellungen der Geodynamik im Umfeld des EKKB Beznau.

Abbildung 3.7-9: Tektonische Übersichtskarte (aus [96], ergänzt)



3.7.1.3.2 Tektonik im Bereich des Sockels

Im Sockel unter der mesozoischen Schichtreihe verläuft mit WSW-ENE gerichtetem Streichen der Nordrand des Nordschweizerischen Permokarbontroges. Die Brüche am Trogrand waren vor allem im Oberkarbon und Unterperm als südostvergente Abschiebungen aktiv. Entlang dieser Trograndbrüche wurden einerseits die Trogschultern und andererseits der zentrale Trogbereich um mehrere 100 bis sogar 1'000 m abgesenkt.

Die letzten nennenswerten Absenkungen fanden wohl im oberen Perm statt und erfassten auch die Trogschultern, auf welchen lediglich noch permische Sedimente abgelagert wurden (Abbildung 3.7-10). Die Trograndbrüche am Nordrand des Permokarbontroges besitzen also ein hohes Alter, denn sie verstellen das kristalline Grundgebirge mit dem Permokarbontrog und den Trogschultern (Perm), nicht aber das Deckgebirge mit der mesozoischen Schichtreihe. Diese Interpretation wird gestützt durch die drei seismischen Profile 82NX40, 82NF50 und 82NS80 (Sprecher & Müller [58], Diebold et al. [43] und Nagra [96]). Auch in [43] wird bestätigt, dass sich die herzynische Tektonik mit den dextralen Verwerfungen am Nordrand der Permokarbontroges im unteren Aaretal nicht auf die mesozoische Schichtreihe durchpaust, sondern dass sie bereits Ende des Perm vollständig abgeklungen war. Eine mögliche Ausnahme stellt die Verlängerung der Vorwald-Störung dar, welche eventuell bis im Miozän aktiv war (vgl. unten).

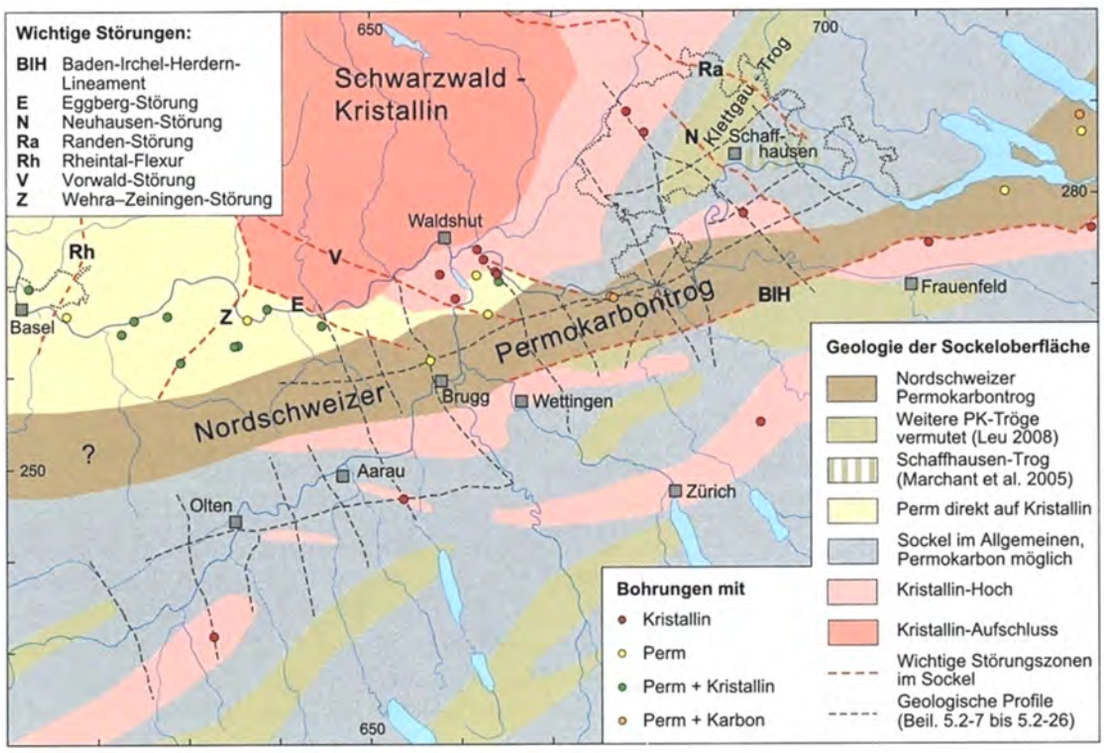
Mit der nachgewiesenen Inaktivität der Trograndbrüche am Nordrand des Permokarbontroges seit dem ausgehenden Perm stellt sich die Frage nach neotektonischen Bewegungen nicht. Die Trograndbrüche besitzen damit auch kein seismogenes Potenzial und kein Potenzial für Oberflächenverschiebungen.

Der Nordrand des Permokarbontroges wird durch verschiedene Staffeln von NW - SE streichenden Verwerfungen (in der Regel dextrale strike-slip faults) zergliedert. Der nördliche Trograndund die Trogschultern werden dadurch in einzelne im Uhrzeigersinn gegeneinander verschobene Schollen versetzt. Die wichtigste dieser Verwerfungen ist die Vorwald-Störung, welche aus dem Schwarzwald herkommend über Albbruck in das Gebiet nördlich der Beznau hineinzieht und sich östlich des Aaretales zu verlieren scheint (Abbildung 3.7-10).

Die Hauptaktivität an diesen Störungen fand ebenfalls im Karbon und im Perm statt, und der Sockel wurde durch diese Bewegungen, welche z.T. mehrere Kilometer in der Horizontalen und mehrere 100 m in der Vertikalen erreichen, zerschert und zergliedert.

Anzeichen für jüngere Bewegungen finden sich höchstens bei der Vorwald-Störung. Diese wirkte im Schwarzwald letztmals im Oligozän als südvergente Abschiebung mit einem Vertikalversatz von etwas mehr als 100 m und mit klar abnehmender Tendenz gegen Osten, gegen das Gebiet der Schweiz. Im Tälchen von Unterendingen ist in den Malmkalken eine südvergente Flexur aufgeschlossen, in welcher ein östlicher Ausläufer der Vorwaldstörung gesehen werden kann. Diese Flexur wird im Hangenden durch miozäne Austernnagelfluh ungestört überlagert, so dass davon ausgegangen werden darf, dass die letzten Bewegungen post Malm aber prämiozän stattfanden und damit älter als 25 Mio. Jahre wären. Die Beobachtungen im Schwarzwald lassen sich dadurch bestätigen.

Abbildung 3.7-10: Sockelstrukturen (aus Nagra NTB 08-04 [96])



3.7.1.3.3 Tektonik im Bereich des Deckgebirges

Das Deckgebirge in Form der mesozoischen Schichtreihe legt sich relativ ungestört über die herzynischen Strukturen des Sockels. Ihre Sedimentation erfolgte unter relativ ruhigen Verhältnissen von der Trias bis im oberen Malm, d.h. im Zeitraum von ca. 245 Millionen Jahren bis ca. 160 Millionen Jahren vor heute. Es liegen aus dieser langen, relativ ruhigen Sedimentationsphase nur in den Triasschichten gewisse Anzeichen vor, dass die alten herzynischen Strukturen im Sockel noch aktiv gewesen wären.

Im Zeitraum vom Malm bis ins mittlere Tertiär, d.h. während der ganzen Kreide, war das Gebiet landfest und unterlag der terrestrischen Verwitterung, und es entwickelten sich in den Malmkalken tief reichende Karstsysteme.

Im Zusammenhang mit den gebirgsbildenden Prozessen in den Alpen geriet im Tertiär der ganze mesozoische Schichtstapel unter Süd-Nord gerichtete Schubspannung, und ab dem oberen Miozän, vor etwa 12 Millionen Jahren, setzte die Bildung des Juragebirges ein. Südlich Brugg äusserte sich dies in der Aufwölbung und Überschiebung der Falten des Faltenjuras. Nördlich davon, im Tafeljura, bewirkte die Schubspannung eine Abscherung des mesozoischen Schichtstapels in den Evaporitschichten der mittleren Trias. Dadurch wurden die Schichten des Tafeljuras entlang von überwiegend E-W gerichteten Achsen in Antiklinalstrukturen und Flexuren verformt. Wichtigste Vertreter sind die Endingen-Flexur sowie die Siggenthal-Antiklinale mit der Iberig-Flexur. All diese Strukturelemente sind durch Abscherung des Deckgebirges über dem Sockel entstanden. Wegen der zahlreichen tektonischen Phänomene in der Zone zwischen dem

Faltenjura und der Mandacher Überschiebung wird dieser Bereich des Tafeljuras heute als Vorfaltenzone bezeichnet (Abbildung 3.7-9).

Die nördlichste dieser durch Schubspannung erzeugten Strukturen ist die Mandacher Überschiebung, welche mit WSW-ENE gerichteter Streichrichtung von Frick her kommend durch das Wehr Beznau streicht und sich dann unter dem Aaretal zu verlieren scheint. Die östliche Verlängerung der Mandacher Überschiebung im Surbtal ist nicht eindeutig identifizierbar. Es ist durchaus denkbar, dass sich östlich des Unterwaldes die Mandacher Flexur und die Mandacher Überschiebung trennen. Die Mandacher Flexur, als Sockelstruktur und Repräsentant der WSW-ENE-streichenen Trogrand-Abschiebungen, könnte in ENE Richtung weiterziehen, und die durch Kompression bedingten Überschiebungsbeträge der Mandacher Überschiebung könnten in den hier relativ zahlreichen Flexuren kompensiert sein.

3.7.1.3.4 Indizien für neotektonische Bewegungen

Die tektonischen Bewegungen in der Vorfaltenzone und an der Mandacher Überschiebung stehen in engem Zusammenhang mit der Jurafaltung und waren vor allem im oberen Miozän und im Pliozän, im Zeitraum zwischen 12 Millionen und 3 Millionen Jahren vor heute aktiv.

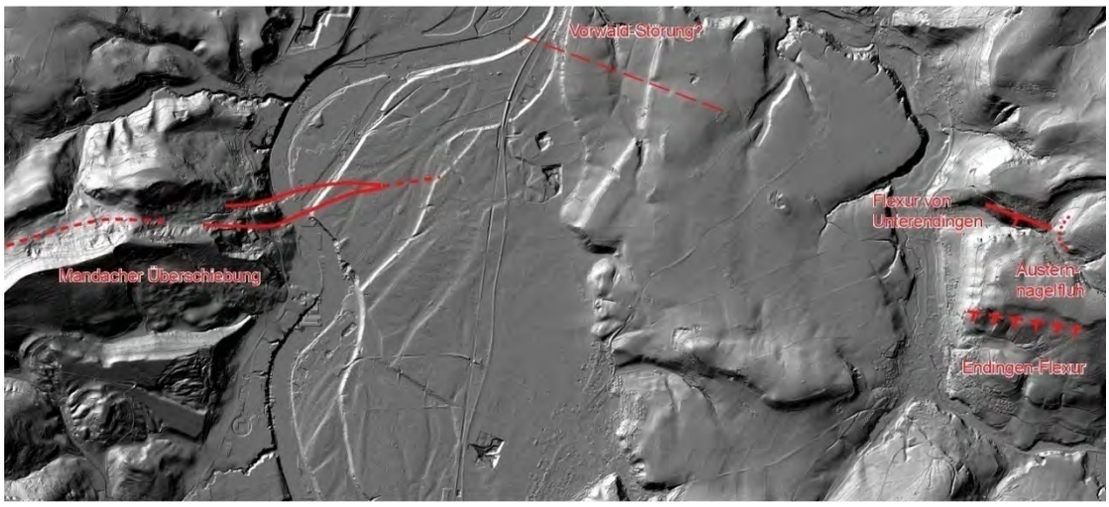
Haldimann et al. [44] hatten aufgrund verschiedener Argumente postuliert, dass an der Mandacher Überschiebung in jüngerer Zeit, d.h. im Quartär oder sogar heute noch, neotektonische Bewegungen stattfinden. Aufgrund neuerer Daten muss allerdings jene Arbeit in einem wichtigen Punkt korrigiert werden.

Die 1984 aufgrund von drei Bohrungen im Bränthau, nördlich der Spur der Mandacher Überschiebung identifizierte Felsschwelle aus Opalinuston (vgl. dazu Abbildung 3.7-5 und Abbildung 3.7-6) lässt sich in der damals gezeigten Form heute nicht mehr bestätigen (Kapitel 3.7.1.2.2). Die aufgrund aktueller Daten konstruierte Isohypsendarstellung der Felsoberfläche liefert keine Indizien für Bewegungen, welche seit der glazialen Erosion des Felstroges vor mehreren 100'000 Jahren bis heute gespielt hätten (Abbildung 3.7-5).

Für die in [44] postulierte jungpleistozäne Hebung im Südschenkel der Mandacher Überschiebung mit Raten von etwa 8 mm in 100 Jahren finden sich anhand der aktuellen Daten keine Argumente mehr.

Auch mit neueren Studien der Oberflächenmorphologie im Aaretal [98] konnten in den alluvialen Terrassen, namentlich im mehr als 20'000 Jahre alten Akkumulationsniveau der Niederterrasse, selbst mit einem hochauflösenden digitalen Geländemodell in der östlichen Verlängerung der Mandacher Überschiebung keine Indizien für Bewegungen jünger als 20'000 Jahre gefunden werden (Abbildung 3.7-11).

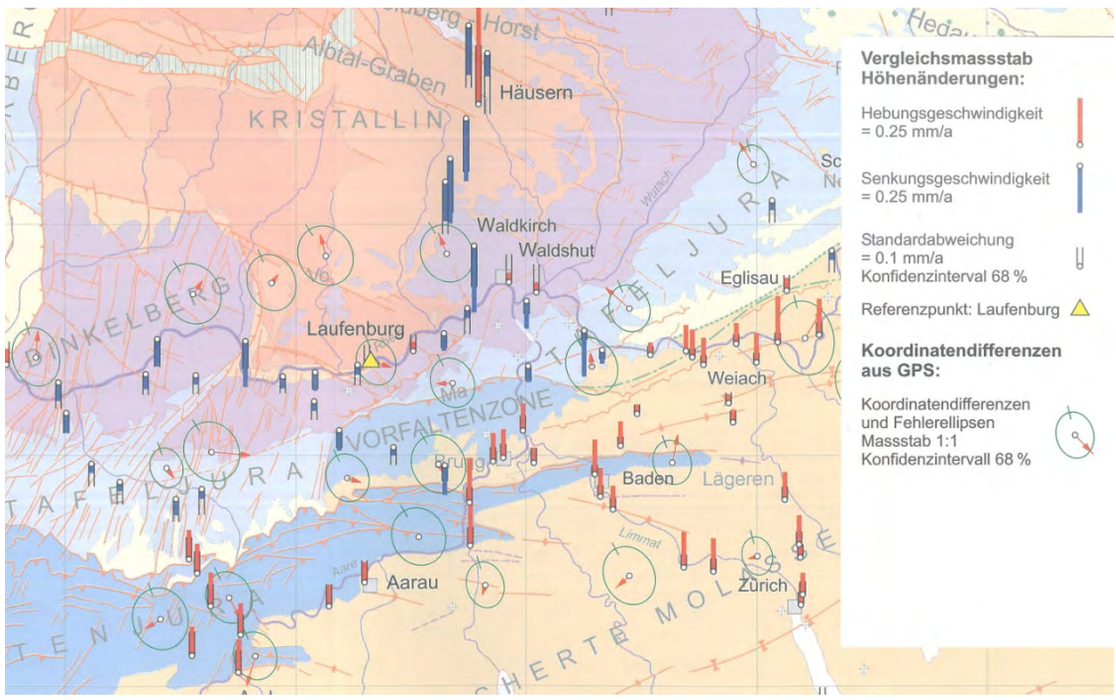
Abbildung 3.7-11: Digitales Geländemodell des Gebietes Unterwald



Immerhin zeigen die neusten geodätischen Präzisionsmessungen der rezenten vertikalen Krustenbewegungen, dass das ganze Gebiet des aargauischen Tafeljuras inklusive der Vorfaltenzone, einer generellen Kippbewegung unterworfen ist, mit Hebungstendenz im Bereich des Faltenjuras und im Raum Brugg und mit Absenkungstendenz entlang einer Linie Laufenburg-Koblenz-Wutachtal (Abbildung 3.7-12). Mit geodätischen Messungen lässt sich die Senkungsgeschwindigkeit im Raum Koblenz mit etwa 0.1 mm pro Jahr und die Hebungstendenz im Raum Brugg ebenfalls mit etwa 0.1 mm pro Jahr angeben.

Bestätigende Indizien für derartige grossräumige junge Bewegungen könnten Besonderheiten in der Gewässernetzgeometrie liefern. Eine Betrachtung des Aarelaufes zwischen Würenlingen und Böttstein zeigt, dass der Fluss in diesem Abschnitt aus der zentralen Talachse abgedrängt und ganz zum linken Talrand hin verlagert worden ist und dass er sich beim Wehr Beznau bei der Mandacher Überschiebung sogar epigenetisch in den Fels eingeschnitten hat.

Abbildung 3.7-12: Rezente vertikale Krustenbewegungen (aus [52])



Diese Beobachtungen könnten als Indizien für eine jungpleistozäne Verkippung des untersten Aaretals gegen Nordwesten gesehen werden, denn im Unterwald, in der östlichen Verlängerung der Mandacher Überschiebung, kann in verschiedenen Rändern von Schotterterrassen sehr schön eine sukzessive Verlagerung des Aarelaufes von Südosten gegen Nordwesten beobachtet werden (Abbildung 3.7-11). Die Hypothese dazu lautet: Wegen einer langsamen und kontinuierlichen neotektonischen Hebung des Gebietes Unterwald könnte die postglaziale Aare in den letzten 25'000 Jahren sukzessive gegen W und NW abgedrängt worden sein.

Ein publizierter Hinweis für neotektonische Bewegungen im Pleistozän findet sich, gestützt auf Graf 1993 [99], in Nagra [96]. In [99] wird postuliert, dass zur Zeit der höheren Deckenschotter eine hypothetische S-N verlaufende Mandacher Rinne infolge von Hebungen an der Mandacher Überschiebung abgeschnitten worden sei. Durch geologische Argumente kann indessen die Existenz einer Mandacher Rinne im Sinne Grafs widerlegt werden: Die Deckenschotter im Raum Mandach sind Relikte einer einst flächenförmigen fluvioglazialen Schotterebene mit einem 'braided river system'. Weder aus der Gerölleinregelung noch aus der Geometrie der Schotteruntergrenze lässt sich eine S-N gerichtete Mandacher-Rinne ableiten, welche durch Hebungen an der Mandacher Überschiebung hätte abgeschnitten werden können. Zudem hätte diese Hebung angesichts der Topographie der Egg südlich Mandach rund 100 m betragen müssen, was nicht plausibel ist.

Evidenz für neotektonische Bewegungen an der Mandacher Überschiebung kann also an keiner Stelle gefunden werden. Insbesondere sind weder in der Felsunterlage (Alter mehrere 100'000 Jahre) noch im Akkumulationsniveau der Niederterrasse im Unterwald (Alter rund 20'000 Jahre) im mutmasslichen Bereich der Mandacher Überschiebung Geländeversetzungen erkennbar, die in den genannten Zeiträumen entstanden wären (Abbildung 3.7-11). Oder mit anderen Worten: Es liegen für das jüngere Pleistozän und das Holozän keine Anzeichen vor, dass entlang der

Mandacher Überschiebung Oberflächenverschiebungen stattgefunden haben oder stattfinden, die diskret an das Lineament dieser Überschiebung gebunden wären.

3.7.1.3.5 Potenzial für Oberflächenverschiebungen

Tektonisch bedingte Oberflächenverschiebungen an der Mandacher Überschiebung, welche zu differenziellen Verschiebungen und damit zur Beschädigung von Gebäuden oder Anlagen des EKKB führen könnten, müssten

a an ein diskretes tektonisches Lineament der Überschiebung gebunden sein, welches direkt durch den Grundriss der neuen Anlage streicht

b relativ rasch (innert Jahrzehnten) ablaufen und eine relevante Grössenordnung von mehreren mm pro Ereignis erreichen.

Beide Bedingungen sind in Beznau nicht erfüllt.

Zu a: Die Mandacher Überschiebung als definierter Nordrand der durch kompressive Tektonik dominierten Vorfaltenzone mit allen bekannten Digitationen (Verästelungen) streicht nachweislich mehrere 100 m südöstlich des Reaktorstandorts durch, und die Neubauten des EKKB liegen über den tektonisch ruhig gelagerten Schichten des Tafeljuras s.str. Unter der Beznau-Insel sind keine tektonischen Strukturen kartierbar, welche ein Potenzial für Oberflächenverschiebungen hätten.

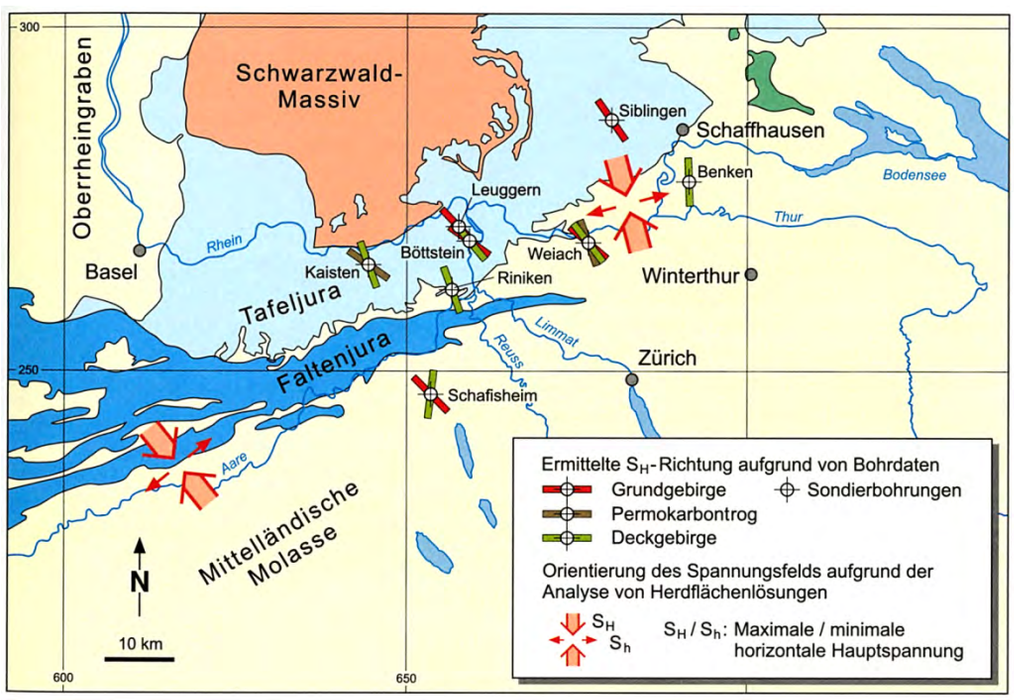
Zu b: Weiter oben wurde gezeigt, dass keine Indizien für neotektonische Bewegungen an der Mandacher Überschiebung gefunden werden können. Wie oben gezeigt wird, können indessen allfällige grossräumige neotektonische Bewegungen des Untergrundes, welche im Pleistozän und eventuell auch noch im Holozän gespielt hätten, nicht ganz ausgeschlossen werden. Es würde sich dabei aber um *langsam und kontinuierlich ablaufende, grossräumige, regionale Bewegungsprozesse,* in der Grössenordnung von maximal 0.1 mm pro Jahr handeln, welche nicht an ein Lineament gebunden sind und Bauten und Anlagen des EKKB nicht beeinträchtigen können.

Bei den bisher ausgeführten Bauarbeiten auf der Insel Beznau wurden innerhalb der Lockergesteinsformationen keinerlei Verstellungen beobachtet, die auf tektonische Vorgänge zurückzuführen sein könnten. Bei der Realisierung des Bauvorhabens EKKB soll im Rahmen einer geologischen Baubegleitung speziell auch auf Anzeichen von tektonischen Vorgängen innerhalb des Lockergesteins geachtet werden. Zu diesem Zweck werden geologische Aufnahmen für jede Aushubetappe vorgesehen.

3.7.1.3.6 Rezentes Spannungsfeld

Sowohl die tektonischen Strukturen im Deckgebirge der Vorfaltenzone als auch die besagte Kippbewegung sind ein Ausdruck einer anhaltenden SSE-NNW gerichteten Schubspannung. Dies belegen die aus Herdmechanismen von Erdbeben und aufgrund von Bohrlochdaten abgeleiteten horizontalen Hauptspannungsrichtungen, wie sie z.B. in [96] visualisiert werden (Abbildung 3.7-13). Interessant ist die Tatsache, dass das Spannungsfeld im Sockel (eher SE-NW gerichtete Hauptspannung) von demjenigen im Deckgebirge (eher S-N gerichtete Hauptspannung) entkoppelt ist.

Abbildung 3.7-13: Orientierung des rezenten Spannungsfeldes (aus [96])



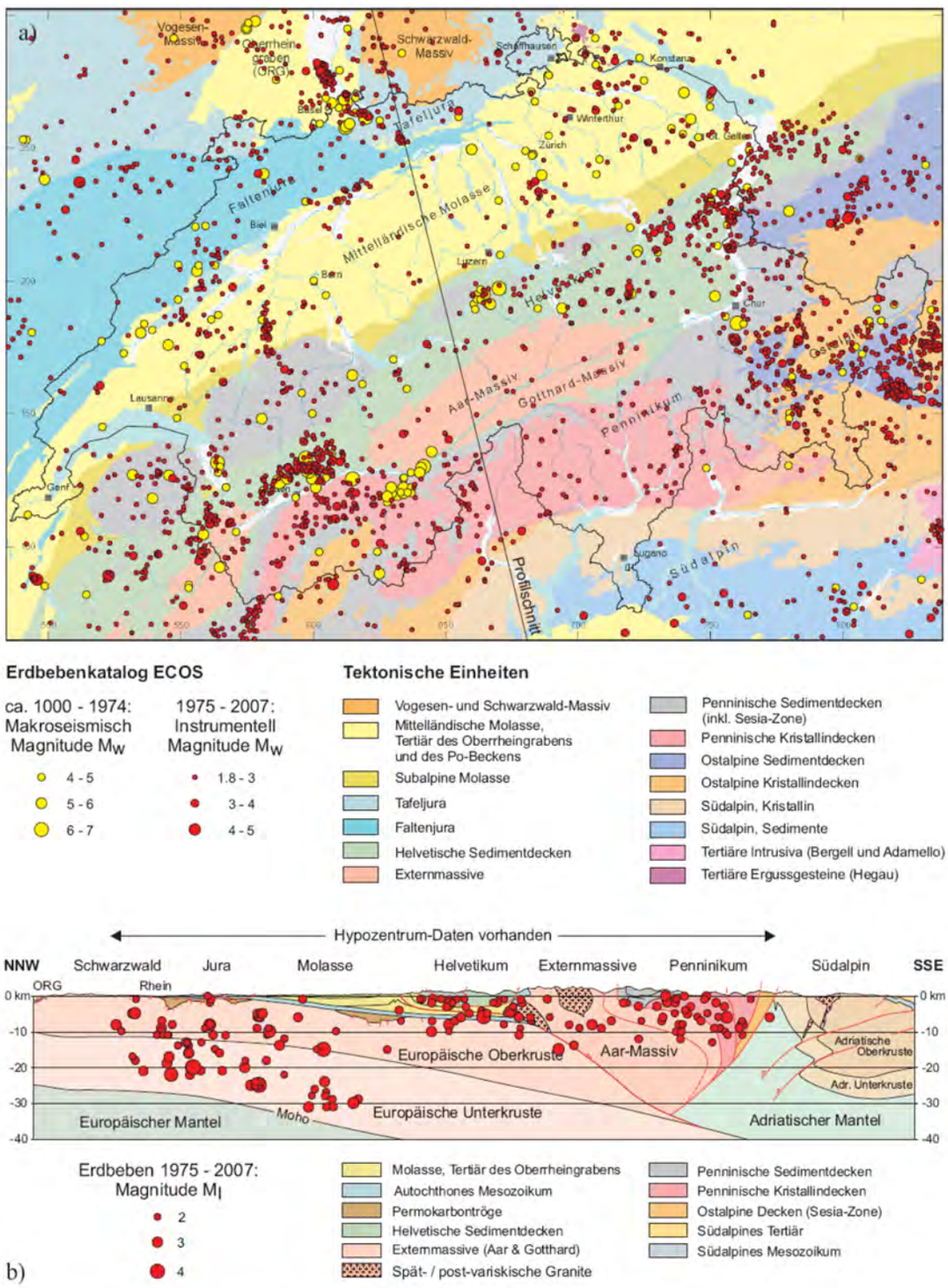
3.7.1.3.7 Rezente Seismizität, Herdtiefen

Seismizitätskarten des Schweizerischen Erdbebendienstes (SED) fassen historische (seit ca. 1'000 n.Chr.) und instrumentelle Erdbebenbeobachtungen (seit 1975) zusammen (Abbildung 3.7-14 oben). Sie zeigen eine deutlich erhöhte Erdbebenaktivität in der Region Basel und im Wallis. Auch der östliche Teil des Kantons Graubünden und das St.Galler Rheintal gehören zu den seismisch aktiveren Gebieten der Schweiz. Das zentrale Molassebecken zu dem auch die Standortregion Beznau gehört weist dagegen eine deutlich geringere Erdbebenhäufigkeit auf. Die Epizentren in diesem Gebiet sind diffus verteilt und können nicht mit bekannten Störungen oder tektonischen Einheiten in Verbindung gebracht werden.

Markante regionale Unterschiede gibt es auch bei den Herdtiefen: Im nördlichen Alpenvorland verteilen sich die Erdbebenherde über die ganze Ober- und Unterkruste bis in eine Tiefe von über 30 km. Südlich einer Linie, die etwa mit der Front der helvetischen Decken zusammenfällt, kommen Erdbeben jedoch nur noch in den obersten 10-15 km vor (Abbildung 3.7-14 unten). Die tiefen Herde unter der mittelländischen Molasse und dem Jura sind ungewöhnlich für das Innere einer stabilen Kontinentalplatte ('intraplate region'). Man geht allgemein davon aus, dass sich das Gestein, aufgrund der herrschenden Druck- und Temperaturverhältnisse im Bereich der Unterkruste nur noch duktil verformt. Die Gründe für das Phänomen sind nicht klar; Deichmann [97] erwähnt als eine mögliche Erklärung die Anwesenheit von hochgespannten Wässern welche die Scherfestigkeit präexistierender Schwächezonen soweit herunter setzen könnte, dass Spröddeformation auch in Tiefen möglich wird, wo man bei trockenen Verhältnissen oder geringeren Wasserdrücken eine duktile Verformung erwarten würde.

Obwohl der Erdbebenkatalog und die daraus abgeleiteten Karten eine beeindruckende Zahl von historischen und instrumentellen Beobachtungen enthält, reicht der Beobachtungszeitraum, bei den geringen Deformationsraten und Erdbebenhäufigkeiten, nicht aus, um ein repräsentatives Bild der Seismizitätsverteilung zu vermitteln. Aufgrund der heute bekannten Daten kann noch nicht entschieden werden, ob die räumliche Verteilung der seismischen Aktivität stationär bleiben wird oder ob sich Erdbeben in der fernen Zukunft in anderen Gebieten häufen werden.

Abbildung 3.7-14: Seismizität und Herdtiefenverteilung (aus [96])



3.7.2 Baugrundeigenschaften

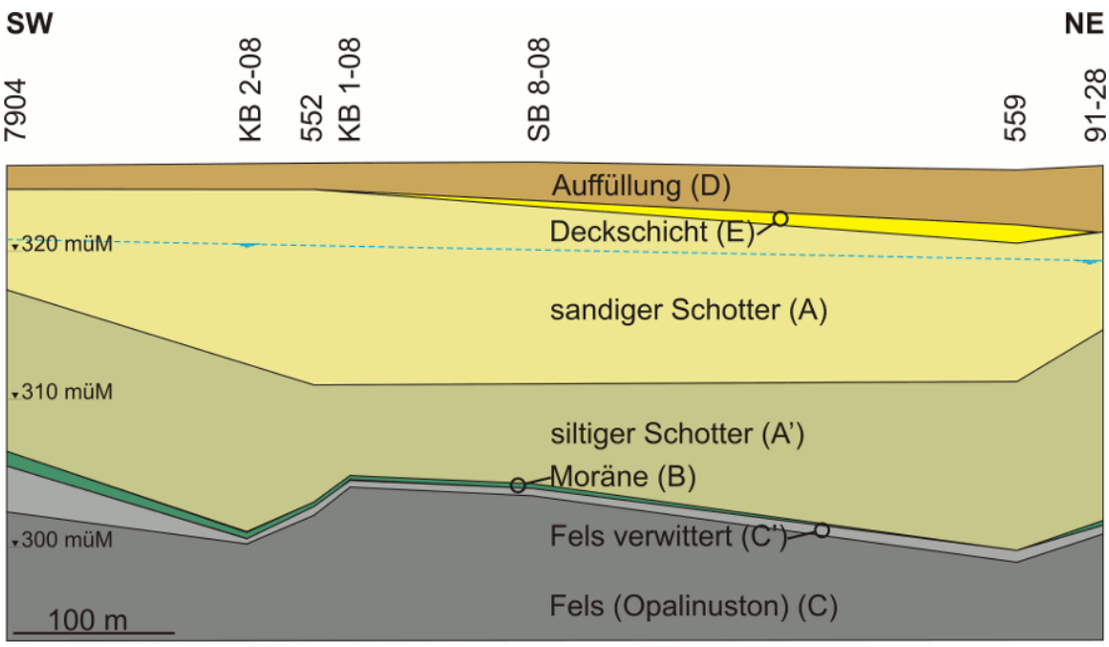
3.7.2.1 Das Baugrundmodell

3.7.2.1.1 Schichtverlauf

Die auf dem Areal anzutreffenden Baugrundschichten und der Verlauf der Schichtgrenzen sind aus dem geologischen Profil durch das Bauareal in Abbildung 3.7-15 ersichtlich. Unter wenig Auffüllung (Schicht D) bzw. teilweise unter einer geringmächtigen feinkörnigen Deckschicht (Schicht E) besteht der Baugrund auf dem ganzen Areal grösstenteils aus Schottern (Niederterrassen-Schotter). Gemäss den vorhandenen Erfahrungen können diese in einen oberen, eher sauberen Schotter (sandiger Schotter, Schicht A) und einen unteren, siltigen Schotter (Schicht A') unterteilt werden. Die beiden Schichten unterscheiden sich nicht sehr stark, auch in der unteren Schicht kommen noch saubere, sandige Kiese vor. Örtlich ist unter den Schottern noch eine geringmächtige Moräne vorhanden (Schicht B), sonst folgt im interessierenden Bereich die Felsoberfläche mit einem relativ geringen Relief (Oberkante ca. zwischen Kote 299 m ü.M. bis 305, ca. 20-25 m unter Terrain). Etwa 1-3 m unter die Felsoberfläche ist der Fels verwittert (Schicht C'), dann folgt der unverwitterte Opalinuston (Schicht C).

Innerhalb der geschichteten Schotterabfolgen aus siltigen bis sandigen Kiesen treten in unterschiedlichen Tiefen Linsen aus sauberem Sand auf. Die Lagerungsdichte der Lockergesteine ist mit Ausnahme von Auffüllung und Deckschicht hoch. Der mittlere Grundwasserspiegel liegt ca. 3-6 m unter Terrain.

Abbildung 3.7-15: Geologisches Profil durch das Bauareal mit dem Verlauf der Lockergesteinsschichten und der Lage der Felsoberfläche



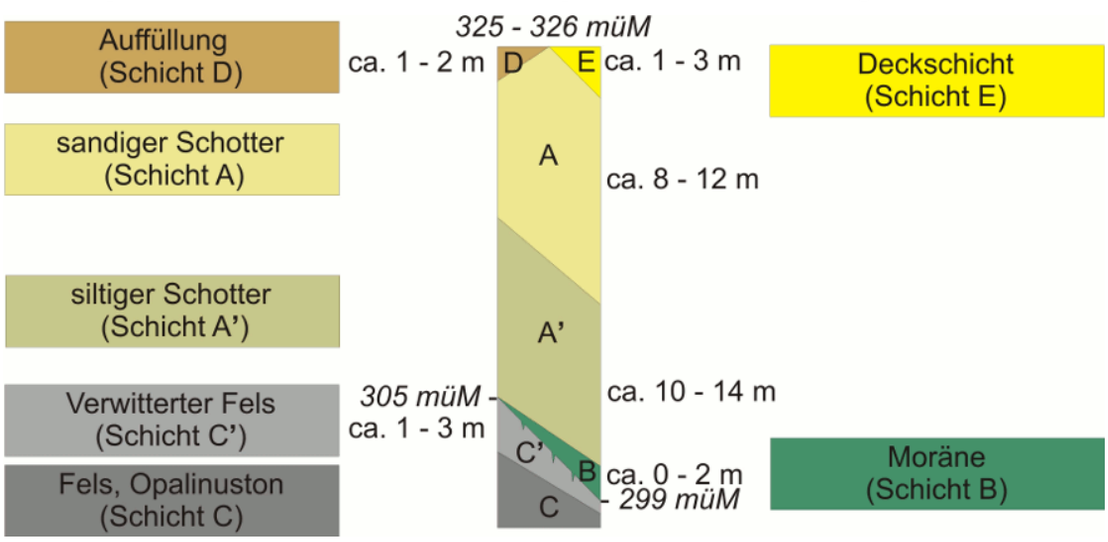
3.7.2.1.2 Geotechnische Beschreibung der Schichten

Schicht A

In der Schicht A (sandiger Schotter) dominiert sauberer, gut abgestufter sandiger Kies (Typ GW nach USCS = Unified-Soil-Classification-System), daneben treten auch sauberer, schlecht abgestufter Kies (GP) und schwach siltiger Kies (GM) auf. Feinanteilreiche Partien aus schlecht abgestuftem Sand (SP) kommen nur in untergeordnetem Ausmass als Linsen oder geringmächtige Zwischenschichten vor. Diese sind unregelmässig verteilt über die ganze Tiefe eingestreut und weisen Mächtigkeiten bis zu maximal 1 m auf. Der Anteil der Sandschichten innerhalb des Schotters beträgt in den Bohrungen KB 1 bis KB 3 am EKKB-Standort (Lage der Bohrungen siehe Abbildung 3.7-4, Ausführung 2008) zwischen 4 und maximal 8%. Die Schicht A besteht somit gesamthaft betrachtet überwiegend aus grobkörnigem, kiesigem Material mit Korngrössen bis maximal etwa 30 cm. Die Schicht weist eine hohe bis sehr hohe Lagerungsdichte auf. Die ausgeführten SPT-Versuche (SPT = Standard Penetration Test) ergaben für 30 cm Eindringung (N30-Wert) Schlagzahlen zwischen ca. 40 und deutlich über hundert Schlägen, was einer dichten bis sehr dichten Lagerung entspricht. Neben den drei Bohrungen wurde jeweils auch eine Rammsondierung zur Bestimmung der Lagerungsdichte ausgeführt. Infolge der sehr dichten Lagerung konnten diese auf 1.63 m (bei KB 1) bzw. 2.13 m Tiefe (bei KB 2) nicht mehr weitergeführt werden. Nur bei KB 3 konnte bei mittleren Rammwiderständen bis 6.14 m Tiefe gerammt werden. Oberhalb des Grundwasserspiegels wurden auch Seitendruckversuche ausgeführt. Die gemessenen Erstbelastungsmoduli zeigen starke Schwankungen zwischen 10 und über 100 MN/m^2. Teilweise sind die tiefen Werte sicher durch die Auflockerung der Bohrlochwand infolge des Bohrvorganges bedingt; bei KB 3 zeigt aber auch die Rammsondierung eine geringere Festigkeit des Schotters.

Lokal kommen auch Kalkverkrustungen an den Komponenten vor. Die Durchlässigkeit der Schicht A ist unterschiedlich, insgesamt aber als gross zu beurteilen. Wegen der Schichtung im Schotter ist die horizontale Durchlässigkeit etwa um Faktor 10 grösser als jene in vertikaler Richtung zu beurteilen. Die Schicht A bildet den oberen Teil des Lockergesteinsgrundwasserträgers.

Abbildung 3.7-16: Schematischer Aufbau des Baugrundes mit Schichtmächtigkeiten



Schicht A'

Die Schicht A' weist gegenüber Schicht A generell einen etwas grösseren Anteil an Feinmaterial (Ton- und Siltfraktion) auf, der Kiesanteil ist aber auf jeden Fall noch dominierend. Neben den in Schicht A erwähnten Typen treten auch Kiese des Typs GC und GC-GM auf; Linsen oder geringmächtige Schichten von Sand kommen ebenfalls vor (Mächtigkeit bis 0.9 m). Die ausgeführten SPT-Versuche ergaben für 30 cm Eindringung (N30-Wert) Schlagzahlen zwischen ca. 76 und deutlich über hundert Schlägen, was einer sehr dichten Lagerung entspricht. Die Kieskomponenten sind oft nur kantengerundet bis angerundet und weisen teilweise noch residuale Schrammungen auf, was ihre gletschernahe Entstehung beweist.

Die Durchlässigkeit der Schicht A' ist insgesamt gesehen kleiner als jene der Schicht A, aber immer noch recht gross. Die Schicht A' bildet den unteren Teil des ergiebigen Lockergesteins-Grundwasserträgers.

Schicht B

Schicht B weist die typische Kornzusammensetzung von Moräne mit Vertretung aller Korngrössen auf, wobei die feinkörnige Grundmasse für das geotechnische Verhalten entscheidend ist. Die entsprechenden USGS-Bezeichnungen lauten: GC und GC-GM. Es können auch grössere Blöcke in der Moräne auftreten.Die Schicht B wurde in den neuen Sondierungen nur in geringer Mächtigkeit angetroffen bzw. fehlte ganz. Die Moräne ist glazial vorbelastet und damit sehr dicht gelagert. Ihre Durchlässigkeit ist klein und in allen Richtungen etwa gleich, da keine Schichtung vorliegt. Die Moräne wirkt als Grundwasserstauer.

Schicht C'

Der verwitterte Opalinuston (Schicht C') ist geotechnisch eher einem tonigen Lockergestein gleichzustellen als dem Fels. Im geologischen Sprachgebrauch bildet aber die Oberkante des verwitterten Opalinustons die Felsoberfläche. Durch den Verwitterungsvorgang wurde das Felsgefüge aufgelockert, es ist aber immer noch so dicht, dass die Schicht nur wenig zusammendrückbar ist. Die Durchlässigkeit des verwitterten Opalinustons ist sehr klein, weshalb er als Grundwasserstauer anzusehen ist.

Schicht C

Aus bautechnischer Sicht ist der unverwitterte Fels (Opalinuston, Schicht C) als inkompressibel zu betrachten. Es handelt sich um ein sehr dichtes Festgestein aus Ton. Die Schicht ist praktisch undurchlässig.

Schicht D

Die Schicht D (Auffüllung) ist sehr heterogen. Meist handelt es sich um verdichtet eingebauten sauberen Kies, lokal aber auch um eher weichen, tonigen Silt (Aushub Opalinuston). Die Lagerungsdichte der Auffüllung ist eher gering. Entsprechend der unterschiedlichen Zusammensetzung schwankt auch die Durchlässigkeit der Auffüllung von sehr hoch bis sehr gering.

Schicht E

Bei Schicht E (Deckschicht) handelt es sich um Ablagerungen, welche die Aare bei Hochwasser hinterlassen hat. Dementsprechend handelt es sich um feinkörniges, locker gelagertes Material mit geringer Durchlässigkeit (CL gemäss USCS).

3.7.2.1.3 Geotechnische Kennwerte

Die wichtigsten geotechnischen Kennwerte der Lockergesteinsschichten und der obersten Felsschichten für die Berechnungen von Setzungen und Baugruben sind in nachfolgender Tabelle 3.7-1 zusammengestellt. Die Werte basieren auf den Erfahrungen bei den bisherigen Bauten KKB und zusätzlich auf den neu ausgeführten Untersuchungen im Bereich Standort EKKB. Es handelt sich um Werte für erste Abschätzungen, die im Rahmen einer detaillierten Baugrundabklärung zu überprüfen und allenfalls anzupassen sind. Dies wird bei der Vorbereitung des Baubewilligungsgesuchs erfolgen.

Tabelle 3.7-1: Geotechnische Kennwerte des Baugrundes im ungestörten Zustand

Parameter			Auffüllung	Deck-schicht	Sandiger Schotter	Siltiger Schotter	Moräne	Verwitterter Fels (Opal.ton)	Intakter Fels (Opal.ton)
			D	E	A	A'	B	C'	C
Raumgewicht feucht	γ	[kN/m^3]	22 ± 0.5	20 ± 0.5	22.5 ± 0.5	22.5 ± 0.5	21.5 ± 0.5	21.5 ± 0.5	25 ± 0.5
Reibungswinkel	ϕ'	[Grad]	35 ± 5	30 ± 2	40 ± 2	38 ± 2	33 ± 3	30 ± 2	37± 6
Kohäsion	c'	[kN/m^2]	0	0	0	0	2 ± 2	2 ± 2	15'000 ± 10'000*
Zusammen-drückungsmodul Erstbelastung	M_E	[MN/m^2]	80 ± 40	10 ± 3	120 ± 20	70 ± 10	40 ± 10	50 ± 10	-
Zusammen-drückungsmodul Wiederbelastung	$M_{E'}$	[MN/m^2]	240 ± 60	25 ± 5	300 ± 50	170 ± 20	120 ± 20	130 ± 30	-
E-Modul	E	[MN/m^2]	-	-	-	-	-	-	2'000 ± 1'000
Durchlässigkeit horizontal	k_h	[m/sec]	4-8 x 10^{-3}	4-6 x 10^{-4}	3-5 x 10^{-3}	1-4 x 10^{-3}	1-10 x 10^{-5}	1 x 10^{-9}	1 x 10^{-8}
Querdehnungs-zahl			0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.4	0.4
Dynamisches Schubmodul	G_{dyn}	[MN/m^2]	-	-	300 ± 100	600 ± 200	600 ± 200	-	-
Dämpfungs-verhältnis	D	%	-	-	2 - 28	2 - 28	-	-	-

* Quer zur Schichtung

Die dynamischen geotechnischen Eigenschaften des Untergrundes wurden sowohl durch insitu-Versuche als auch durch Laborversuche untersucht. Vor Ort wurden verschiedene seismische Methoden angewendet, um die P- und S-Wellengeschwindigkeiten in Lockergestein und Fels zu

bestimmen. Neben Logging der Bohrungen (Full Wave Sonic) wurden Aufzeitmessungen, Downhole-Messungen, Hybrid-Seimik (MASW) und schliesslich zusätzlich auch Crosshole-Messungen durchgeführt [108].

Im Labor wurden an den Schotterproben neben den Standardanalysen wie Kornverteilung usw. auch statische und zyklische Triaxialversuche sowie Resonant Column-Tests durchgeführt. Da sich die beiden Schotterschichten nicht grundsätzlich unterscheiden, wurden die beiden Schichten nicht einzeln untersucht. Um die Variabilität der Kornverteilung abzudecken, wurden aber Versuche mit Proben mit unterschiedlichen Feinanteilgehalten durchgeführt. Da im kiesigen Material keine ungestörten Proben gewonnen werden konnten, wurden die Versuche an aufbereitetem Material durchgeführt.

Zusätzlich zu Triaxialversuchen an Opalinustonproben wurden an weiteren Felsbohrkernen des Lias auch noch Durchschallungsversuche durchgeführt.

Schubmoduli und Dämpfungsverhältnis

Zur Bestimmung der Schubmoduli und des Dämpfungsverhältnisses wurden von der ETH Zürich an den Kiesproben zyklische Triaxialversuche und Resonant-Column-Tests durchgeführt. Die RC-Versuche ergeben tiefere Werte als die zyklischen Triaxialversuche (vgl. Abbildung 3.7-17). Die Dämpfung liegt bei tiefen Scherdehnungsamplituden bis $1x10^{-5}$ bei wenigen Prozent und steigt dann bei höheren Amplituden an bis über 20% (Abbildung 3.7-18). Bei Berechnung des Schubmoduls aus den Scherwellengeschwindigkeiten ergeben sich höhere Werte.

Abbildung 3.7-17: Normierter Schubmodul der Schotterproben Beznau als Funktion der Schubdehnung

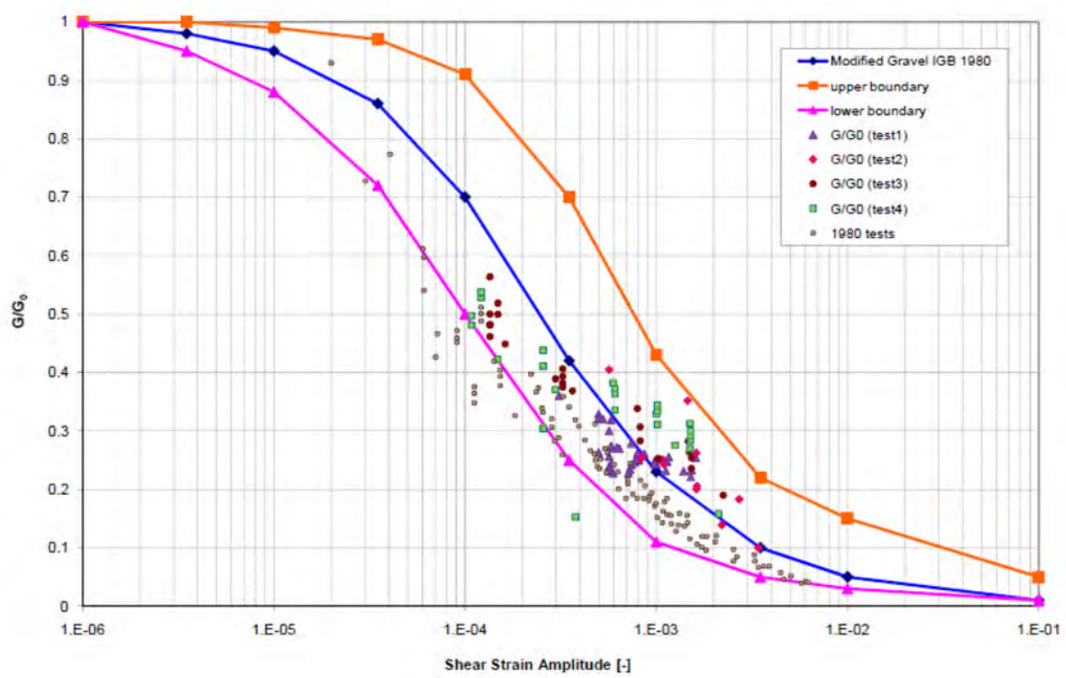
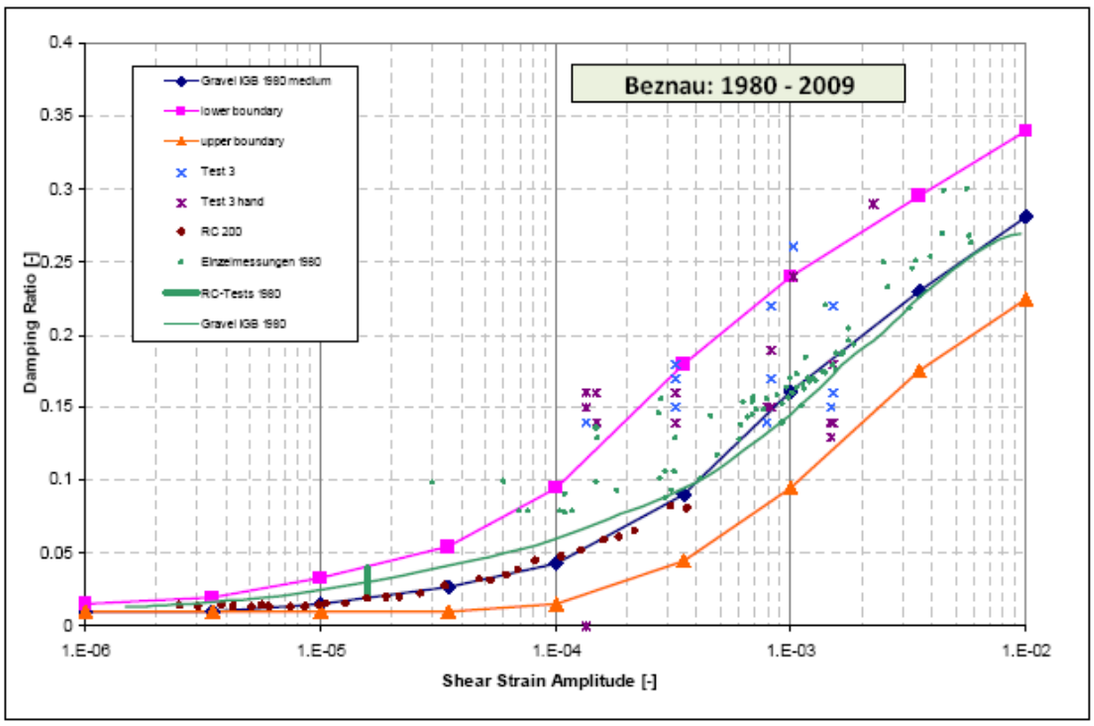


Abbildung 3.7-18: Dämpfungsverhältnis der Schotterproben Beznau als Funktion der Schubdehnung



P- und S-Wellengeschwindigkeiten

Die Bestimmung der Scherwellengeschwindigkeiten mittels verschiedener Methoden ergab unterschiedliche Resultate. Als zuverlässigste Methode werden die Crosshole-Messungen eingestuft, und die hier angegebenen Werte sind dementsprechend weitgehend auf diese abgestützt. Anhand der ausgeführten Untersuchungen können die Wellengeschwindigkeiten für die einzelnen Schichten als Richtwert wie folgt angegeben werden:

Tabelle 3.7-2: Zusammenstellung Wellengeschwindigkeiten

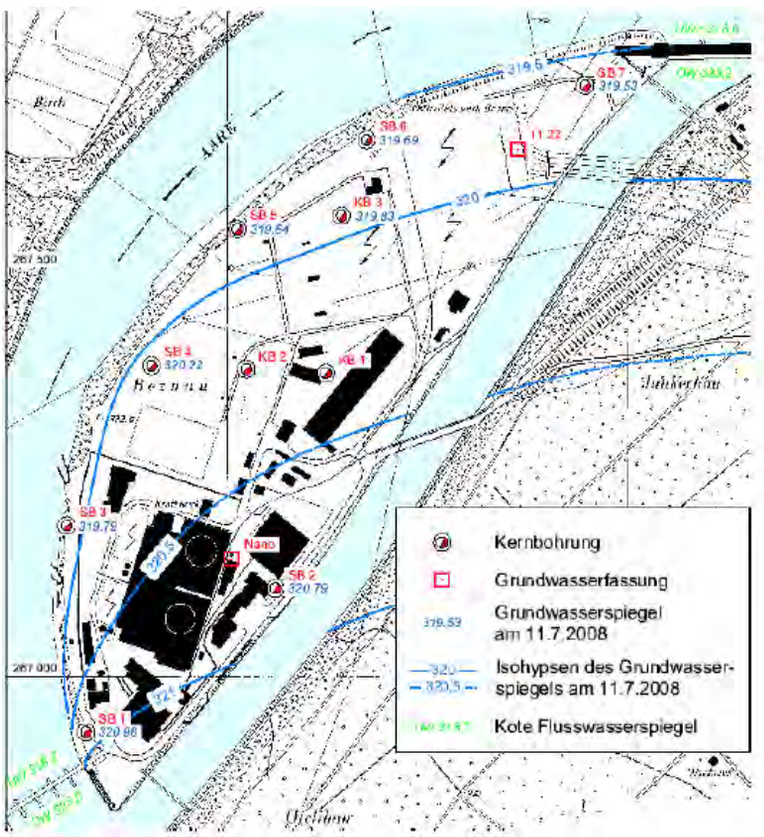
Parameter			Sandiger Schotter	Siltiger Schotter	Moräne	Verwitterter Opalinus-ton	Opalinus-ton unverwittert	Rock (Gips-keuper)
			A	A'	B	C'	C	
Scherwellenge-schwindigkeit	V_s	[m/sec]	350 - 500	500 - 900	500 - 900	800 - 900	900 - 1000	1800
Kompressions-wellengeschwin-digkeit	V_p	[m/sec]	875 - 1250	1250 - 2000	1250 - 2000	1800 - 2100	2100 - 2200	4500

Im Bereich der Felsschichten zeigt sich teilweise eine ausgeprägte Anisotropie der Wellengeschwindigkeiten (vor allem im Opalinuston). Im Rahmen des Projektes PRP werden detaillierte neue Wellengeschwindigkeitsprofile erstellt.

3.7.2.2 Grundwasserverhältnisse

Die Schotter auf dem Areal (Schichten A und A') bilden einen wichtigen, genutzten Grundwasserleiter; Moräne und Fels bilden den Grundwasserstauer. Der Grundwasserspiegel wird anhand von vorhandenen Piezometern periodisch gemessen. Abbildung 3.7-19 zeigt die neueren vorhandenen Messstellen und die Lage des Grundwasserspiegels am 11.07.2008.

Abbildung 3.7-19: Grundwassermessstellen und Isohypsen Grundwasserspiegel (11.07.2008)



Der Flurabstand bis zum Grundwasserspiegel in den Messtellen beträgt, bedingt durch die unterschiedlichen Terrainhöhen, zwischen knapp 3 m bis über 6 m. Die Grundwasserhöhen von ca. 320 bis 320.5 m ü.M. im Bereich EKKB in Abbildung 3.7-19 entsprechen etwa einem mittleren Grundwasserstand. Das Grundwasser fliesst im Bereich der Insel Beznau von SE nach NW. Oberhalb des Stauwehres, und zu einem Teil auch aus dem Bereich Oberwasserkanal, infiltriert Aarewasser. Unterhalb des Wehres ist die Aare Vorfluter, und je nach Wasserstand der Aare fliesst das Grundwasser wieder in die Aare zurück.

Die Durchlässigkeiten des Schotters auf der Insel Beznau sind aufgrund von älteren Pumpversuchen bereits gut bekannt. Neben vielen Kleinpumpversuchen wurde 1985 auch ein Langzeit-Grosspumpversuch für die bestehende NANO-Fassung beim KKB durchgeführt. Bei Entnahmemengen von ca. 80 l/s aus einem Filterbrunnen 700 mm ergab sich eine Absenkung von ca. einem Meter. Im Zusammenhang mit Projekten des Hydraulischen Kraftwerkes Beznau wurde 2008 mit den vielen vorhandenen Daten für den Bereich der Insel Beznau und das Aaretal stromaufwärts bis Würenlingen und stromabwärts bis nach Klingnau ein Grundwassermodell

erstellt. Die Auswirkungen von Grundwasserentnahmen und von allfälligen Einbauten lassen sich mit diesem Modell recht genau prognostizieren. Der Durchlässigkeitsbeiwert innerhalb der Schotterablagerungen Beznau liegt gemäss den Messungen und dem Grundwassermodell im Bereich von 3 bis $5x10^{-3}$ m/s.

Die Insel Beznau liegt im Gewässerschutzbereich A_u, welcher die nutzbaren unterirdischen Gewässer und die zu ihrem Schutz notwendigen Randgebiete umfasst. Gemäss Gewässerschutzverordnung des Bundes (GSchV) sind Bauten und Anlagen in diesem Bereich grundsätzlich über dem mittleren Grundwasserspiegel zu erstellen. Die Behörde kann Ausnahmen bewilligen, sofern die Durchflusskapazität gegenüber dem unbeeinflussten Zustand um höchstens 10% vermindert wird. Da der Durchflussquerschnitt im Bereich Beznau relativ gross ist, kann dies auch bei grösseren Einbauten unter den mittleren Grundwasserspiegel gewährleistet werden.

3.7.2.3 Beurteilung des Baugrunds

3.7.2.3.1 Tragfähigkeit des Baugrunds und Setzungen

Die Schotterschichten auf dem Areal können wegen ihrer Kornzusammensetzung und ihrer hohen Lagerungsdichte als sehr gut tragfähiger und gering setzungsempfindlicher Baugrund beurteilt werden. Die für Setzungsberechnungen massgebende Mächtigkeit der Lockergesteinsschichten ist abhängig von der Fundationstiefe. Diese beträgt für die betrachteten Reaktortypen zwischen ca. 6 und 12 m unter dem bestehenden Terrain. Die spezifische Bodenpressung kann anhand der Last- und Flächenangaben auf ca. 0.4 bis 0.8 MN/m² abgeschätzt werden (je nach Anlage bzw. Anlageteil). Die zu erwartenden Belastungen des Untergrundes aus den Neubauten können von den Schottern (Schichten A und A') übernommen werden, ohne dass unzulässige Setzungen entstehen, wenn die Fundamente entsprechend dimensioniert und genügend tief in den Schotter eingebunden werden. Tiefere Gebäudeteile werden in das Grundwasser reichen, weshalb auch der Auftrieb zu berücksichtigen ist. Bei höher als die Schotterobergrenze im Bereich der künstlichen Auffüllungen (Schicht D) oder Deckschicht (Schicht E) liegenden Fundamentteilen ist Materialersatz erforderlich. Die setzungsanfälligen Schichten sind auszuheben und durch gut verdichtetes Kiesmaterial zu ersetzen, welches dann dieselben Baugrundeigenschaften aufweist wie die Schotter.

3.7.2.3.2 Klüftung und Bodenverflüssigung

Die durchgeführten Baugrunduntersuchungen zeigen, dass der Fels am Standort nicht zerklüftet ist. Ein Potenzial für Bodenverflüssigung besteht nur in sauberen Sanden oder Silten mit schlechter Sortierung, geringer Lagerungsdichte und hoher Empfindlichkeit gegenüber einer Änderung des Wassergehaltes. Solche Lockergesteinstypen kommen gemäss den Sondierungen nur als Linsen bzw. lokale, geringmächtige Schichten vor. Die grösste in den neuen Sondierungen am Standort EKKB beobachtete Mächtigkeit einer solchen Schicht beträgt 1 m (Linse aus sauberem Mittelsand). Grössere zusammenhängende Sandschichten wurden nicht angetroffen und sind aufgrund der Ablagerungsbedingungen auch nicht zu erwarten.

Die Lagerungsdichte der vorhandenen Sande ist zudem anhand der SPT-Versuche in den umgebenden Schottern so hoch, dass die Schichten nicht als verflüssigungsgefährdet einzustufen sind. Wenn grössere Sandschichten angetroffen würden, könnten diese nötigenfalls ausgetauscht oder mit Zement verfestigt werden.

3.7.2.3.3 Hangstabilität

Das Bauareal liegt auf der flachen Ebene der Insel Beznau. Auf dem Areal selber bestehen damit keine Probleme bezüglich Hangstabilität. Beznau wird auf einer Seite vom Oberwasserkanal und auf der anderen Seite von der Aare mit Flachufer begrenzt. Beim Oberwasserkanal schliesst zuerst ein flaches Landstück an und dann folgt ein kurzer Hang bis zur Ebene des Unterwaldes. Allfällige Hangrutschungen aus dem kurzen Hang würden den Oberwasserkanal nicht erreichen und sind damit nicht relevant.

Der Hang direkt von der Aare in Richtung Dorf Böttstein zeigt aktuell keine Zeichen von Instabilitäten. 1966 lösten sich an der Schlosshalde Böttstein an der Böschung zur Aare einige Nagelfluhblöcke von mehreren Kubikmetern Grösse (Rutschung Schlosshalde, Böttstein. Bericht Jäckli [100]).

Die Blöcke durchbrachen den Wald, beschädigten die Uferverbauungen und stürzten in die Aare. Die betreffende Böschung besteht aus Niederterrassenschottern, in denen verkittete Partien vorkommen. Im obersten Teil der Böschung bilden diese verkitteten Partien Steilstufen, von denen damals ein vorspringender Teil abgebrochen und abgestürzt ist. Seither sind keine Ereignisse mehr bekannt, es kann aber nicht ganz ausgeschlossen werden, dass sich im Laufe der Zeit wieder eine kleinere Partie lösen könnte und einzelne Blöcke in die Aare rollen würden. Dies führt aber mit Sicherheit nicht zu einer Gefährdung der Anlage auf der Insel Beznau, da die Aare an dieser Stelle recht breit ist. Südlich des Dorfes Böttstein ist auf der geologischen Karte 1:25'000 eine Rutschmasse angegeben. Diese hatte zu Deformationen an der Strasse geführt, welche in der Folge mit technischen Massnahmen gesichert wurde. Eine Spontanrutschung aus dieser Zone ist somit heute ausgeschlossen.

Unmittelbar südlich der Insel Beznau bewegte sich im Jahre 1876 eine ca. 100 m breite Kriechmasse im Opalinuston mit einer Geschwindigkeit von bis zu 2 Meter pro Tag talwärts und schob sich bis in den damals noch nicht aufgestauten Aarelauf vor (Bitterli, P. et al [42]). Der Hang in diesem Gebiet weist auch heute noch kleinere Bewegungen auf. Eine spontane Rutschung bis in die Aare kann aber ausgeschlossen werden, da der unterste Teil entlang der Aare in diesem Bereich heute recht flach ist. Hangrutschungen flussaufwärts des Wehres könnten grundsätzlich das Flussprofil verengen und den Wasserfluss verringern. In diesem Bereich stehen aber flussaufwärts des Rutsches von 1876 auf beiden Ufern Kalke und Mergel des Lias an, die keine Disposition zu Instabilitäten zeigen.

3.7.2.3.4 Baugrube und Wasserhaltung

Die Durchlässigkeit des Baugrundes, insbesondere der sandigen Schotter und der siltigen Schotter, ist recht gross. Für den Abschluss der Baugrube muss deshalb ein dichter Baugrubenabschluss gewählt werden, da sonst der Grundwasserspiegel innerhalb der Baugrube nicht genügend abgesenkt werden kann. Der Baugrubenabschluss muss mindestens in die dichte Moräne eingebunden werden; da diese aber nur örtlich vorhanden ist, muss die Einbindung meist in den verwitterten Fels gemacht werden, damit von unten kein grösserer Wasserzufluss mehr stattfinden kann. Das Bauwerk beansprucht je nach Wahl des Baugrubenabschlusses und Fundationstiefe unterschiedlich grosse Teile des Grundwasserträgers. Einbauten unter den mittleren Grundwasserspiegel sind bewilligungspflichtig und dürfen höchstens 10% der Durchflusskapazität des Grundwasserträgers beanspruchen. Da der Durchflussquerschnitt im

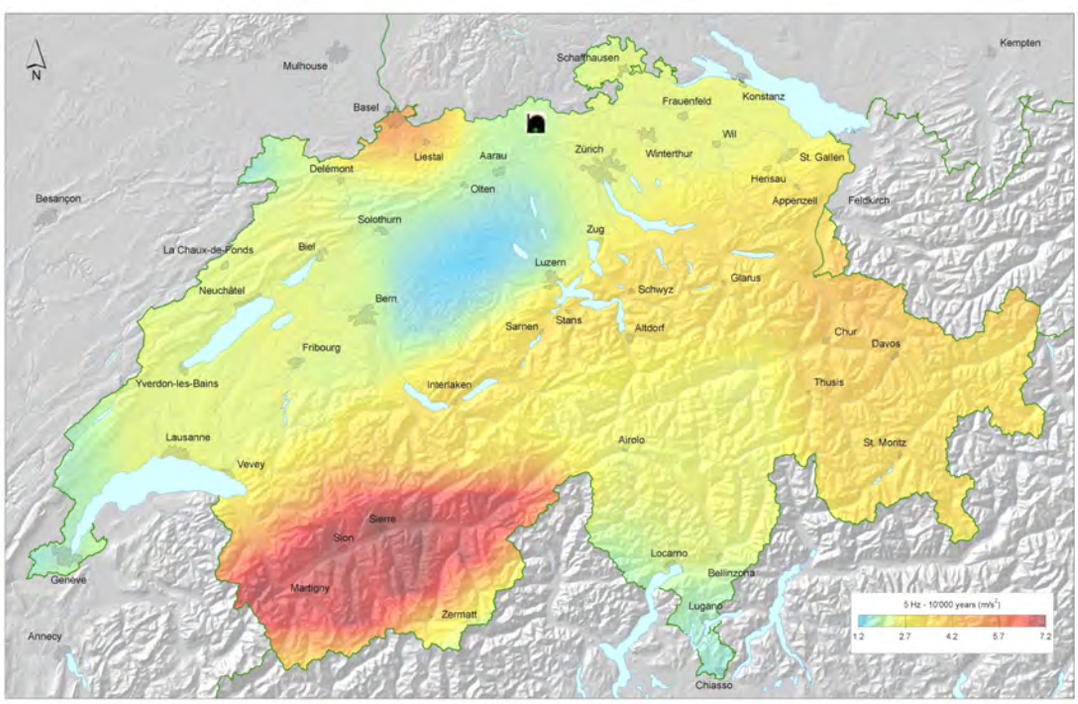
Bereich Beznau insgesamt aber gross ist, stellt dies voraussichtlich kein Problem dar. Für die Wasserhaltung innerhalb der Baugrube sind Filterbrunnen bis Unterkante-Schotter zu erstellen. Es dürfen keine Baumethoden zur Anwendung kommen, welche die bestehenden Brunnen von KKB 1 und 2 beeinträchtigen oder zu Gebäudesenkungen führen könnten.

3.7.3 Seismologie und standortspezifische Erdbebengefährdung

3.7.3.1 Erdbeben als externer Störfall

Beznau liegt innerhalb der Schweiz in einem Gebiet niedriger Erdbebengefährdung (vgl. Abbildung 3.7-20) und die Schweiz als Ganzes wird von den meisten Seismologen den "intraplate regions" zugerechnet, also vergleichsweise stabilen Regionen im Innern der grossen plattentektonischen Einheiten (PEGASOS 2004 [54]-[56]). In diesen Gebieten mit geringer bis mittlerer seismischer Aktivität ist die Wahrscheinlichkeit starker Erdbeben gering; mit abnehmenden Eintretenswahrscheinlichkeiten nimmt aber die Stärke der zu berücksichtigenden Erdbeben zu. Bei extrem kleinen jährlichen Eintretenswahrscheinlichkeiten von $\leq 10^{-4}$, wie sie bei der Sicherheitsanalyse eines Kernkraftwerkes betrachtet werden, müssen auch in seismisch ruhigen Gebieten starke Erdbeben mit einbezogen werden, die an einem Standort zu erheblichen Bodenerschütterungen und entsprechenden Belastungen an der Anlage führen können. Erdbeben gehören deshalb auch in der Schweiz zu den wichtigsten externen Ereignissen, welche zu Störfällen führen können (Art. 8 KEV).

Abbildung 3.7-20: Seismische Gefährdungskarte des Schweizerischen Erdbebendienstes [107]. Dargestellt sind die erwarteten Horizontalbeschleunigungen (in m/s^2) für eine Frequenz von 5 Hz und eine Wiederkehrperiode von 10'000 Jahren.



3.7.3.2 Seismische Gefährdungsanalysen

3.7.3.2.1 Die deterministische Gefährdungsanalyse

Bei der deterministischen seismischen Gefährdungsanalyse werden zunächst alle seismischen Quellen identifiziert von denen angenommen wird, dass sie zur Gefährdung am Standort beitragen könnten. Dann werden für jede Quelle die Entfernung und die grösste denkbare Erdbebenmagnitude festgelegt. Mit einer Abminderungsbeziehung, die auf die lokalen geologischen Verhältnisse abgestimmt ist, wird für jede Quelle die resultierende vibratorische Bodenbewegung ("ground motion", GM) am Standort berechnet und durch einen geeigneten GM-Parameter (z.B. "peak ground acceleration", PGA) ausgedrückt. Massgebend für die Auslegungsbeschleunigung ist der Maximalwert des gewählten Bodenbewegungsparameters, also z.B. der höchste PGA-Wert, der dann einer einzigen Quelle zugeordnet werden kann.

Unsicherheiten werden dadurch berücksichtigt, dass bezüglich Quellencharakteristika und der Abminderungsbeziehung *pessimistische* bzw. *konservative* Annahmen getroffen werden. Dies steht im Gegensatz zur Praxis bei der probabilistischen Analyse (vgl. Kapitel 3.7.3.2.2) wo die *wahrscheinlichsten* Annahmen gewählt und ihre Unsicherheiten durch Parameterbandbreiten, alternative Modelle oder Zufallsverteilungen berücksichtigt werden.

3.7.3.2.2 Die probabilistische Gefährdungsanalyse

Im Gegensatz zu der deterministischen werden bei der probabilistischen Gefährdungsanalyse nicht nur Ground Motions für ein einziges oder einige wenige konservative Erdbebenszenarien berechnet, sondern es werden *alle glaubhaften Erdbebenszenarien* im Umkreis von mehreren 100 km in die Analyse mit einbezogen.

Die Methodik der probabilistischen Gefährdungsanalyse wurde 1968 durch C.A. Cornell eingeführt [101] [102]. Um die Gefährdung an einem Standort zu bestimmen, müssen drei Eingaben spezifiziert werden:

1. Die Quellengeometrie, bzw. die geografische Beschreibung der Quelle. Eine seismische Quelle ist ein Volumen der Erdkruste, dass durch eine tektonische Störung, eine Konzentration historischer Seismizität oder generell durch ähnliche, von Nachbargebieten abgrenzbare geologisch-tektonische Charakteristika gekennzeichnet ist und als Auslöser von Erdbeben in Frage kommt.
2. Die Auftretenshäufigkeiten, d.h. die mittlere Rate mit der Erdbeben mit jeglicher Magnitude innerhalb einer Quellenzone auftreten und die Magnitudenverteilung. Festzulegen ist auch die maximale Magnitude M_{max}, die in der Quellenzone als möglich angesehen wird.
3. Die Abminderungsfunktion. Dies ist ein Algorithmus mit dem die Beschleunigungs- (GM-) Amplituden abgeschätzt werden können, die am Standort, als Folge eines Erdbebens einer bestimmten Magnitude in einer bestimmten Distanz, auftreten. Bei empirisch abgeleiteten Abminderungsmodellen berücksichtigt man mit der Standardabweichung σ ("aleatorische Variabilität") die Streuung mehrerer Erdbeben gleicher Magnitude und Entfernung an einer einzigen Beobachtungsstation bzw. die Streuung ein und desselben Erdbebens an mehreren Stationen in gleicher Entfernung.

Mit den drei Eingabeelementen, der Quellengeometrie, den Auftretenshäufigkeiten und der Abminderungsbeziehung, kann die Gefährdung, also die auf das Jahr bezogene Wahrscheinlichkeit, dass ein gegebener Schwellenwert der Beschleunigungsamplitude am Standort überschritten wird, berechnet werden. Diese Wahrscheinlichkeit wird durch das Gefährdungsintegral ausgedrückt. Die Integration erfolgt über Distanz, Magnitude und die Beiträge aller Einzelquellen. Die Gefährdung wird für mehrere Schwellenwerte der Beschleunigungsamplitude, berechnet. Das Resultat ist eine Gefährdungskurve, welche die jährliche Überschreitungswahrscheinlichkeit als Funktion der Beschleunigungsamplitude darstellt. Gefährdungskurven werden für unterschiedliche Messgrössen der vibratorischen Bodenbewegung bestimmt, z.B. für die 'Peak Ground Acceleration' (PGA) oder spektrale Beschleunigungen bei verschiedenen Frequenzen.

Für das Verständnis der probabilistischen Analyse ist es durchaus nützlich und sinnvoll, die deterministische Perspektive als Ausgangspunkt zu nehmen. Der grundlegende Baustein ist auch hier das einzelne Erdbebenszenario, dessen Fernwirkung am Standort modelliert wird. Durch die doppelte Integration über Magnitude und Distanz werden dann aber *alle* Erdbeben aufsummiert, die in einer Quellenzone im Bereich des Standorts auftreten und potentiell Schäden verursachen können. Dabei werden die Erdbebenszenarien entsprechend ihrer orts- und magnitudenabhängigen Auftretenswahrscheinlichkeiten gewichtet. Die Multiplikation mit der Auftretensrate überführt die Wahrscheinlichkeiten in jährliche Auftretenshäufigkeiten, eine Resultatform, die für Auslegungsentscheide oder für den Vergleich mit anderen externen Störfällen bevorzugt wird. Schliesslich wird mit der Summation über alle Quellenzonen ein weiträumiges Einflussgebiet, mit dem vermuteten Potenzial aller Störungen und tektonischen Einheiten, in die Analyse mit einbezogen.

Die probabilistischen Gefährdungsanalyse beruht auf einer Vielzahl deterministischer Analysen bzw. auf der Modellierung einer Vielzahl einzelner Erdbebenszenarien. Deshalb ist die weit verbreitete Ansicht falsch, die deterministische Analyse sei als 'Ergänzung' der probabilistischen Analyse zu verstehen oder gewisse Erdbebenszenarien seien nicht in der probabilistischen Analyse enthalten. Die deterministische Analyse entspricht nicht einer Ergänzung sondern einer *Teilmenge* der probabilistischen Analyse. Die PSHA erhebt und erfüllt den Anspruch, alle glaubhaften Erdbebenszenarien mit einzubeziehen. Dies sagt allerdings noch nichts darüber aus, auf welche Weise einzelne Erdbebenszenarion modelliert bzw. Ground Motions am Standort berechnet werden.

3.7.3.2.3 Die Modellierung von Erdbebenszenarien

Die Berechnung von Ground Motions im Rahmen einer probabilistischen Analyse stützt sich in den meisten Fällen auf ein einfaches Modell der seismischen Quelle (Punktquelle oder Störungsquelle) und auf ein empirisch abgeleitetes GM- (oder Abminderungs-) Modell (vgl. Kapitel 3.7.3.5.4). Wenn man starke Erdbeben nahe beim Standort betrachtet, genügt diese vereinfachte Modellvorstellung der Quelle oft nicht mehr. Die Form und Lage der kausativen Bruchfläche beginnt eine Rolle zu spielen ('finite source effect'). Dazu gibt es in den Erdbebendatenbanken, die den empirischen GM-Modellen zu Grunde liegen, oft zu wenig starke Beben in Bruchnähe. Es wird deshalb manchmal in Frage gestellt, ob die empirischen Modelle im Nahbereich ihre Gültigkeit behalten, d.h. in der Lage sind, die Beschleunigungen am Standort korrekt vorauszusagen.

In solchen speziellen Fällen wird z.T. versucht, die Erdbebenfernwirkung analytisch zu modellieren. Derartige numerische 'Extended Source Simulations' (ESS) berechnen Parameter der vibratorischen Bodenbewegung ausgehend von einem präzis definierten räumlichen und dynamischen Modell der Quelle und einem Schichtmodell des Untergrundes zwischen Quelle und Standort, entsprechend den Gesetzen der Wellenausbreitungstheorie. Während sich die Fachwelt einig ist, dass die künftige Entwicklung in Richtung numerische Simulation von Erdbebenszenarien geht, ist umstritten ob dieser Ansatz schon heute eine valable Alternative darstellt oder in jedem Fall zusätzlichen Nutzen bringt. Schuld daran sind die vielen, kaum verifizierbaren Annahmen die auf der Inputseite gemacht werden müssen (geometrische und dynamische Parameter des Quellenmodells, Parameter des Übertragungsmodells etc.). Sie können die Modellierungsresultate kritisch beeinflussen. Wenn solche ESS-Studien daher stark abweichende Ground Motions voraussagen (ein Unterschied kann in beide Richtungen gehen) wird den Resultaten der empirischen Modellierung i.A. mehr Glauben geschenkt.

Auch wenn die Verwendung der ESS-Ergebnisse als Absolutwerte oft problematisch ist, können derartige Simulationen wertvoll sein, wenn es darum geht, die Bedeutung des 'extended source' Effekts im Nahbereich einer Störungsquelle abzuschätzen. Aufschlussreich sind beispielsweise die Azimutabhängigkeit ('directivity'), die Form der Spektren oder die Form der Abminderung in einer Entfernung von nur wenigen Kilometern. Häufig werden ESS-Resultate an einem weiter entfernten Punkt mit empirisch berechneten Ground Motions zur Übereinstimmung gebracht, um die GM-Modelle im schlecht abgedeckten Nahbereich zu überprüfen bzw. in den Nahbereich zu extrapolieren (vgl. Kapitel 3.7.3.4.2).

3.7.3.3 Das Projekt PEGASOS

3.7.3.3.1 Eine standortbezogene SSHAC Level-4 Analyse

Nach ersten Auswertungen historischer Erdbebendaten, die als Gefährdungskarten dargestellt wurden, übernahm man in der Schweiz bereits in den frühen 1980er Jahren die Methode der probabilistischen seismischen Gefährdungsanalyse (PSHA) für standortbezogene Studien. 1997 erschienen in den USA neue Richtlinien zur Durchführung dieser Analysen und zur Ermittlung der benötigten Inputs. Verantwortlich zeichnete das 'Senior Seismic Hazard Analysis Committee' (SSHAC), das von verschiedenen US-Institutionen, darunter der Nuclear Regulatory Commission (US-NRC) beauftragt worden war, die bisherigen Erfahrungen bei der Durchführung probabilistischer Gefährdungsanalysen auszuwerten und darauf basierend eine akzeptable und einheitliche Prozedur vorzuschlagen [103]. Die SSHAC-Empfehlungen geben vor, wie die Eingabedaten für eine probabilistische Analyse zu erheben sind, welche Rolle dabei Experten spielen und welche Regeln und formellen Prozeduren beachtet werden müssen, um zu einem belastbaren und robusten Ergebnis zu kommen. Ziel der formellen Expertenbefragung ('expert elicitation') ist es, gemäss SSHAC, zu jeder input-relevanten Frage die gesamte Bandbreite der in der Fachwelt vorherrschenden Hypothesen und Meinungen abzubilden[42] und die assoziierten Unsicherheiten zu quantifizieren. Ein Konsens unter den Evaluatoren ist dabei nicht erforderlich, da alle Expertenmodelle gleichberechtigt in die Analyse eingehen. Die Empfehlungen

[42] 'To represent the center, the body, and the range of technical interpretations that the larger informed technical community would have if they were to conduct the study' [103].

spezifizieren vier Analyse-Stufen mit ansteigendem Aufwand und Anspruch. Sie unterscheiden sich hauptsächlich durch die Anzahl Experten, die als repräsentative Vertreter ihres Fachs involviert werden und durch den Grad ihrer Interaktion.

Die Entwicklung der Analysenmethode und die Empfehlungen des SSHAC bewogen die HSK gegen Ende der 1990er-Jahre, eine Neuevaluation der Erdbebengefährdung für die schweizerischen KKW-Standorte zu fordern. Die Analyse sollte sich an den neuesten methodischen Vorgaben orientieren. Verlangt wurde eine Level-4-Studie, die komplexeste und anspruchvollste Variante für besonders sicherheitssensitive Anlagen und Bauwerke. Als Folge wurde daraufhin die 'Probabilistische Erdbebengefährdungsanalyse für die KKW-Standorte in der Schweiz' (PEGASOS) in Auftrag gegeben, geplant und in den Jahren 2001-2004 durchgeführt.

PEGASOS ist die erste und bislang einzige Studie dieser Art in Europa und eine der umfassendsten und aufwendigsten seismischen Gefährdungsanalysen weltweit.

3.7.3.3.2 Projektstruktur

Das PEGASOS Projekt war, entsprechend den Hauptarbeitsgebieten, in vier Teilprojekte gegliedert:

- *Teilprojekt SP1* erarbeitete die seismischen Quellenmodelle ('Seismic Source Characterisation'). Dieses Teilprojekt setzte sich aus vier Expertengruppen zusammen, mit je drei Experten unterschiedlicher fachlicher Ausrichtung; einem Seismologen, einem Geologen mit lokalen Kenntnissen und einem Spezialisten für seimotektonische Aspekte. Die Charakterisierung seismischer Quellen auf der Basis einer umfangreichen, nach den Wünschen der Experten zusammengestellten Datenbasis, umfasste neben der räumliche Definition von Flächen- und Störungsquellen, Aktivitätsraten, Magnituden-Häufigkeitsbeziehungen, Maximalmagnituden, Herdtiefen und Störungstypen-Verteilungen, auch die Abschätzung der assoziierten Unsicherheiten. Jede der multidisziplinären Expertengruppen entwickelte eine eigene Lösung für die gestellte Aufgabe.
- *Teilprojekt SP2* entwickelte die Abminderungs-Modelle zur Berechnung der Fels-Beschleunigungen am Standort ('Ground Motion Characterisation'). Die Arbeit umfasste die Evaluation, Auswahl, Neu-Komposition und Gewichtung von publizierten empirischen GM-Modellen in unterschiedlichen Magnituden- und Entfernungsfenstern. Dazu kam die Quantifizierung der Unsicherheiten in Form von Alternativen, Verteilungen und Beschneidungswerten im physikalisch unmöglichen Grenzbereich. Jeder Experte entwickelte im Kontakt und Austausch mit seinen Kollegen eine eigenständige Lösung.
- *Teilprojekt SP3* war verantwortlich für die Charakterisierung des Standorteffekts zur Berechnung der Soil-Beschleunigungen ('Site Response Characterisation'). Die vier Experten in diesem Teilprojekt hatte die Aufgabe, für jeden Standort ein individuelles Modell der oberflächennahen Lockergesteinsschichten zu entwickeln und darauf basierend frequenzabhängige Verstärkungsfaktoren abzuleiten. Dabei waren viele Einflussgrössen zu berücksichtigen, u.a. nicht-lineares Verhalten bei grossen Beschleunigungsamplituden, Einfallswinkel und 2D-Effekte. Auch in diesem Fall gehörte die Abschätzung der Unsicherheiten zu den individuellen Lösungen, welche die vier Experten ablieferten.

- *Teilprojekt SP4* führte die eigentlichen Gefährdungsrechnungen durch ('Seismic Hazard Computations'). Voraussetzung war die Kombination aller Modellvarianten und Parameterverteilungen aller Experten aller Teilprojekte. Dies bedeutete in der Praxis, dass eine sehr grosse Zahl individueller Inputsätze durchgerechnet und, mit der entsprechenden Gewichtung versehen, im Gesamtresultat berücksichtigt werden mussten. Zum Pflichtenheft von SP4 gehörten zudem Sensitivitätsanalysen zur Abklärung der Gefährdungsbeiträge einzelner Erdbebenszenarien oder zur Abklärung der Bedeutung einzelner Inputelemente.

3.7.3.3.3 Eingabedaten

Ziel und wesentlicher Inhalt der SSHAC-Methodik ist es, zu jedem input-relevanten Thema das Spektrum der in der Fachwelt vorherrschenden Meinungen abzubilden und in der Gefährdungsanalyse zu verwenden.

Im Rahmen von PEGASOS wurde der Begriff Expertenbefragung ('expert elicitation') im umfassenden Sinn auf alle Tätigkeiten und Prozesse angewendet, die dazu dienten, die Eingabedaten und -modelle für die Gefährdungsstudie zu entwickeln. Zu diesen Arbeitsprozessen gehörten:

- Aufbau und Unterhalt teilprojekt-spezifischer Datenbasen
- Meetings und Workshops
- Experteninterviews und interaktive Arbeitssitzungen
- Feedback-Meetings
- Formalisierung und Parametrisierung des PSHA-Inputs
- Dokumentation ('elicitation summaries')

Auftragsgemäss definierten die Experten und Expertengruppen nicht einen einzelnen Satz von Inputdaten sondern Input-Varianten, die ihrer Vorstellung vom Meinungsspektrums in ihrem Fachbereich entsprachen. Die Erarbeitung der Eingabedaten durch die Experten nahm insgesamt mehr als zwei Jahre in Anspruch. In dieser Zeit wurden pro Teilprojekt fünf Workshops, mehrere interaktive Arbeitssitzungen, Experteninterviews und andere Sitzungen zu Spezialthemen durchgeführt.

Obwohl die Lösungsansäze der einzelnen Experten und Expertengruppen sich z.T. stark unterschieden, waren die als Gefährdungsresultate ausgedrückten Ergebnisse der Interpretationen erstaunlich homogen. Grosse Unsicherheitsbandbreiten wurden nicht, wie in vergleichbaren Studien, durch extreme Expertenmeinungen ('outlier' Experten) verursacht, sondern waren ein Resultat der Unsicherheiten, welche die Experten ihren eigenen Einschätzungen zuordneten.

3.7.3.3.4 Unsicherheiten

Ein wichtiges Merkmal der probabilistischen Gefährdungsanalyse ist die quantitative Erfassung der Unsicherheiten bei allen Annahmen und Eingabegrössen. Sie werden durch die gesamte Rechensequenz propagiert und in Unsicherheitsverteilungen auf der Ergebnisseite übersetzt.

Fortgeschrittene PSHA-Studien unterscheiden zwei Arten von Unsicherheiten: die epistemische Unsicherheit und die aleatorische Variabilität. Die aleatorische Variabilität oder 'Zufälligkeit' liegt

im natürlichen physikalischen Prozess selbst begründet bzw. im vereinfachenden Prozessverständnis. So sind beispielsweise die Stärke, der Ort und der Zeitpunkt des nächsten Erdbebens auf einer Störung Elemente der aleatorischen Variabilität oder Unsicherheit. Sie können aufgrund des heutigen Wissensstands nicht vorausgesagt werden, unabhängig von der Datenlage. Die aleatorische Unsicherheitskomponente ist daher nicht reduzierbar. Im Gegensatz dazu bezieht sich die epistemische Unsicherheit auf den Mangel an Daten, die für bessere oder belastbarere Aussagen über das Auftreten von Erdbeben oder ihre Effekte gebraucht würden. Epistemische Unsicherheiten können deshalb im Prinzip durch methodische Fortschritte oder zusätzliche Untersuchungen reduziert werden.

Die zwei Arten von Unsicherheiten werden bei der Analyse auf unterschiedliche Weise berücksichtigt: die aleatorischen Unsicherheiten direkt im Gefährdungsintegral, um eine einzige Gefährdungskurve zu erhalten und die epistemischen Unsicherheiten durch multiple Annahmen, Hypothesen, Modelle oder Parameterwerte. Diese multiplen Interpretationen, dargestellt als gewichtete Äste eines 'Logic-Trees', werden systematisch durchgerechnet und resultieren in einer Serie von Gefährdungskurven mit assoziierter Gewichtung. Daraus ergibt sich schliesslich die Unsicherheitsverteilung die meist als Mittelwert-, Median- und Fraktilkurven der jährlichen Überschreitungswahrscheinlichkeiten dargestellt wird.

3.7.3.3.5 Ergebnisse

Die Resultate der PEGASOS-Studie umfassen Gefährdungskurven und Gefährdungsspektren für Fels[43] und Soil[44] Horizontal- und Vertikalbeschleunigungen, die sich auf drei unterschiedliche Referenzniveaus beziehen. Dazu kommen Deaggregationen der Gefährdungsbeiträge nach Distanz und Magnitude sowie Sensitivitätsanalysen zur Erläuterung der relativen Bedeutung der einzelnen Input-Kategorien und der Varianz der Expertenmeinungen.

Die gebräuchlichste Darstellung sind Gefährdungskurven für bestimmte Frequenzen oder Gefährdungsspektren für bestimmte Eintretenswahrscheinlichkeiten. Abbildung 3.7-21 und Abbildung 3.7-22 zeigen Beispiele für Beznau mit den zugehörigen Unsicherheitsverteilungen. Aus Abbildung 3.7-21 ist beispielsweise abzulesen, dass in Beznau eine Horizontalbeschleunigung (PGA für Fels) von 0.16 g mit einer Eintretenswahrscheinlichkeit von 10^{-4} pro Jahr überschritten wird. Diese Beschleunigung ist der Medianwert der Verteilung, welche die Unsicherheit der Aussage darstellt. Berücksichtigt man die frequenzabhängige Verstärkung durch die

[43] Der Begriff 'Fels' (reference rock) wie er hier im Zusammenhang mit der seismischen Gefährdung verwendet wird, entspricht nicht der geologischen Vorstellung vom 'anstehendem Fels' unter den oberflächennahen Lockergesteinsschichten. Er wird über eine vereinbarte, frei wählbare Scherwellen-Geschwindigkeit definiert; im Fall der PEGASOS Studie betrug diese Geschwindigkeit 2000 m/s. Die 'Fels-Beschleunigungen' (rock motions) sind fiktive, prognostizierte Beschleunigungen, die an der Oberfläche (oder einem Fundationsniveau) gemessen würden, wenn alle oberflächennahen Schichten mit V_s<2000 m/s ausgeräumt und mit Fels von 2000 m/s ersetzt worden wären (reference rock site condition). Setzt man sie in Beziehung zu jährlichen Überschreitungswahrscheinlichkeiten erhält man die 'Fels-Gefährdung' (rock hazard).

[44] Soil' ist der Begriff der hier für die oberflächennahen geologischen Schichten mit Geschwindigkeiten unter der Fels Referenzgeschwingigkeit von 2000 m/s verwendet wird. 'Soil' entspricht nicht den Lockergesteinen über dem anstehenden Fels, auch wenn diese mit eingeschlossen sind. Die 'Soil-Beschleunigungen' (soil motions) beinhalten den 'Standorteffekt', d.h. die frequenzabhängige Verstärkung der vibratorischen Bodenbewegung durch die oberflächennahen Schichten mit V_s<2000 m/s. Es sind realistische Erwartungswerte für Beschleunigungen, die am Standort auf einer bestimmten Kote (z.B. Oberfläche oder Fundationstiefe) tatsächlich gemessen würden. Als Funktion der jährlichen Überschreitungswahrscheinlichkeiten ergibt sich die 'Soil-Gefährdung' (soil hazard).

oberflächennahen Gesteinsschichten ("Standorteffekt"), liegt der entsprechende Wert (für Soil) bei etwas über 0.3 g.

Abbildung 3.7-21: Gefährdungskurve für Beznau, Horizontalkomponente für Fels, Oberfläche, PGA. Die Unsicherheitsverteilung wird durch die Mittelwert-, die Median- und die 5%-, 16%-, 84%- und 95% Fraktilkurven dargestellt.

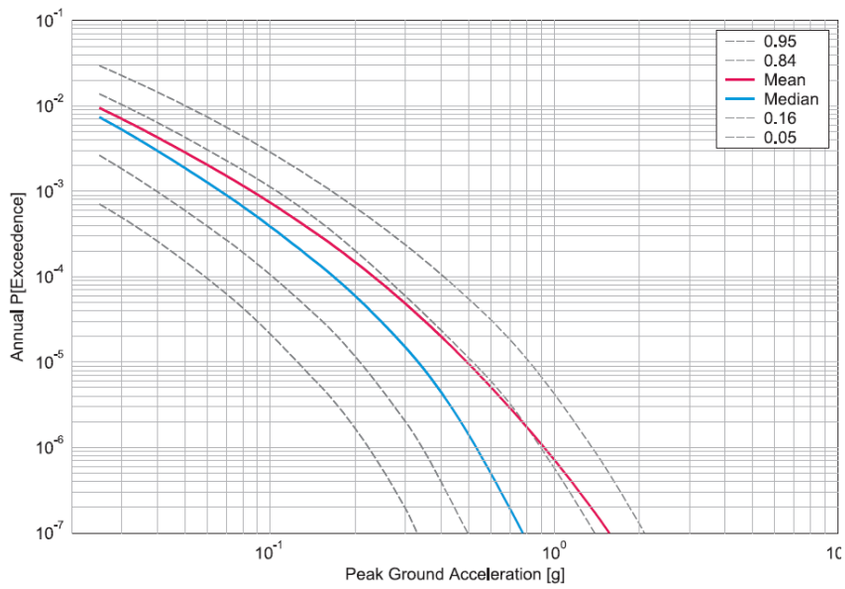
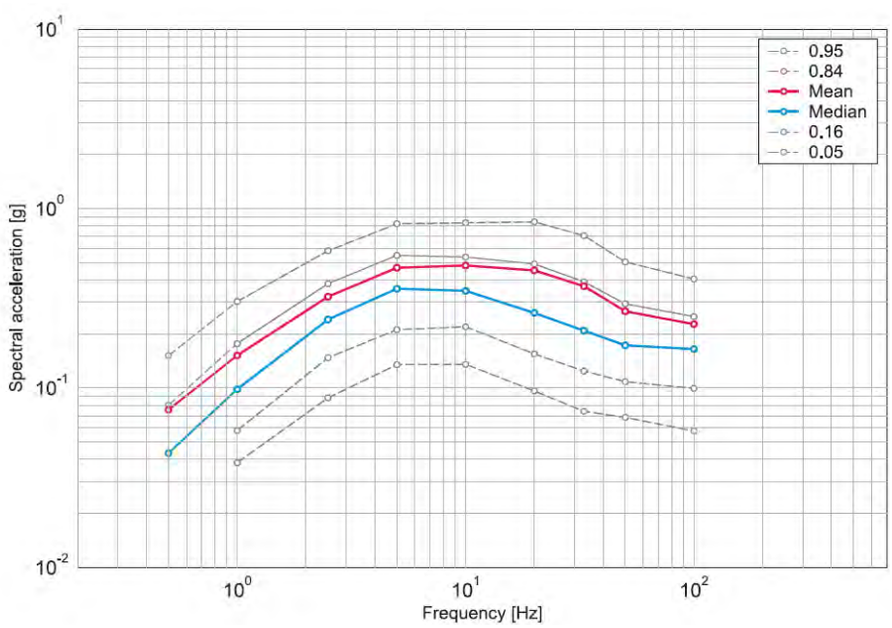


Abbildung 3.7-22: Gefährdungsspektrum ('Uniform Hazard Spectrum') für Beznau, Horizontalkomponente, Fels für eine jährliche Überschreitungswahrscheinlichkeit von 10^{-4} und 5% (der kritischen) Dämpfung.



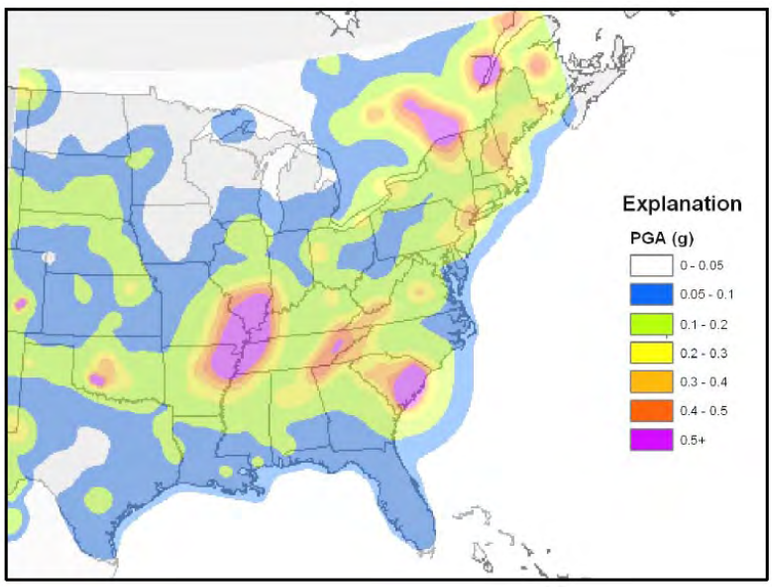
3.7.3.3.6 Die PEGASOS Resultate im Vergleich mit früheren Studien

Im Vergleich zu früheren probabilistischen Gefährdungsstudien aus den 1980-er Jahren sind die entsprechenden PEGASOS Bodenbeschleunigungswerte signifikant höher. Die PGA ('peak ground acceleration' bei hohen Frequenzen), beträgt beispielsweise in Beznau bei einer jährlichen Überschreitungswahrscheinlichkeit von 10^{-4} das 1.7-fache des früheren Wertes. Dieser Sachverhalt kann allein dadurch erklärt werden, dass bei der jüngeren Studie die aleatorische Variabilität der Ground Motion Modelle im Gefährdungsintegral berücksichtigt wurde (vgl. Kapitel 3.7.3.2.2). Diese zusätzliche Unsicherheitsquelle, die der Streuung der empirisch abgeleiteten GM-Modelle entspricht, kann als Folge einer vereinfachenden Modellvorstellung verstanden werden. In Wirklichkeit ist es nicht möglich, die komplexen Prozesse, die in der seismischen Quelle und bei der Übertragung der seismischen Energie ablaufen, durch nur zwei Parameter - Magnitude und Distanz - adäquat zu beschreiben. Anfänglich wurde diese Unsicherheitsquelle ignoriert. Seit Mitte der 1980er Jahre entspricht es aber internationalem Standard, die Variabilität der Ground-Motion Modelle in probabilistischen Gefährdungsanalysen zu berücksichtigen.

Die PEGASOS (Fels-) Beschleunigungen für Beznau liegen nahe bei den Gefährdungswerten in anderen Gebieten mit ähnlicher, schwacher bis mittlerer seismischer Aktivität. Dies zeigt u.a. der Vergleich mit dem östlichen und zentralen Teil der USA, wo nach Abbildung 3.7-23 die PGA-Mittelwerte für Fels bei einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von 10-4 zwischen 0.1 g und 0.4 g betragen. Der entsprechende Wert für Beznau ist 0.23 g.

Alle Gefährdungsresultate für Beznau beziehen sich auf einen Standort, der nur ca. 300 m vom geplanten EKKB entfernt liegt. Sie sind daher, mit kleinen Einschränkungen was die Mächtigkeiten und Eigenschaften der oberflächennahen Gesteinsschichten betrifft, auch für den Standort des EKKB gültig (vgl. dazu auch Kapitel 3.7.3.5.5).

Abbildung 3.7-23: PGA-Mittelwerte für harten Fels (3000 m/s) bei einer jährlichen Überschreitungswahrscheinlichkeit von 10^{-4} im zentralen und östlichen Teil der USA (berechnet auf der Basis einer USGS-Gefährdungskarte). Die PEGASOS-Gefährdungsresultate entsprechen der gelben Farbkodierung.



3.7.3.4 Weiterführende Arbeiten: Das PEGASOS Refinement Projekt (PRP) und ein erweitertes seismisches Überwachungsnetz

3.7.3.4.1 Reduktion der dominierenden Unsicherheiten

Ungeachtet der generell positiven Beurteilung der PEGASOS-Studie identifizierte die Review-gruppe der HSK auch Verbesserungspotenzial. Mit dem 'PEGASOS Refinement Project (PRP)' wird versucht, durch eine Verbesserung der Datenbasis (u.a. mit zusätzlichen Felduntersuchungen) die dominierenden epistemischen Unsicherheiten der Gefährdungsanalyse zu reduzieren. Vor dem Entwurf des Projektplans wurde abgeklärt, welche Unsicherheiten die einzelnen Input-Komponenten in welchem Mass belasten und wo von einer Reduktion der grösste Einfluss auf die Gefährdung erwartet werden könnte. Dabei stellte sich heraus, dass die Gesamt-Unsicherheit von der Unsicherheit der SP2 Gound Motion Modelle dominiert wird, u.a. weil es für die Schweiz im Magnitudenbereich M>5 kaum Daten gibt. Das PRP-Untersuchungsprogramm ist deshalb auf die folgenden zwei Hauptziele ausgerichtet:

- Ein neues *Abminderungs-Modell für Fels*. Mit zusätzlichen instrumentellen und historischen Daten und unter Einbezug der Europäischen Strong-Motion Datenbank soll ein neues Schweizerisches Abminderungs-Modell ('swiss stochastic ground motion model') entwickelt werden. Von diesem Modell wird erwartet, dass es die schweizerischen Verhältnisse besser repräsentiert und sich die Einschätzung der Unsicherheiten verringern wird (vgl. Kapitel 3.7.3.5.4).

- Die Überprüfung des *Standorteffekts*. Die Verstärkung des seismischen Signals von der Referenz-Felstiefe bis zur Fundationskote des Bauwerks bzw. der Oberfläche hat wesentlichen Anteil an der Soil-Gefährdung. Mit neuen Felduntersuchungen an den Standorten sollen die Eigenschaften der oberflächennahen Lockergesteinen besser charakterisiert und der Interpretationsspielraum eingeschränkt werden (vgl. Kapitel 3.7.3.5.5).

Es sind auch weitere Anpassungen geplant. Dazu gehören die Überarbeitung und Aufdatierung des SED-Erdbebenkatalogs, die Berechnung der Gefährdungsresultate für eine tiefere Grenz- ('lower bound-') Magnitude M_0 = 4.5 und die alternative Modellierung ausgewählter Erdbebenszenarien mit 'Extended Source Simulations' (vgl. Kapitel 3.7.3.4.2).

3.7.3.4.2 Extended Source Simulations

Wie im Kapitel 3.7.3.2.3 ausgeführt, können Extended Source Simulations (ESS) eingesetzt werden, um Effekte im Nahbereich der erdbebenauslösenden Bruchfläche besser zu erfassen, empirisch abgeleitete GM-Modelle zu überprüfen oder diese Modelle in den schlecht abgedeckten Nahbereich zu extrapolieren. Die Anwendung dieser Methode ist auch im Rahmen des Pegasos Refinement Projektes geplant.

Die Extended Source Simulations, wie sie im Rahmen des PRP geplant sind, schliessen sich an mehrere ähnliche Studien an, die noch während des PEGASOS Projektes durchgeführt wurden. Besonders relevant ist die gross angelegte ESS-Studie zur Abklärung der Median Ground Motions im Nahbereich der Quelle. Bei den Input-Spezifikation für die Studie war es nicht möglich reale und bekannte Störungen mit entsprechendem Magnitudenpotenzial in unmittelbarer Standortnähe zu identifizieren. Dagegen sprach die Tiefenlage der Quellen und die begrenzte Abbildungsleistung der Reflexionsseismik im Bereich des Sockels (vgl. Kapitel 3.7.3.5.2). Es wurde deshalb ein anderer Weg gewählt, der optimale Flexibilität auf Kosten eines grösseren Rechenaufwandes versprach. Statt mehrere (hypothetische) Störungsquellen im Nahbereich um den Standort zu definieren wurden 100 Teststandorte im Abstand von 1-25 km um zwei räumlich feststehende Störungsquellen herum gruppiert. Bei diesen Störungsquellen handelte es sich um eine vertikale Bruchfläche zur Modellierung von dextralen und sinistralen Blattverschiebungen und um eine mit 45° einfallende Fläche zur Modellierung von Abschiebungen und Überschiebungen. Die Dimension der Störungsflächen (25 x 12.5 km) war kompatibel mit einem Erdbeben der Magnitude 6.5. Mit dieser geometrischen Anordnung konnten Ground Motions für eine grosse Anzahl Quellen-Standort-Konfigurationen berechnet und in einer Resultatbibliothek abgelegt werden. Für jede der Quellen-Standort-Konfigurationen wurden darüber hinaus Verschiebungs- (Slip-) Verteilungen und die Bruchausbreitungsparameter variiert, um aleatorische Unsicherheiten zu berücksichtigen und zu einer robusten statistischen Basis zu gelangen.

Die Resultate der Studie geben einigen Aufschluss über die Richtungs- und Entfernungs-abhängigkeit der quellennahen Beschleunigungen, ihre spektrale Form und ihre Abhängigkeit vom Störungstyp. Sie erlauben auch Aussagen über die Empfindlichkeit gegenüber Änderungen der Input-Parameter und damit eine Einschätzung der Robustheit der Methode, insbesondere im Vergleich mit der empirischen Modellierung von Ground Motions.

Für Kontrollpunkte in 1 km Entfernung von der Bruchfläche sind die ESS-Beschleunigungen der Studie im Frequenzbereich 2.5-100 Hz mit den Beschleunigungen der empirischen PEGASOS Modelle vergleichbar; im Frequenzbereich unter 2.5 Hz liegen sie allerdings signifikant höher (Faktor 3-5). Die möglichen Ursachen für den schwachen Abfall der ESS-Beschleunigungamplituden im tieffrequenten Teil des Spektrums wurden untersucht und intensiv diskutiert. Es wurde vermutet, dass drei Gründe eine Rolle spielen könnten: Die Eigenschaften des Wellenausbreitungsmodells, insbesondere eine 150 m mächtige 'low-velocity' Schicht nahe der Oberfläche und, als zweitrangige Effekte, die Form der Verschiebungsverteilungen und die geometrische Anordnung der Nukleationen (Abrisspunkte) auf der Bruchfläche. Weil die ESS-Beschleunigungen kritisch von Input-Annahmen abzuhängen schienen, die kaum verifizierbar sind, wurde darauf verzichtet, sie als Absolutwerte anzuwenden. Stattdessen wurden sie in 10 km Entfernung mit den Beschleunigungen der empirischen GM-Modelle geeicht und dann dazu verwendet, die Gültigkeit der Modelle im extremen Nahbereich zu überprüfen. Die normalisierten Werte zeigen eine recht gute Übereinstimmung im gesamten Frequenzbereich. Das PRP Simulations-Programm wird auf die Resultatbibliothek der Studie zurückgreifen können und die Erfahrungen berücksichtigen, um zu realistischen und robusten Ergebnissen zu kommen.

3.7.3.4.3 Aufbau und Betrieb eines Mikroerdbebennetzes

Im Zusammenhang mit der Beurteilung der seismischen Gefährdung ist das Verständnis der gegenwärtigen tektonischen Bewegungen in der näheren und weiteren Umgebung der Standorte ein wichtiger Aspekt. Da sich ein Grossteil dieser Bewegungen durch Erdbeben manifestiert, kann die Überwachung der seismischen Aktivität Hinweise auf die Lage aktiver Schwächezonen und den aktuellen Spannungszustand der Erdkruste liefern.

Zur Zeit ist geplant, das bestehende seismische Überwachungsnetz des Schweizerischen Erdbebendienstes (SED) im Mittelland und Jura mit ca. 20 zusätzlichen Registrierstationen zu erweitern, um die Detektionsschwelle herabzusetzen und die Lokalisiergenauigkeit zu verbessern. Dieses Mikro- oder Schwachbebennetz wird auch noch schwächste Erdbeben mit einer Magnitude von M=1.0 erfassen können. Damit werden u.a. verbesserte Berechnungen von Herdmechanismen und belastbarere Aussagen zum Spannungsregime möglich.

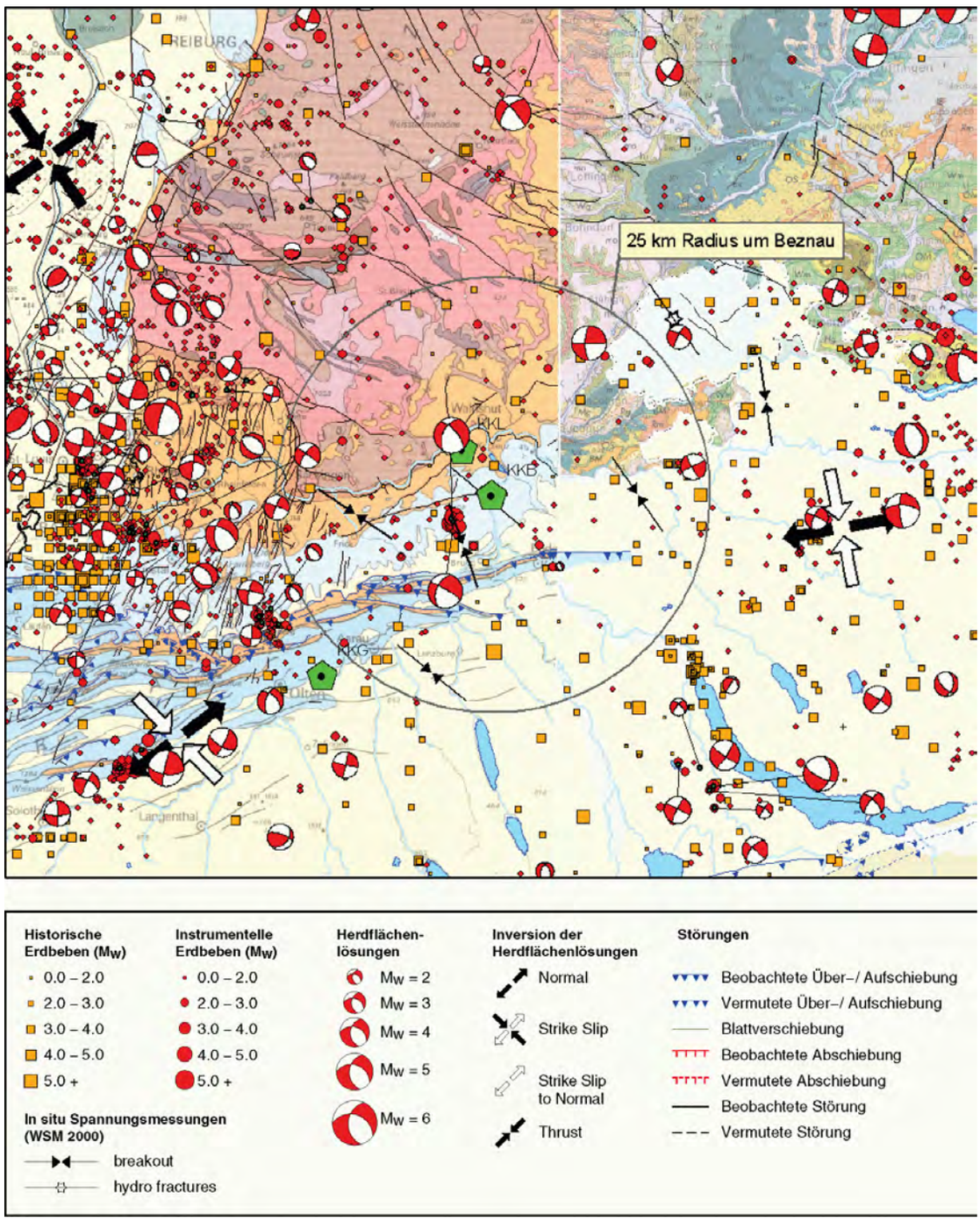
Der Gesuchssteller beteiligt sich zusammen mit der Nagra am neuen Netzwerk. Damit die gewonnenen Daten optimal genutzt werden können, wird der SED die Datenauswertung und die Pflege des erweiterten Erdbebenkatalogs übernehmen. Von den 20 neuen Stationen werden jeweils ca. vier in der Umgebung der neuen Kernkraftwerksstandorte aufgebaut werden. Die Lage der restlichen Stationen wird auf die Bedürfnisse der Nagra abgestimmt.

3.7.3.5 Die standortspezifische Gefährdung in Beznau

3.7.3.5.1 Datenbasis und seismotektonische Verhältnisse

Während in vielen Gebieten der Welt, besonders in solchen mit erheblicher seismischer Aktivität, die beobachteten Erdbeben mit bekannten Strukturen der Erdkruste in Verbindung gebracht werden können, gilt dies nicht für Mitteleuropa. Im Innern der grossen plattentektonischen Einheiten ("intraplate regions") ist die Seismizität fast immer diffus verteilt.

Abbildung 3.7-24: Ausschnitt aus der PEGASOS Quellencharakterisierung-Datenbasis in der Umgebung von Beznau ('Seismotektonisches Modell').



Die Erdbebenherde können, von ganz wenigen Ausnahmen abgesehen, nicht mit bekannten und kartierten geologischen Störungssystemen korreliert werden. In vermindertem Masse gilt dies auch für grosstektonische Einheiten wie die Alpen, das Molassebecken, den Jura oder den Rheingraben. Nur selten folgt das Muster der beobachteten Erdbebentätigkeit ihren Formen und

Grenzen (wie etwa im Fall des Rheingrabens), meist ist auch hier die Zuordnung nicht offensichtlich (vgl. Kapitel 3.7.1, Abbildung 3.7-14).

Dort wo dies möglich ist, geht man bei der Beurteilung der seismischen Gefährdung häufig von geologischen Störungen aus, die unter dem Einfluss tektonischer Kräfte als Auslöser von Erdbeben in Frage kommen ("aktive Störungen"). Die Frage stellt sich, was unter einer "aktiven Störung" (active oder capable fault) zu verstehen ist und welche Störungen im Einflussgebiet als "aktiv" zu klassieren wären. Die konventionellen Definitionen, die meist in und für Gebiete entwickelt wurden, die sich in Bezug auf ihre tektonischen Verhältnisse wesentlich von der Schweiz unterscheiden, wenden diesen Begriff auf geologische Verwerfungen an, die sich erwiesenermassen in einem weit zurückreichenden Zeitabschnitt bewegt haben. Der Zeitabschnitt ist nicht präzise festgelegt, geht aber weiter zurück als die historische Periode, meist bis zum Beginn des Quartärs. Gemäss diesem Ansatz können bekannte Störungssysteme nacheinander untersucht und als "aktiv" oder "inaktiv" klassiert werden. Unter anderem wird dieses Vorgehen in IAEO - Richtlinien empfohlen (vgl. Safety Guide NS-G-3.3).

In der neuen, erst als Draft vorliegenden Richtlinie DS422 (Seismic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations) wird zwar die Probabilistische Seismische Gefährdungsanalyse (PSHA) stärker gewichtet als in den älteren Empfehlungen ('Safety Series No. 50-SG-S1' und 'Safety Guide NS-G-3.3'). Noch immer sind aber die Anforderungen an die Datenbasis erkennbar auf an Störungen gebundene Seismizität und deterministische Analysen ausgerichtet. Dies gilt insbesondere für die starren radiusabhängigen Spezifikationen, die vorgeben, welche Daten in welchem Abstand vom Standort erhoben werden sollten und wie diese Daten darzustellen seien. Die Empfehlungen sind erklärbar, wenn man sich vergegenwärtigt, dass IAEO-Empfehlungen für alle Gebiete der Welt zu gelten haben und einen Minimalstandard sicherheitsrelevanter Abklärungen und Vorkehrungen definieren der überall eingehalten werden kann. In erster Linie sind sie für KKW-Projektanten gedacht, die noch über keine standortbezogene seismische Gefährdungsstudie verfügen. Dies trifft auf der Situation in der Schweiz nicht zu. Im internationalen Vergleich haben die Gefährdungstudien für die schweizerischen Kernkraftwerke in den letzten Jahren einen hohen Stand erreicht. Sowohl im Bezug auf die Qualität und Vollständigkeit der Datenbasen, wie auch im Bezug auf die Methodik geht dieser Stand meist weit über das hinaus was in den IAEO-Richtlinien vorgesehen ist.

Das von der schweizerischen Aufsichtsbehörde geforderte 'SHAAC Level 4' Verfahren der probabilistischen Gefährdungsanalyse (vgl. Kapitel 3.7.3.3.1) ist an ein eigenes Regelwerk gebunden, das den Input-Experten volle Autonomie bei der Zusammensetzung und Ausgestaltung der Datenbasen und der Wahl der Interpretationsmethoden zubilligt. Wenn SHAAC-Regeln und IAEO-Empfehlungen nicht deckungsgleich waren oder sich widersprachen, wurde den Verfahrensregeln Vorrang gegeben.

Die PEGASOS Experten konnten sich auf umfangreiche Datenbasen abstützen, die vom Projekt nach ihren Wünschen zusammengestellt wurden. Im Fall der SP1 (Quellencharakterisierungs-) Expertengruppen ist die Datenbasis dreiteilig und umfasst die

- Erdbeben Katalog Datenbasis, die
- Strukturgeologische Datenbasis und die
- Seismotektonische Datenbasis.

Alle ortsbezogenen Daten sind in GIS- ('Geografic Information System') Ebenen organisiert und können beliebig kombiniert abgerufen und in beliebigen Massstäben geplottet werden. Die wichtigsten dieser 'GIS-Layers' beziehen sich auf folgende Datensätze:

- Geologie / Tektonik (10 kombinierte Karten nach Massgabe der Experten)
- Störungen (alle Störungstypen, nach unterschiedlichen Kriterien klassifiziert)
- Erdbebenkatalog (ECOS-Erdbebenkatalog Schweiz und umliegende Länder)
- Makroseismische Intensitäten (1300 - 1980)
- Herdmechanismen (Karten mit publizierten Herdflächenlösungen)
- Topographie (RIMINI-Datensatz, kombiniert mit GTOPO-30)
- Reflexionsseismik (vollständiges reflexionsseismisches Liniennetz)
- Tiefenstrukturen (veröffentlichte Karten seismisch kartierter Tiefenstrukturen)
- Sockeltiefe (verfügbare Isohypsenkarten der Grundgebirgsoberfläche)
- Mohotiefe (Krustenmächtigkeit)
- Wärmefluss und Quellen (Heat-Flow- und Quellenkarten)
- Magnetfeld (Gesamt- und Residualmagnetfeldkarten)
- Gravitationsfeld (Bouguer-Schwerekarten)
- Insitu Spannungsmessungen (aus "World Stress Map 2000")
- Spannungen aus invertierten Erdbeben-Herdlösungen
- Hebung und Subsidenzdaten (nationales Messnetz und Nagra Messnetz)

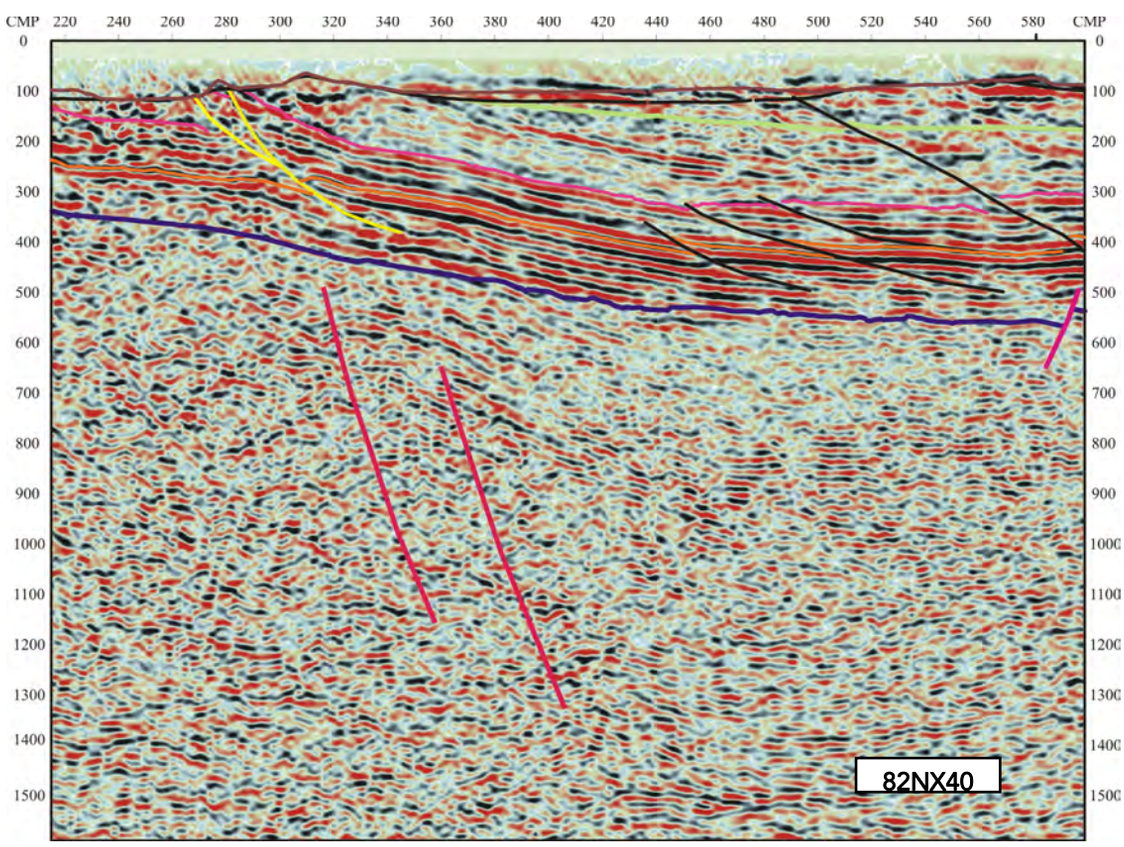
Kombinationen dieser 'GIS-Layers' (Ausschnitt Beznau vgl. Abbildung 3.7-24) definieren das 'Geodynamische Modell' das der Quellenzonierung durch die SP1-Experten zugrunde gelegt wurde. Dieses Geodynamische Modell ist inhaltlich in Kapitel 3.7.1.3 beschrieben.

3.7.3.5.2 Beurteilung der lokalen Störungssysteme

Teil des Geodynamischen Modells sind die erkennbaren und oberflächlich oder im Untergrund kartierbaren Störungssysteme in der Nähe des Standortes. Der geologische Kenntnisstand im Gebiet Beznau stützt sich auf eine überdurchschnittlich gute Datenbasis, die nicht nur geologische Kartierungen und eine grosse Anzahl Bohrungen, sondern auch das in diesem Bereich dichte Netz reflexionsseismischer Profile der Nagra umfasst (vgl. Kapitel 3.7.1.2.1 und 3.7.1.2.2). In diesem Abschnitt wird die Frage erörtert, wie die lokalen Störungssysteme im Hinblick auf ihr seismogenes Potenzial zu beurteilen sind, insbesondere auch die Frage, inwieweit diese Störungen von den PEGASOS Experten bei der Quellencharakterisierung berücksichtigt wurden.

Betrachtet man eine repräsentative, ca. NS verlaufende seismische Sektion im Abschnitt unteres Aaretal (Abbildung 3.7-25), so lassen sich unschwer zwei geologische Stockwerke unterscheiden: Die gut reflektierenden mezozoischen Sedimente und darunter das Grundgebirge, das sich hier aus dem Permokarbontrog im Süden (rechts) und dem kristallinen Sockel im Norden (links) zusammensetzt. Der Standort Beznau liegt unmittelbar nördlich der Mandacher Überschiebung (gelb), die in den plastischen Sedimenten der Anhyditgruppe ihren Ursprung nimmt (die duktile Verformung in diesem Abscherhorizont wird durch das chaotische Reflexionsbild angezeigt). Unter der Überschiebung, im Bereich des Grundgebirges sind, wegen der geringeren Reflektivität, die Abbildungsvoraussetzungen deutlich schlechter. Man erkennt aber andeutungsweise steil nach Süden einfallende Randbrüche des Permokarbontroges (rot) und die diskordant an die Basis der mesozoischen Schichtfolge anstossenden Sedimente der Trogfüllung. Dieser geologische Baustil mit Aufschiebungen, die von einem steilen Abfall oder einer Abstufung der Grundgebirgsoberfläche am Nordrand des Troges initiiert werden, ist typisch und gilt grundsätzlich auch für die ungleich prominenteren Hauptüberschiebungen des Faltenjuras.

Abbildung 3.7-25: Architektur des Untergrundes im Bereich der Insel Beznau auf einem Ausschnitt der reflexionsseismischen Sektion 82NX40 (N: links). Deutlich erkennbar ist die mesozoische Schichtabfolge (über dem blau markierten Reflektor), die Mandacher Überschiebung (gelb) und das Grundgebirge mit den angedeuteten Randbrüchen des Permokarbontroges (rot). Der Trog mit steil nach Süden einfallenden Sedimentreflexionen ist auf der rechten Seite zu erkennen.



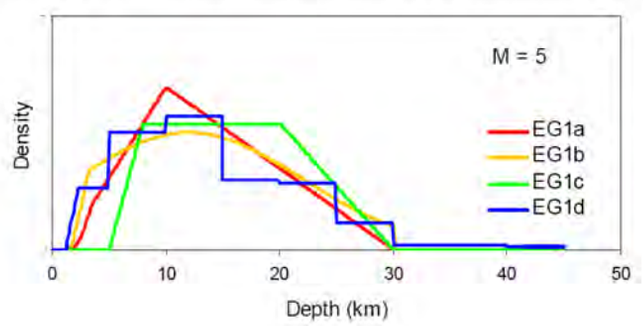
Die lokalen Störungen im mesozoischen Deckgebirge wurden aus Gründen, die detaillierter im Kapitel 3.7.3.5.3 dargelegt werden, von den PEGASOS Experten als nicht relevant für die seismische Gefährdung eingestuft, obwohl ihnen die Nähe der Mandacher Überschiebung zum Standort durchaus bekannt war. Mit einem Tiefgang von wenigen hundert Metern liegen diese Störungen über den minimalen Herdtiefen, wie sie für das nördliche Alpenvorland angenommen werden. Bei der Bestimmung der quellenspezifischen Herdtiefenverteilungen haben die Experten die magnitudenabhängigen Bruchdimensionen berücksichtigt und - unter der Annahme, dass sich die Herde in der unteren Hälfte der Bruchfläche befinden - eine minimale Herdtiefe bestimmt, die mit der Magnitude zunimmt. Bei der kleinsten vom Projekt noch berücksichtigten Magnitude, M_w 5.0, beträgt diese Tiefe zwischen 1 und 5 km unter Meeresniveau (vgl. Abbildung 3.7-26). Überdies sind aus diesem Gebiet und dem gesamten nördlichen Alpenvorland, keine auf Überschiebungen hindeutende Herdflächenlösungen bekannt [52].

Das seismische Potenzial der Randstörungen des Permokarbon-Troges wurde dagegen intensiv diskutiert. Mehrere 'Resource-Experten', die mit der lokalen Geologie und den relevanten reflexionsseismischen Daten vertraut waren, wurden zu Vorträgen eingeladen (u.a. H. Näf). Dabei zeigte sich, dass die Abbildungsleistung der Reflexionsseismik im Sockelbereich und die Liniendichte nicht ausreicht, um das vermutlich komplexe Störungsmuster am Nordrand des Permokarbontroges zu kartieren. In der Vergangenheit haben veschiedene Autoren zwar immer wieder z.T. komplexe Interpretationslösungen vorgeschlagen, die aber seismisch kaum indiziert waren. Allein aus Nagra-Publikationen sind seit den 1980er Jahren sechs verschiedene Interpretationen des Störungsmusters im Bereich des Permokarbontroges bekannt (vgl. [58], [43], [109], [52] und [96]). In ihrem letzten Bericht findet die Nagra zu einer einfachen Interpretation zurück, die der Aussagekraft der seismischen Daten angemessen ist (vgl. Abbildung 3.7-10). Sie zeigt den Trograndals Abfolge WSW - ENE streichender Abschiebungen, die durch verschiedene herzynische, d.h. WNW-ESE streichende Verwerfungen (strike-slip faults) dextral (im Uhrzeigersinn) versetzt werden. Wie in Kapitel 3.7.1.3.2 ausgeführt wird kann mit geologischen Argumenten nachgewiesen werden, dass sowohl die Abschiebungen wie auch die herzynischen strike-slip Störungen seit dem ausgehenden Perm nicht mehr aktiv waren. Nur im Fall der Vorwald-Störung kann Aktivität erst ab Beginn des Miozäns (seit 25 Mio Jahren) ausgeschlossen werden. Diese extrem lange Zeit der Inaktivität lässt eine Reaktivierung unwahrscheinlich erscheinen.

Unter den PEGASOS-Experten war die Frage umstritten. Mehrheitlich waren sie der Meinung, dass eine inverse Reaktivierung der steilstehenden Randbrüche (als Überschiebungen) unter dem Einfluss des heutigen Spannungsfeldes zwar wenig wahrscheinlich sei aber nicht gänzlich ausgeschlossen werden könne. Eine mögliche Reaktivierung wurde in den Quellenzonierungsmodellen auf unterschiedliche Weise berücksichtigt. Angesichts des grossen Interpretationsspielraums und der geringen Verlässlichkeit detaillierter Interpretationen verzichteten die Experten darauf, den Trograndd urch Störungsquellen darzustellen, obwohl diese Möglichkeit bestanden hätte. Die Expertengruppen EG1a und EG1c führten alternative Zonierungen mit Elementen ein, die darauf ausgelegt waren, die Permokarbon-Grabenstrukturen in einer Flächenquelle zusammenzufassen. Die Gruppe EG1b berücksichtigte eine mögliche Reaktivierung indem sie eine bevorzugte Bruchorientierung vorgab, während die Gruppe EG1d zwar der Meinung war, die Grabenstrukturen könnten im gegenwärtigen Spannungsfeld

reaktiviert werden, aber darauf verzichtete, spezifische Quellenelemente zur Darstellung dieser Strukturen einzuführen.

Abbildung 3.7-26: Herdtiefenverteilungen für Magnitude 5 in der Nordschweiz. Entwickelt von den vier SP1 (Quellencharakterisierungs-) Expertengruppen



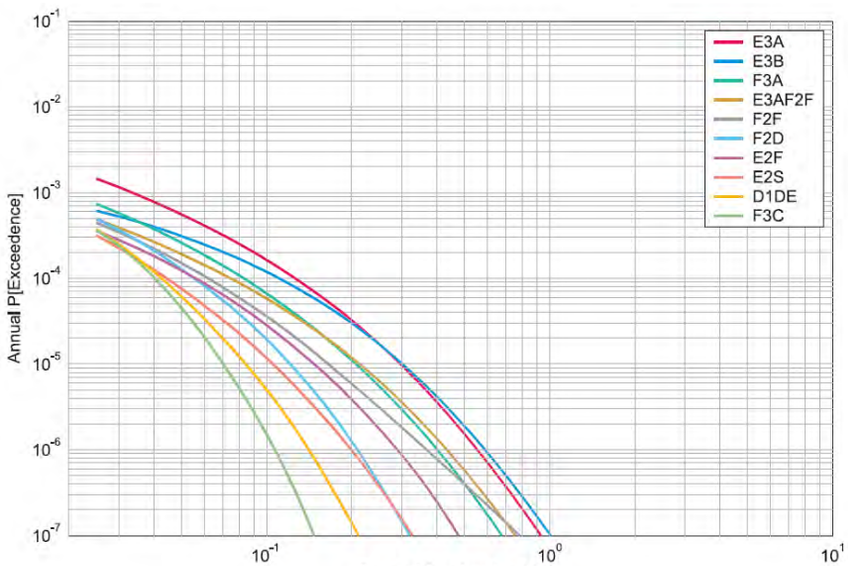
Interessant ist die Frage, wie sich diese indirekte Berücksichtigung einer möglichen Reaktivierung der Randstörungen des Permokarbontroges auf die seismische Gefährdung in Beznau ausgewirkt hat. Einigen Aufschluss darüber geben die am Schluss der Studie durchgeführten Sensitivitätsanalysen.

Abbildung 3.7-27 zeigt die Beiträge der 10 wichtigsten Einzelquellen zum Mittelwert der Gefährdung in Beznau gemäss dem Quellenmodell der Expertengruppe EG1a. Dieses Modell beinhaltet alternative Varianten der 'host zone' mit dem Standort Beznau, einmal mit einer expliziten Darstellung des Permokarbon-Troges (Zone E3b, Gewichtung 0.3, vgl. Abbildung 3.7-30) und einmal ohne diese Differenzierung (Zone E3a, Gewichtung 0.7). Aus Abbildung 3.7-27 lässt sich ablesen, dass die Überschreitungswahrscheinlichkeit für 0.1g im Fall der Alternative E3a ('PC troughs not reactivated') etwa 1.5 mal höher ist als im Fall E3b ('PC troughs reactivated') Dies wiederspiegelt aber vor allem die höhere Gewichtung der Variante E3a. Für Beschleunigungsamplituden, die grösser sind als 0.3 g, ist kein signifikanter Unterschied mehr festzustellen. Im Fall der Expertengruppe EG1a scheint also die Berücksichtigung der Permokarbon-Grabenstrukturen, in der gewählten Art, kaum einen Einfluss auf die Gefährdung am Standort Beznau zu haben.

Die Mandacher Überschiebung, als prominentestes Beispiel lokaler Störungen und in unmittelbarer Nähe des Standortes gelegen, wird im nächsten Abschnitt gesondert behandelt, obwohl sie von den PEGASOS Experten als seismisch nicht relevant beurteilt wurde. Im Zentrum steht die Frage, ob sie als Quelle eines Erdbebens mit bedeutendem Schadenspotenzial, also einer ingenieurseismologisch relevanten Magnitude ≥ 4.5 in Frage kommt[45].

[45] In den USA wird als unterer Grenzwert für ein Erdbeben mit Schadenspotenzial ('of engineering relevance') eine Magnitude (Mw) von 5.0 angenommen. Diese Wert wurde auch in der PEGASOS Gefährdungsstudie verwendet. Im PEGASOS Refinement Projekt (PRP) ist geplant, zu Vergleichszwecken einen Satz Gefährdungsresultate mit einer 'lower bound magnitude' von 4.5 berechnen zu lassen.

Abbildung 3.7-27: Die 10 wichtigsten Beiträge von Einzelquellen zum Mittelwert der Gefährdung in Beznau gemäss dem Quellenmodell der Expertengruppe EG1a. (Horizontalkomponente, Oberfläche, Fels, PGA). Zu beachten sind insbesondere die Gefährdungsbeiträge der alternativ modellierten 'host zones' E3A und E3B (vgl. Abbildung 3.7-29 und Abbildung 3.7-30).



3.7.3.5.3 Quellencharakterisierung

Im Fall der Quellencharakterisierung zeigen sich klare Differenzen zwischen gewissen Empfehlungen aus der IAEO-Richtlinie DS422 auf der einen und dem SSHAC-Regelwerk auf der anderen Seite. Auch wo sich keine offensichtlichen Widersprüche ergeben, wird ein Teil der IAEO-Empfehlungen durch die SHAAC-Regeln relativiert oder ausser Kraft gesetzt. Letztere besagen beispielsweise, dass es die Experten sind, welche die Anforderungen an die Datenbasis und ihren Inhalt festlegen und dass sich die Experten dabei keineswegs an eine radiusabhängige Staffelung des Untersuchungsefforts nach Richtlinie DS422 zu halten haben. Ebenso steht es den Experten frei, eigene Kriterien für die Definition einer 'aktiven Störung' ('active' oder 'capable fault') anzuwenden und sich frei zu entscheiden, ob sie bei der Quellencharakterisierung von einem Konzept seismogener Strukturen, diffus verteilter Seismizität oder einer Kombination der beiden Modellvorstellungen ausgehen wollen.

Was die Auflistung der bekannten Störungen in der Umgebung eines Standorts und ihre Klassierung nach Aktivitätskriterien oder Magnitudenpotenzial betrifft, so waren die PEGASOS SP1-Experten einhellig der Meinung, dass dieses Vorgehen in Gebieten diffus verteilter Seismizität, insbesondere in Mitteleuropa, nicht tauglich oder anwendbar sei. Ein Vertreter der Gruppe EG1c bemerkte dazu, die Zahl der 'aktiven' Störungen könnte auf direktere Weise abgeschätzt werden, wenn man sich der Frage aus einer anderen Richtung nähere. Da alle Erdbeben an geologischen Verwerfungen entstehen und da in der Schweiz und in ihrer näheren Umgebung mehr als 2000 Epizentren bekannt sind, sei zu folgern, dass es in der Schweiz mindestens 2000 aktive Störungen geben müsse. Kaum eine dieser Störungen ist aber bekannt; meist kann ihre Lage nicht einmal vermutet werden. Würde man nun bevorzugt Störungen in ein Modell aufnehmen, die geologisch kartiert sind, so hätte dies unerwünschte Konsequenzen. Das

Gefährdungspotenzial von Störungen würde effektiv vom Kenntnisstand über ihre Lage d.h. von ihrer Kartierbarkeit beeinflusst.

Die genannte Expertengruppe wählte eine stringentere Definition von 'aktiven Störungen', d.h. solchen die sich qualifizierten, als diskrete Störungsquellen (fault sources) in ein Quellenmodell aufgenommen zu werden. Dazu gehörte eine fortgesetzte seismische Aktivität, so dass vermutet werden konnte, dass die tektonische Deformation in einem Gebiet von der betreffenden Störung kontrolliert wurde und auch zukünftige Erdbeben an diese Struktur gebunden sein würden. Nach eingehender Prüfung einiger Kandidaten kam die Expertengruppe EG1c zum Schluss, dass es in der Schweiz keine Störung gibt, die diesen Kriterien genügt. Diese Beurteilung wurde von 3 der 4 Expertengruppen geteilt; nur eine Expertengruppe nahm mit einer geringen Wahrscheinlichkeit, als schwach gewichtete Varianten, zwei Störungsquellen in ihr Modell auf: Die Freiburger Horizontalverschiebung und die Störung von Reinach.

Von diesen zwei Ausnahmen abgesehen, wurde die gesamte seismische Aktivität von allen PEGASOS-Experten in Form von seismischen Quellenzonen oder Flächenquellen ('area sources') modelliert. Eine Flächenquelle steht für einen Bereich der Erdkruste mit einer spezifischen und von benachbarten Gebieten unterscheidbaren magnitudenabhängigen Erdbebenwiederholungsrate, Maximalmagnitude (M_{max}) und Herdtiefenverteilung. Diese Parameter werden für jede Flächenquelle zusammen mit den epistemischen Unsicherheiten spezifiziert. Im Allgemeinen wird von einer homogenen Verteilung der Seismzität bzw. des seismischen Potenzials im Bereich einer Flächenquelle ausgegangen[46].

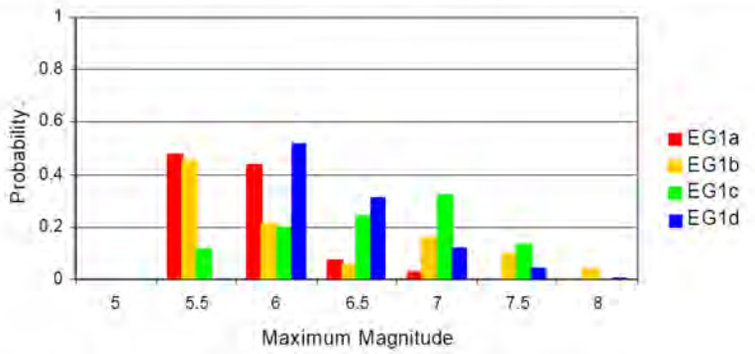
Eine Flächenquelle hat den Charakter einer Umhüllenden, die eine bestimmte Kategorie von möglichen Erdbebenszenarien zusammen mit ihren Häufigkeiten einschliesst. Konkret bedeutet dies, dass man annimmt, jedes Erdbeben aus dieser Kategorie könne jederzeit an jeder beliebigen Stelle innerhalb der Flächenquelle auftreten. Im Falle der Flächenquelle, die den Standort einschliesst ("host zone"), also beispielsweise auch direkt unter der Anlage. Weil die Beiträge aller Erdbeben aus dem der Flächenquelle entsprechenden Magnitudenband mit ihren Häufigkeiten bereits im Gefährdungsresultat enthalten sind, ist eine weitergehende geologische Charakterisierung von Störungen mit einem Magnitudenpotenzial innerhalb der Bandbreite unnötig weil sich – unabhängig vom Resultat – an der Einschätzung der Gefährdung nichts ändern würde.

Eine systematische Erhebung im Umkreis von 25 km um den Standort Beznau ergab, dass an der Oberfläche und auf Niveau Basis Mesozoikum mehr als 340 Störungen identifiziert werden können. Die längste davon ist die Vorwald-Störung mit einer Länge von ca. 20 km. Wenn man für einmal ausser Acht lässt, dass die Vorwald-Störung seit mind. 25 Mio Jahren nicht mehr aktiv ist (vgl. 3.7.1.3.2) und konservativ annimmt, die Störung würde bei einem Erdbeben auf ihrer ganzen Länge brechen, so ergibt sich, nach Wells & Coppersmith [60], für eine Transversalverschiebung ('strike-slip fault') dieser Länge ein maximales Magnitudenpotenzial von 6.4 (Medianwert +1 Standardabweichung σ). Dem gegenüberzustellen wären die PEGASOS M_{max} -Verteilungen aller Experten-Varianten der Beznau Host-Zone gehört (vgl. Abbildung 3.7-28). Legt man wieder den

[46] Es gibt allerdings auch die Möglichkeit Quellenzonen mit räumlich inhomogener Verteilung der Seismizität zu definieren. In diesen Fällen wird die historisch und instrumentell beobachtete seismische Aktivität innerhalb grosser, regionaler Quellenzonen mit speziellen 2D Filterverfahren geglättet (z.B. 'kernel smoothing'). Von dieser Möglichkeit machte die Expertengruppe EG1b Gebrauch.

Median +1σ zugrunde, so ergibt sich - gemittelt über alle SP1 Expertengruppen – für die Maximalmagnitude dieser Quellenzonen ein Wert von 6.6. Daraus ist der Schluss zu ziehen, dass die möglichen Gefährdungsbeiträge aller 340 Störungen des Katalogs, einschliesslich der Vorwald-Störung, bereits im probabilistischen PEGASOS Gefährdungsresultat enthalten sind.

Abbildung 3.7-28: Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Maximalmagnituden für Quellenzonen in der Nordschweiz. Entwickelt von den 4 SP1 (Quellencharakterisierungs-) Expertengruppen.



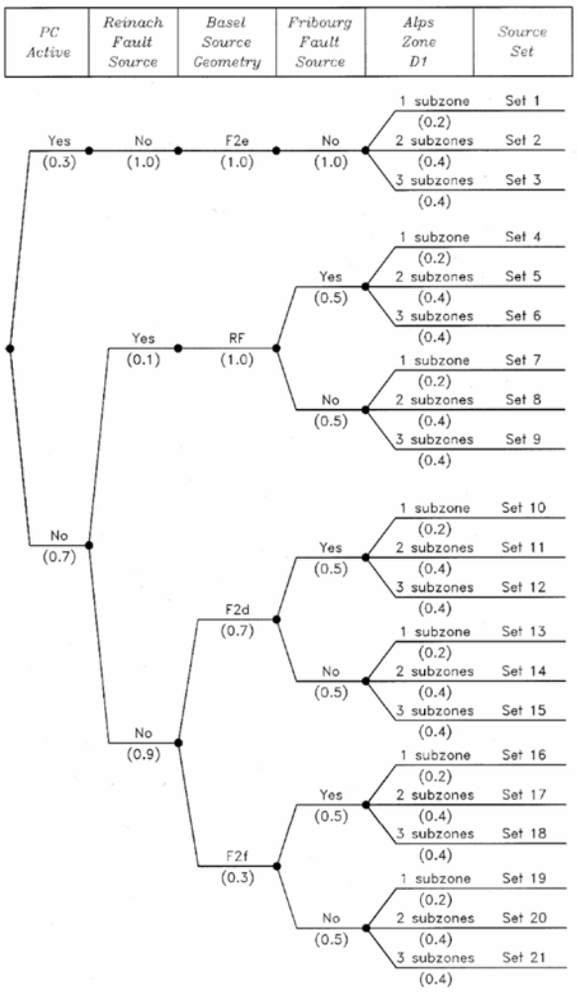
Bei der Quellenzonierung stellte sich für die Experten die wichtige Frage, ob für die Prognose der zukünftigen Erdbebenaktivität das heute beobachtete Muster der Seismizität oder die Grenzen der bekannten tektonischen Einheiten stärker gewichtet werden sollten. Für die Seismizität als primäres Prognoseinstrument spricht der oft nur schwach oder gar nicht erkennbare Zusammenhang mit der Geologie, dagegen, dass sich das Muster der Erdbebenaktivität auf einen sehr kurzen Beobachtungszeitraum abstützt. Die meisten Experten benutzten beide Ansätze; teilweise in verschiedenen Phasen der Quellenzonierung und teilweise auch als Alternativen mit unterschiedlicher Gewichtung. Abbildung 3.7-29 zeigt als Beispiel eine Quellenzonierung der Expertengruppe EG1a. Diese Zonierung ist nur eine von insgesamt 21 geometrischen Modellvarianten dieser Expertengruppe. Alle Quellenmodelle sind, wie in Abbildung 3.7-30 dargestellt, als gewichtete Äste eines 'Logic trees' miteinander verknüpft und bilden als Ganzes, zusammen mit den jeweiligen Erdbebenwiederholungsraten, Maximalmagnituden und anderen Quellenparametern, den Input-Beitrag dieser Gruppe zu den Gefährdungsrechnungen. Mit den Modellvarianten des 'Logic trees', und den zugeordneten Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Quellenpararameter, werden die (epistemischen-) Unsicherheiten der Quellencharakterisierung ausgedrückt.

Die Unsicherheiten können wesentlich zur seismischen Gefährdung beitragen, allerdings ist der Beitrag je nach Inputkategorie und dem betrachteten Gefährdungsprodukt unterschiedlich gravierend. Sensitivitätsanalysen am Ende der PEGASOS Studie haben gezeigt, dass die Unsicherheiten der Quellencharakterisierung nur einen vergleichsweise geringen Einfluss auf die Gefährdungsabschätzung haben (vgl. Kapitel 3.7.3.5.6). Betrachtet man aber gezielt die Quellenzonen im Nahbereich um den Standort, so ist erkennbar, dass die relativ breiten Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Maximalmagnituden, die in Abbildung 3.7-28 dargestellt sind, sich signifikant auf die Gefährdung auswirken, besonders bei grossen Erschütterungsamplituden und hohen Frequenzen (vgl. auch Abbildung 3.7-34).

Abbildung 3.7-29: Beispiel eines Quellenzonierungsmodells der Expertengruppe EG1a.
Bei dieser Modellvariante ist der Bereich des Permokarbontrogs als separate Flächenquelle (E3b) ausgeschieden ('PC Active': Yes, Gewichtung 0.3, vgl. Abbildung 3.7-30). Der Gefährdungseffekt dieser Variante im Vergleich zum Modell ohne Permokarbontrog kann aus Abbildung 3.7-27 abgelesen werden.



Abbildung 3.7-30: Quellenzonierungsmodelle der Expertengruppe EG1a dargestellt als gewichtete Äste eines 'Logic Trees'. Eine erste Alternative (ganz links) sind Modelle die eine inverse Reaktivierung der Randbrüche des Permokarbontroges beinhalten ('PC Active: Yes') und andere, die das nicht tun ('PC Active: No')



3.7.3.5.4 Abminderungs- (Ground Motion) Modelle

Abminderungsbeziehungen (-Modelle) beschreiben, wie die Bodenerschütterung mit zunehmender Entfernung vom Erdbebenherd als Funktion der Magnitude und Frequenz abnimmt. Von den PEGASOS-Experten wurden zahlreiche empirische Abminderungsmodelle aus vielen Teilen der Welt in Erwägung gezogen und auf ihre Anwendbarkeit hin überprüft. Eine eindeutige Diskriminierung und Auswahl scheiterte aber an der zu kleinen Starkbeben-Datenbasis in der Schweiz. Die Streubreite resp. die epistemische Unsicherheit bei den Abminderungsbeziehungen blieb deshalb hoch. Die entscheidende Frage, ob lokale, im oberen Magnitudenbereich wenig abgestützte Modelle oder gut fundierte globale Beziehungen mit zweifelhafter Übertragbarkeit vorzuziehen seien, konnte nicht abschliessend beantwortet werden. Abminderungsmodelle gehören zu derjenigen Input-Kategorie, die den grössten Einzelbeitrag zur epistemischen Unsicherheit der Gefährdungsresultate liefert.

Im Rahmen des Projekts PRP (vgl. Kapitel3.7.3.4) versucht man, die Datenbasis der empirischen Abminderungsbeziehungen zu erweitern und zu verbessern, u.a. durch Felduntersuchungen an den Registrierstationen. Es ist zu erwarten, dass dadurch die Streubreite der Daten reduziert werden kann und dass es den Experten gelingt, neue, für schweizerische Verhältnisse optimierte Abminderungsgesetze mit kleineren Unsicherheiten aufzustellen.

3.7.3.5.5 Standorteffekt

Die dritte Input-Kategorie sind die Berechnungsvorgaben für den Standorteffekt, d.h. die Verstärkung des seismischen Signals von einer Referenz-Felstiefe bis zur Fundationskote des Bauwerks oder bis zur Oberfläche (vgl. erklärende Fussnoten 43 und 44 in Kapitel 3.7.3.3.5).

In erster Näherung hängt die frequenzabhängige Verstärkung vom Scherwellen-Geschwindigkeitsprofil im Bereich der oberflächennahen Schichten ab[47]. In Abbildung 3.7-31 sind die drei Vs-Modelle dargestellt, die von den PEGASOS-Experten, mit unterschiedlicher Gewichtung, für die Berechnung des Standorteffektes am Standort KKB 1 und 2 herangezogen wurden. Diese Geschwindigkeitsprofile sind Bestandteil des "logic tree", mit dem jeder Experte den Standorteffekt definiert und seine Einschätzung der epistemischen Unsicherheiten wiedergibt. Die Unsicherheiten sind, u.a. wegen der in Abbildung 3.7-31 dargestellten Streubreite der Schichtmächtigkeiten und Geschwindigkeitsannahmen[48], relativ gross. Es wird erwartet, dass diese Unsicherheiten durch die OPAL-Baugrunduntersuchungen in Beznau reduziert werden können.

Nach Abschluss des OPAL-Programms liegen nun alle Resultate vor, welche die SP3-Experten des PRP (vgl. Kapitel 3.7.3.4) für die Interpretation und Neuberechnung des Standorteffektes am Bauplatz der neuen Anlage benötigen werden. Pro Standort und in Abhängigkeit ihrer Neubeurteilung der epistemischen Unsicherheiten werden die Experten eines oder mehrere Scherwellengeschwindigkeits-Profile erarbeiten, mit denen der Standorteffekt neu berechnet wird. Diese Berechnungen sind noch nicht erfolgt.

Um trotzdem zu einem provisorischen Vergleich der Amplifikationsfunktionen am neuen und am alten Standort zu kommen, wurden bei der Firma Résonance Ingénieurs-Conseils SA eindimensionale equivalentlineare Standorteffekt-Berechnungen in Auftrag gegeben. Dabei wurden die gleichen 15 Zeitreihen (bei PGA = 0.4 g skaliert) und die gleichen Materialeigenschaften verwendet, die schon im PEGASOS-Projekt für ähnliche Berechnungen verwendet worden waren ([104] bzw. [105]). Als Eingabeprofil für den neuen Standort diente die blau gestrichelte Kurve in Abbildung 3.7-31, die sich vom gewählten Modell 1 für die bestehende Anlage nur durch die unterschiedlichen Schotter- und Opalinuston-Mächtigkeiten unterscheidet.

---

[47] Andere Bestandteile des "logic tree" sind die Materialeigenschaften des Baugrunds. Sie werden mit verschiedenen Feld- und Laboruntersuchungen bestimmt und dienen als Grundlage für 1D-äquivalent-lineare und 1D-nicht-lineare Modellberechnungen der standortspezifischen Signalverstärkung. Die diesbezügliche Datenbasis war zu Beginn des PEGASOS-Projekts bereits so gut, dass die Experten sich auf einen einzigen Satz von nichtlinearen, standortspezifischen Materialeigenschaften einigen konnten. Die OPAL-Untersuchungen haben im Wesentlichen die Gültigkeit dieser Datenbasis bestätigt.

[48] Die Schichtmächtigkeiten werden durch die stufenartigen Änderungen der Scherwellengeschwindigkeiten in den Geschwindigkeitsprofilen der Abbildung 3.7-31 angezeigt.

Abbildung 3.7-31: Scherwellen-Geschwindigkeitsmodelle 1-3 am Standort KKB nach Einschätzung der vier PEGASOS SP3 (Standorteffekt-) Experten in schwarz [105]. Modell 1 sowie das blau gestrichelte Profil dienten für KKB bzw. für EKKB als Eingabe zu den provisorischen Amplifikationsberechnungen von Résonance (vgl. Abbildung 3.7-32). Das zu diesem Zweck hergeleitete, provisorische EKKB-Profil berücksichtigt nur die anderen Mächtigkeiten am neuen Standort.

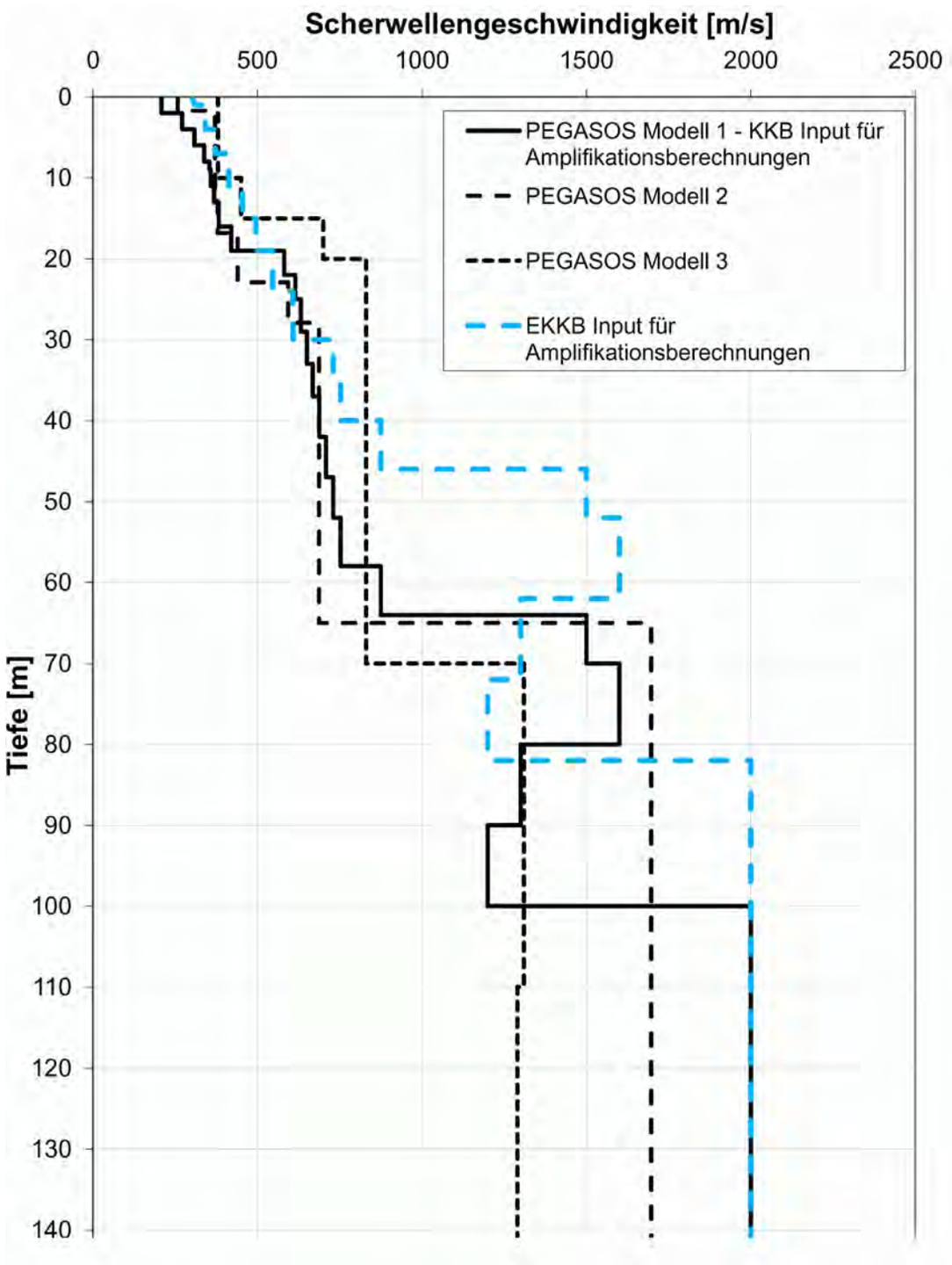


Abbildung 3.7-32: Provisorischer Vergleich der für den KKB- (rote Kurve) und den EKKB-Standort (blaue Kurve) berechneten mittleren Amplifikationsfunktionen.

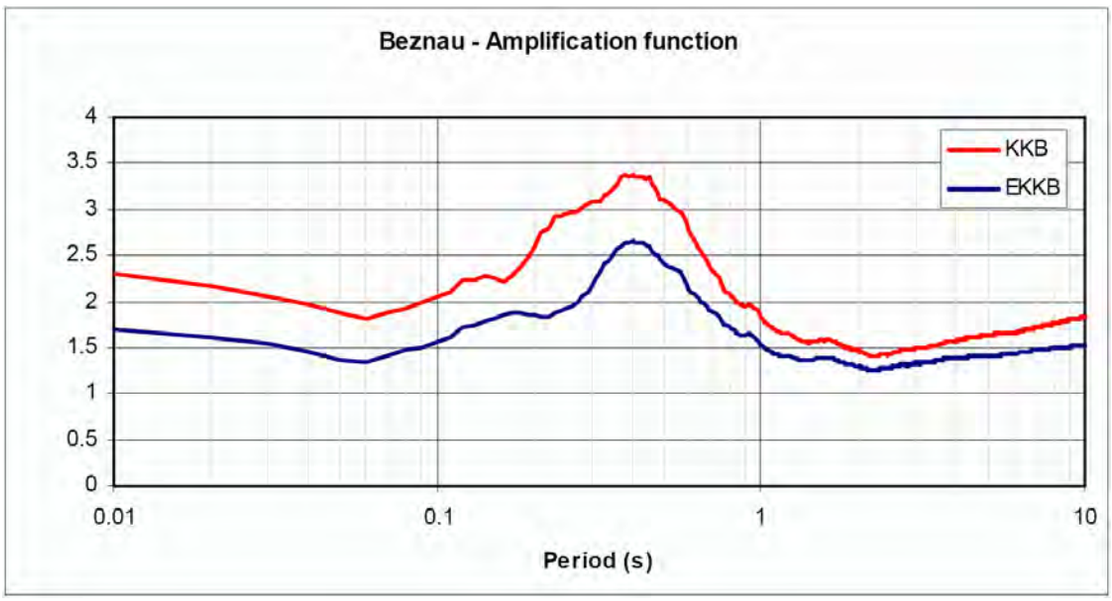


Abbildung 3.7-32 zeigt als Funktion der Periode (Kehrwert der Frequenz) die beiden mittleren Amplifikationsfunktionen (Verhältnisse der beiden an der Erdoberfläche und an einem hypothetischen Felsaufschluss berechneten Antwortspektren) für die beiden Standorte. Demnach ist der Standorteffekt am Bauplatz der neuen Anlage kleiner als unter der bestehenden Anlage. Die zum Zeitpunkt dieser Berechnungen noch nicht vorliegenden Ergebnisse der Crosshole-Messung zeigen, dass die Scherwellen-Geschwindigkeiten bisher tendenziell unterschätzt wurden. Damit wäre die Amplifikation der seismischen Wellen durch die oberflächennahen geologischen Schichten unter der neuen Anlage noch kleiner[49]. Somit können die PEGASOS-Resultate konservativ auf den Standort EKKB übertragen werden.

Diese Betrachtungen und Berechnungen sollen keinesfalls den Ergebnissen des PRP-Projekts vorgreifen. Sie sind ein Zwischenresultat und dienen lediglich dazu, abzuschätzen in welche Richtung sich der Standorteffekt aller Wahrscheinlichkeit nach entwickeln wird wenn man sich von der alten Anlage an den neuen Standort verschiebt. Den neuen PRP-Berechnungen werden neue, von den PRP-Experten erarbeitete Geschwindigkeitsprofile zu Grunde liegen. Bis zur Vorbereitung des Baugesuchs kann damit gerechnet werden, dass die PRP-Ergebnisse vorliegen. Damit ist gewährleistet, dass die neue Anlage auf eine aufdatierte Prognose der maximal zu erwartenden Bodenbeschleunigungen ausgelegt werden kann.

[49] Möglicherweise wird die NOK im PRP-Projekt eine tiefere Felsgeschwindigkeit wählen als die 2000 m/s des PEGASOS-Projektes. Dies führt zwar dazu, dass der Standorteffekt, für sich allein betrachtet, kleiner wird. Dies wird aber durch eine höhere seismische Gefährdung auf Fels genau kompensiert, sodass sich allein aufgrund der Wahl dieser Referenzgeschwindigkeit keine Änderung der Gefährdung bei der Fundationskote des Bauwerks oder an der Oberfläche ergibt. Dieser Effekt ist also hier nicht von Interesse.

3.7.3.5.6 Beiträge zur vibratorischen Gefährdung

Für die probabilistische Gefährdungsanalyse werden Erdbeben aus allen Entfernungen im Umkreis von bis zu 300 km und über den gesamten ingenieurseismologisch relevanten Magnitudenbereich mit einbezogen. Je nach den betrachteten Frequenzen und Bodenbewegungsamplituden, liefern diese Erdbeben unterschiedliche Beiträge zur seismischen Gefährdung. Die Deaggregation der Resultate für Beznau zeigt, wie in Abbildung 3.7-33 und Abbildung 3.7-34 dargestellt, dass bei geringen Erschütterungsamplituden (0.05g) und tiefen Frequenzen (0.5 Hz) Erdbeben über den ganzen Entfernungs- und Magnitudenbereich signifikante Beiträge liefern. Betrachtet man dagegen, am anderen extremen Ende, die grossen Amplituden (0.7g) und höchsten Frequenzen (PGA), so zeigt sich, dass hier die Gefährdung massgeblich von nahegelegenen Erdbeben (< 20 km) im Magnitudenband 5-7 bestimmt wird (Abbildung 3.7-34). Dies ist nicht Beznau-typisch sondern gilt für alle Standorte. Mit wachsenden Beschleunigungsamplituden und Frequenzen nimmt der Einfluss der grossen und weiter entfernten Erdbeben rasch ab. Das Bild bestätigt sich, wenn man die von den Expertengruppen ausgeschiedenen Quellen ihrer Bedeutung nach rangiert.

Die grössten Beträge liefern die nahegelegenen Quellenzonen, wobei in jedem Expertenmodell die 'host zone', die den Standort selbst enthält (siehe unten), an der Spitze steht. Wenn vor allem grosse Bodenbeschleunigungen und hohe Frequenzen interessieren, ist es deshalb angezeigt, sich bei der Diskussion der standortspezifischen Gefährdung auf nahe gelegene Quellen in einer Entfernung von weniger als 20-40 km zu konzentrieren.

Bei der Quantifizierung des Erdbebenrisikos, also der Kombination der seismischen Gefährdung mit der Verwundbarkeit der einzelnen Bauten, werden teilweise weitere Schritte deterministisch durchgeführt. Der Ingenieur kann in diesem Fall die probabilistischen Ergebnisse der PSHA-Studie nicht voll übernehmen; als Eingabe für seine Berechnungen braucht er ein oder mehrere Szenario-Erdbeben ('scenario-' oder 'controlling earthquakes'). Für eine gegebene Frequenz und Erschütterungsamplitude charakterisiert man als Szenario-Erdbeben dasjenige, dass der höchsten Säule im Deaggregationsdiagramm entspricht (wobei für diese Bestimmung ein engmaschigeres Raster in der Magnitude-Distanz-Ebene verwendet wird). Für 0.15 g Beschleunigungsamplitude bei 5 Hz hat beispielsweise das Szenario-Erdbeben in Beznau eine Magnitude von M_w = 5.05 und einen Herd in 7.5 km Entfernung.

Abbildung 3.7-33: Beiträge zur seismischen Gefährdung am Standort Beznau (Fels) nach Magnitude, Distanz und ϵ[50] für eine Horizontalbeschleunigungsamplitude von 0.05g und eine Frequenz von 0.5 Hz

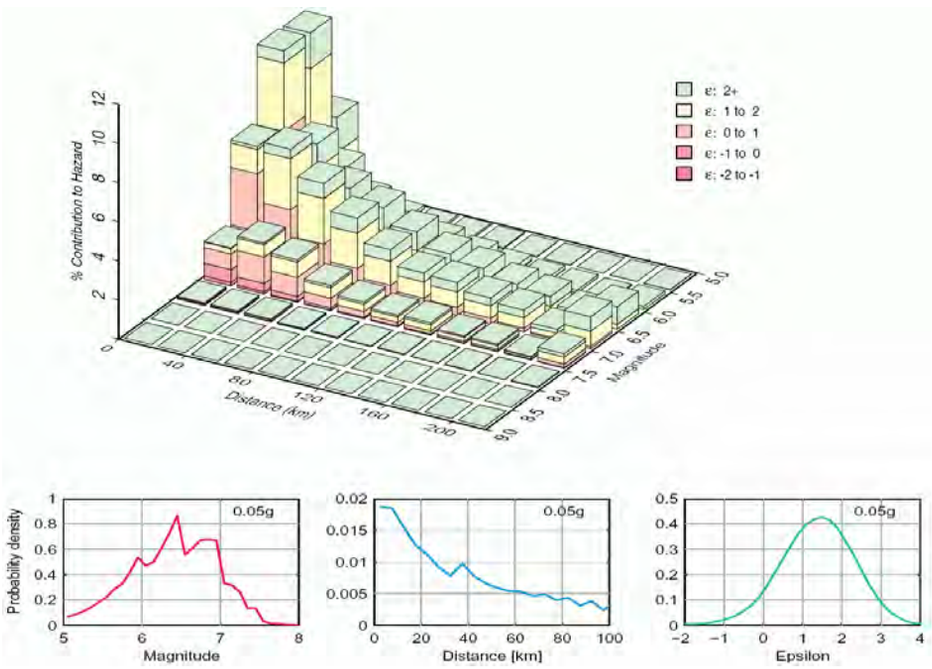
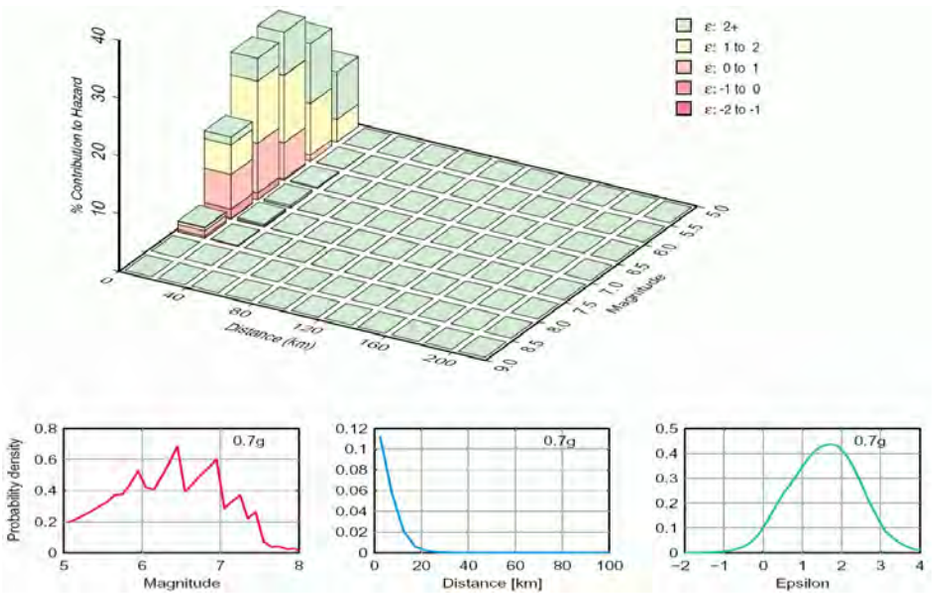


Abbildung 3.7-34: Beiträge zur seismischen Gefährdung am Standort Beznau (Fels) nach Magnitude, Distanz und ϵ für eine Horizontalbeschleunigungsamplitude von 0.7g und eine Frequenz von 100 Hz (PGA)



[50] Differenz zwischen log APE (dem Logarithmus der jährlichen Überschreitungswahrscheinlichkeit) und dem Mittelwert von log APE, ausgedrückt als Anzahl Standardabweichungen (σ) von log APE, für das jeweilige Magnituden / Distanz Szenario.

Neben der Deaggregation der seismischen Gefährdung in ein Distanz- und Magnitudenraster können mit Hilfe von speziellen Sensitivitätsberechnungen die Elemente in den Expertenmodellen identifiziert werden, die den stärksten Beitrag zur Gesamtgefährdung und vor allem zur gesamten Unsicherheit liefern. Bei der Quellencharakterisierung sind es die magnitudenabhängigen Erdbebenwiederholungsraten und, speziell bei tiefen Frequenzen, die Maximalmagnituden (M_{max}) in Standortnähe, die die Fels-Gefährdung massgeblich beeinflussen. Bei den Abminderungsmodellen spielen die Medianwerte der Bodenbeschleunigung und die aleatorische Variabilität in Standortnähe ($R < 40$ km) eine entscheidende Rolle. Dabei wird der Median der Bodenbeschleunigung selbst am stärksten von der Höhe des Spannungsabfalls (stress drop) und von der Tiefenverteilung der Erdbebenherde in den standortnahen Quellen beeinflusst.

Der grösste Anteil an der Gesamtunsicherheit der seismischen Gefährdung hat – unabhängig von Frequenz und Erschütterungsamplitude – die Charakterisierung der Abminderung, und zwar speziell die Charakterisierung des Medianwerts.

3.7.3.5.7 Beurteilung der Verschiebungsgefährdung

Eine Verschiebungsgefährdung setzt, nach üblichem Verständnis, eine Störung bzw. ein diskretes tektonisches Lineament voraus, das direkt durch den Grundriss ('footprint') der Anlage verläuft und bei einer Reaktivierung zu einem Versatz der Oberfläche mit entsprechenden Schäden an Gebäuden und Anlagen führen könnte. Innerhalb der Grenzen der Insel Beznau sind keine derartigen Lineamente oder Störungen bekannt. Fasst man den Begriff weiter, müssen auch identifizierte Störungen im tieferen Untergrund mit einbezogen werden, wenn nicht auszuschliessen ist, dass die Bruchfläche eines störungsassoziierten Erdbebens bis an die Oberfläche durchschlagen und den Grundriss der Anlage tangieren könnte.

Die dem Standort nächstgelegene Störung ist die Mandacher Überschiebung deren Fels-Ausbisslinie die Südspitze der Insel Beznau knapp berührt (vgl. Abbildung 3.7-7). Auch wenn man ignoriert, dass die Störung ausserhalb des Perimeters liegt, geht von ihr keine Verschiebungsgefährdung aus, weil es keine Indizien gibt, die auf tektonische Bewegungen innerhalb der letzten 25'000 Jahren hindeuten würden (vgl. Kapitel 3.7.1.2.3). Dazu kommt, dass das alte und das neu geplante Kernkraftwerk auf der liegenden Scholle der Überschiebung situiert sind. Es muss daher auch bei einem Erdbeben nicht damit gerechnet werden, dass sich die Störung nach Norden hin, in Richtung der Insel Beznau auffächern könnte ('back thrust faulting'). Diese Konfiguration unterscheidet sich grundsätzlich von der Situation der japanischen Kernkraftanlage von Kashiwazaki-Kariwa (KKNPS), die 2007 vom Niigata Erdbeben beschädigt wurde. Dabei gab es zwar keine Oberflächenverschiebungen aber als ursächliche Störung wurde eine Überschiebung identifiziert, welche unter die Anlage einfällt. Der Standort liegt also auf der hangenden Scholle, was die Möglichkeit offenlässt, dass sich bei einem zukünftigen Erdbeben neue Äste hinter der Hauptstörung bilden könnten.

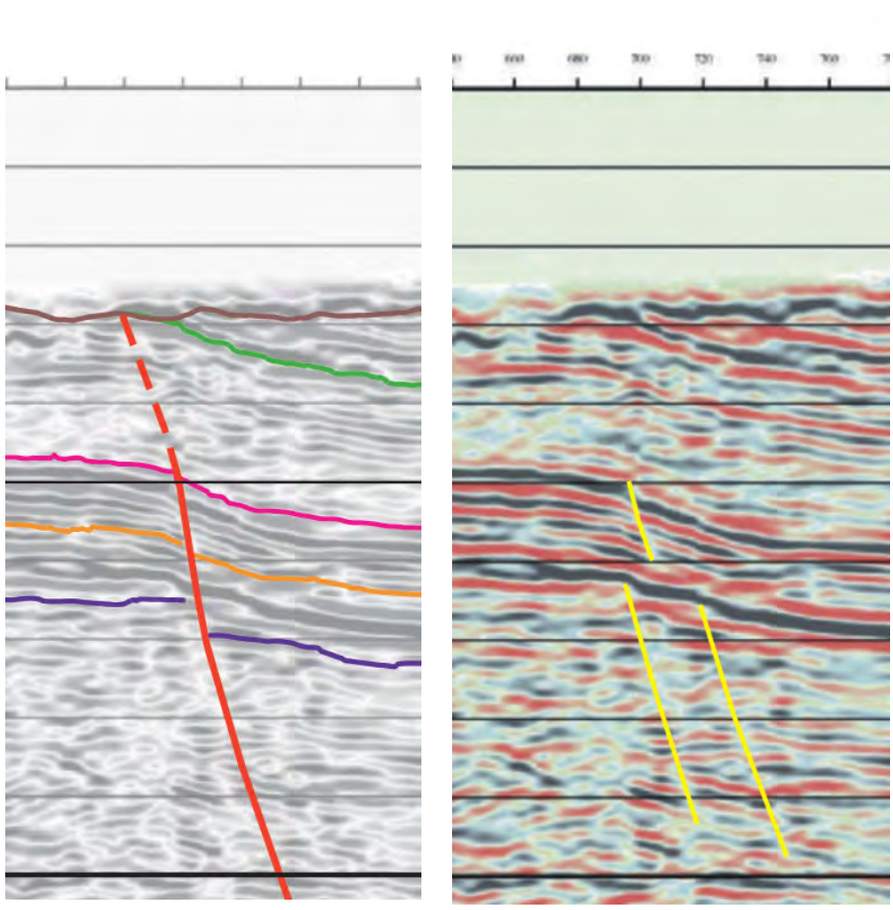
Im Grundgebirge unter dem Gebiet Beznau verläuft der generell WSW-ENE-streichende Nordrand des Permokarbontroges, der durch verschiedene herzynische streichende, dextrale Blattverschiebungen versetzt wird. Diese Trograndbrüche verstellen das kristalline Grundgebirge mit dem Permokarbontrog und den Trogschultern, nicht aber das Deckgebirge mit der mesozoischen Schichtreihe. Aufgrund geologischer und reflexionsseismischer Evidenz kann der Nachweis geführt werden, dass alle diese Störungen, einschliesslich der Vorwald-Störung, die

nördlich an der Beznau-Insel vorbeizieht, mindestens seit dem Miozän (d.h. seit mehr als 25 Mio. Jahren) nicht mehr aktiv waren (vgl. Kapitel 3.7.1.3.2).

Wäre es seit dem Miozän zu einer Reaktivierung von Störungen aus dem Grundgebirge gekommen, und hätten sich Brüche bis in die oberen mesozoischen Sedimente oder gar bis an die Oberfläche durchgepaust, so müssten sich dafür auf den reflexionsseismischen Sektionen Spuren finden lassen. Diese fehlen aber trotz günstiger Abbildungsbedingungen und der hochauflösenden Definition des mesozoischen Schichtstapels.

Es gibt publizierte Interpretationen, die dieser Aussage zu widersprechen scheinen. Sie erweisen sich aber bei näherer Betrachtung meist als wenig stichhaltig, wie das in Abbildung 3.7-35 gezeigte Beispiel beweist.

Abbildung 3.7-35: Zur Reaktivierung von Störungen im Grundgebirge: Seismische Linie 83-NF-55 im Bereich CMP 700 aus dem NTB 08-04.



Die Interpretation der Nagra im Bereich Basis Mesozoikum (links in der Abbildung) ist in diesem speziellen Fall nicht überzeugend. Die rechts skizzierte Lösung zeigt wie sich die mesozoischen Sedimente über den treppenartigen Versatz in der Grundgebirgsoberfläche drapieren, wobei es in der Trias und im untersten Jura zu unbedeutenden Abscherungsbrüchen kommt. Ein direktes Durchschlagen der Sockelstörungen bis in jüngere Schichten ist nicht zu erkennen.

Die hier gemachten Überlegungen führen zum Schluss, dass weder von der Mandacher Überschiebung noch vom Störungsmuster im Grundgebirge eine Verschiebungsgefährdung für den EKKB Standort ausgeht.

3.7.3.6 Das Gefährdungspotenzial der Mandacher Überschiebung

3.7.3.6.1 Lithologie und Deformationsverhalten

Wie im Kapitel 3.7.1.2.5 beschrieben, ist die Mandacher-Störung eine prominente, nordgerichtete Décollement[51]-Überschiebung, die - wie viele andere im Molasse-Trog der Nordschweiz - durch Abscherung in den triadischen evaporitischen Serien der Anyhdritgruppe entstanden ist und parallel zur Alpenfront verläuft. Die dieser Interpretation zugrunde liegende Fernschubhypothese ist ein heute etabliertes und durch zahlreiche Beispiele breit abgestütztes Konzept für die jüngste Phase der nordalpinen Krustenverkürzung (z.B. [52]). Die Störung, die u.a. in den beiden Nagra-Linien 82NX40 und 82NS50 gut bzw. zufriedenstellend abgebildet ist (vgl. Abbildung 3.7-36 und Abbildung 3.7-37), verläuft südlich der Aare-Insel. Die Überschiebung versetzt die Formationen von der Anhydritgruppe (Abscherhorizont) bis zum Dogger. Das rheologische Verhalten dieser Formationen ist unterschiedlich: Während sich die Kalke des Muschelkalks und die Gesteine anderer Formationen spröde deformieren, kann man von den Gesteinen des Gispkeupers und der Anhydritgruppe eine duktile, also aseismische Deformation erwarten (vgl. Abbildung 3.7-38).

3.7.3.6.2 Untiefe Beben in Zentraleuropa

Der tiefste Punkt der Mandacher Überschiebung liegt etwa 600 m unter der Erdoberfläche. Man nahm früher an, dass es kaum möglich sei, in den Sedimentschichten genug tektonische Spannungen aufzubauen, um ein Beben mittlerer Magnitude auszulösen.

Inzwischen ist es dank besseren Lokalisierungsmöglichkeiten und dichteren Stationsnetzen möglich, die Herdtiefen präziser zu bestimmen, und so sind in den letzten Jahren einige Beben identifiziert worden, deren Herde möglicherweise in den Sedimentschichten liegen. Die meisten dieser Beben haben aber mit Magnituden $M_w < 4.0$ keine ingenieurseismologische Relevanz (M_w >4.5, siehe auch Fussnote zu Scherwellengeschwindigkeitsprofilen). Zwei gut dokumentierte Fälle von Erdbeben mit mittlerer Magnitude und einem wahrscheinlichen Herd in der Sedimentdecke sind aber bekannt: Das Annecy- (oder Épargny-) Erdbeben (M_w 4.6) mit einer Herdtiefe von 3 km [59] und das Fribourg M_w 4.0-Beben mit einer Tiefe von 2 km [49]. Beide Ereignisse waren aber, anders als bei einem potentiellen Erdbeben an der Mandacher Überschiebung, Strike-slip-Bewegungen in über 3 km mächtigen Sedimentstapeln. Im Gegensatz dazu sind die Sedimente im Bereich der Mandacher Überschiebung nur etwas über 600 m dick.

---

[51] Ein Décollement Horizont ist eine tektonische Gleitfläche zwischen zwei geologischen Schichtpaketen von denen das stratigrafisch jüngere über das ältere überschoben wird. Solche Horizonte entstehen oft in Schichten geringer Scherfestigkeit (Tone, Evaporite etc.).

Andere Fälle von oberflächennaher Seismizität wurden nicht durch eine Erhöhung der tektonischen Spannungen jenseits der kritischen Grenze ausgelöst, sondern durch Herabsetzen dieser Grenze durch eine Regen-induzierte Erhöhung des Porendrucks in der Tiefe. Beide Fälle ([57] bzw. [47]) betrafen aber schwache Beben (M_w < 2.5) in den meist steilstehenden helvetischen Decken. Im Bereich der Mandacher Überschiebung liegt der kaum durchlässige Opalinuston subhorizontal in Oberflächennähe. Er dürfte die Diffusion einer etwaigen Regen-induzierten Porendruckwelle in die Tiefe verunmöglichen. Weltweit ist kein Beispiel Niederschläge-induzierter Erdbeben von ingenieurseismologischer Relevanz bekannt.

3.7.3.6.3 Felsmechanische Modellierung der maximalen Spannungen

Die maximale tektonische Spannung, die an der Mandacher Überschiebung aufgebaut werden kann, ist die obere Grenze für den statischen Spannungsabfall bei einem Erdbeben (stress-drop). Zusammen mit den Dimensionen der Bruchfläche bestimmt der stress drop $\Delta\sigma$ die freigesetzte Energie bzw. die Magnitude des Erdbebens (vgl. Kapitel 3.7.3.6.4 unten).

Abbildung 3.7-36: Nagra Linie 82NX40, uninterpretiert und interpretiert. Rot im Kasten eingetragen ist der Verlauf der auf Basis Quartär projizierten Mandacher Störung

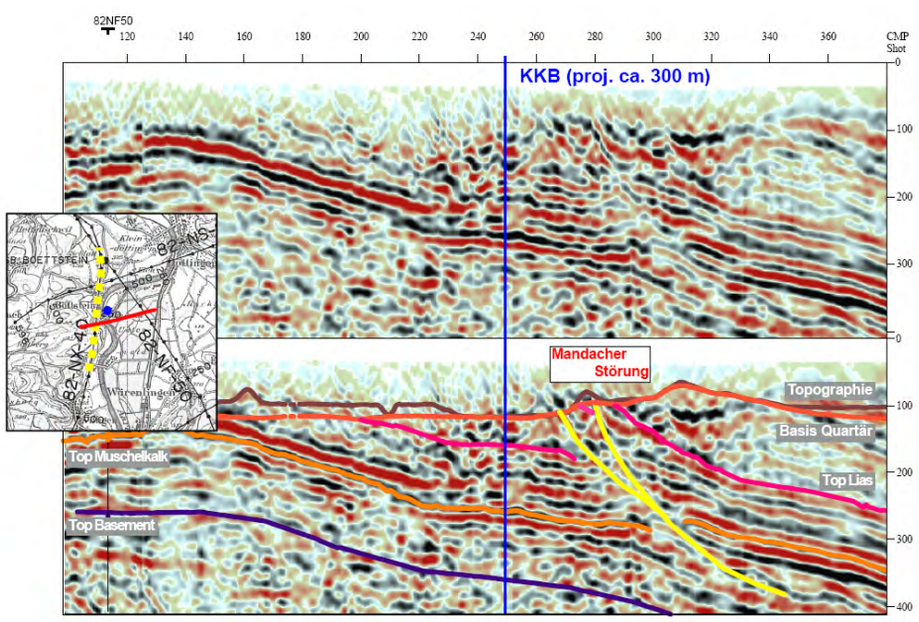
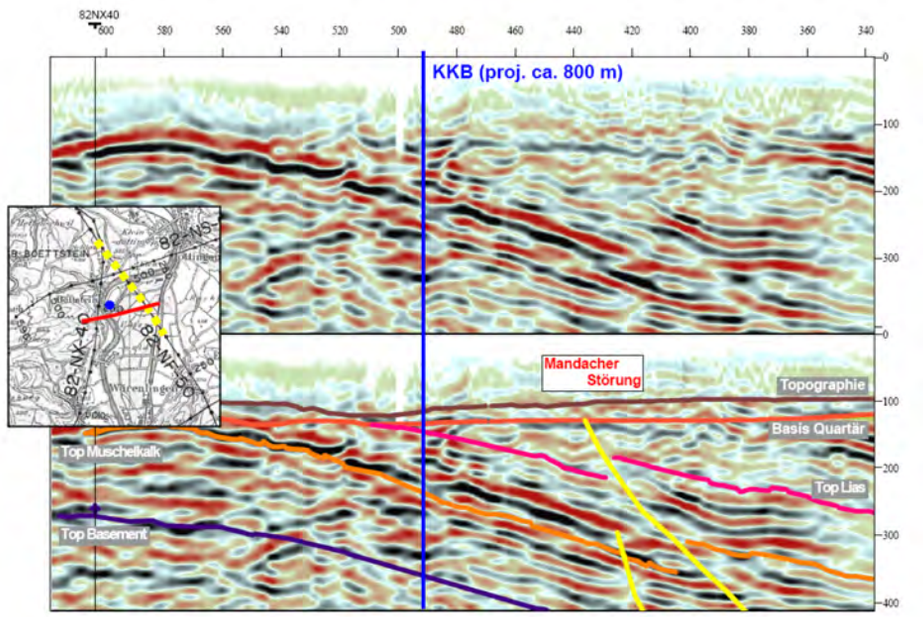


Abbildung 3.7-37: Nagra-Linie 82NF50, uninterpretiert (oben) und interpretiert (unten)

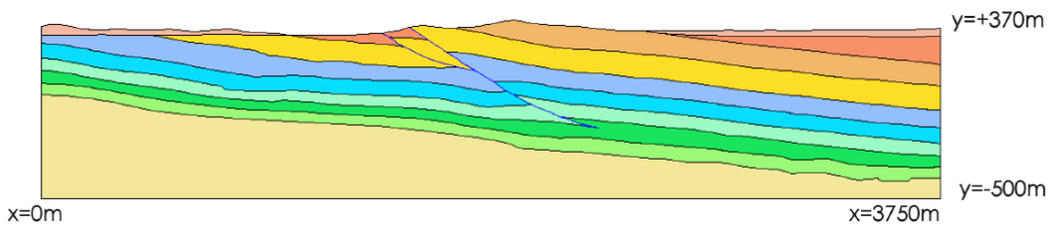


Im Fall der Mandacher Überschiebung ist nicht nur die Lage und Ausdehnung der Störung gut bekannt, sondern, dank der Reflexionsseismik, auch die Form der Störungsfläche. Dazu weiss man, welche Gesteinsformationen einander gegenüberliegen, welche Position sie zueinander einnehmen und welche felsmechanisch relevanten Materialparameter anzusetzen sind um ihr Deformationsverhalten zu beschreiben. Ein Teil dieser Materialkennwerte sind das Resultat systematischer Untersuchungen der Nagra in Tiefbohrungen und im Felslabor Mt. Terri.

Diese günstigen Voraussetzungen eröffneten die Möglichkeit, mit einem numerischen Modell den Spannungsaufbau bis zum Versagen der Überschiebungsfläche zu simulieren, um so den maximalen stress drop zu ermitteln, der für die Abschätzung des Magnitudenpotenzials der Mandacher Überschiebung gebraucht wird. Mit den Modellrechnungen wurde die Firma ITASCA Consultants GmbH in Deutschland beauftragt.

Abbildung 3.7-38 erläutert die geometrischen Vorgaben für den Aufbau des numerischen 2D Modells, die berücksichtigten geologischen Formationen und ihre Materialkennwerte. Die Diskretisierung umfasste 18 Blöcke, 13.492 Knotenpunkte und 23.609 deformierbare Elemente (vgl. Abbildung 3.7-39). Für die Modellierung wurde der Code UDEC 4.0 [106] eingesetzt, der speziell für Problemstellungen mit Blockstrukturen in geklüftetem Gebirge geeignet ist. Die Simulationen erfolgten in mehreren Phasen. Bis zum Erreichen des statischen Gleichgewichtszustands waren der linke Modellrand, der Modellboden und der rechte Modellrand in Normalenrichtung fixiert. Für die Modellierung der tektonischen Vorgänge, die zu einer Aufschiebung entlang der Überschiebungsfläche führen sollte, wurde dann die Fixierung am rechten Modellrand im unteren Bereich ($y < -253{,}2$ m) durch eine Spannungsrandbedingung ersetzt.

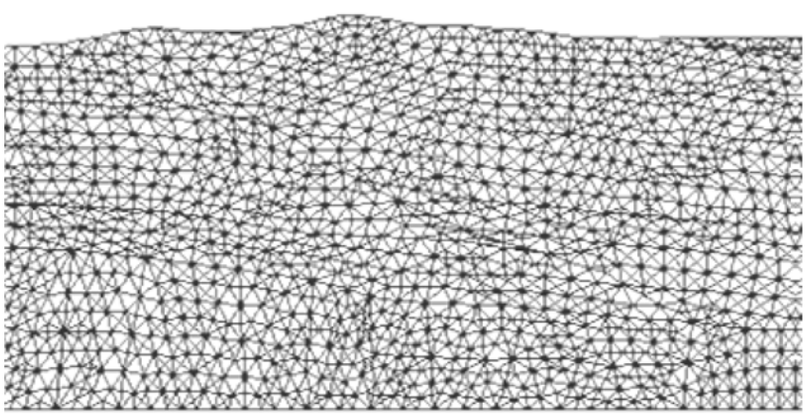
Abbildung 3.7-38: Im numerischen Modell berücksichtigte geologische Formationen mit ihren Materialkennwerten. Anhydritgruppe und Gipskeuper (vgl. Kapitel 3.7.1, Abbildung 3.7-2) werden als duktil deformierbare Einheiten modelliert; alle anderen Lithologien sind spröd deformierbar.



Name	E [GPa]	ν [/]	Reibung [°]	Kohäsion [MPa]	Dichte [kg/m³]
Buntsandstein	20	0.27	30	3	2500
Anhydritgruppe	15	0.27	0	0	2900
Hauptmuschelkalk	30	0.27	35	6	2630
Gipskeuper	15	0.27	0	0	2600
Schilfsandstein	10	0.27	30	3	2400
Opalinuston	6	0.27	35	6	2450
Hauptrogenstein	30	0.27	35	6	2600
Malmkalke	40	0.27	35	6	2600
Quartär	2	0.3	30	0	2200
Granit	50	0.27	/	/	2700



Abbildung 3.7-39: Netzstruktur der deformierbaren Elemente (Ausschnitt)



Das Ziel der Simulationen war die Bestimmung der maximalen integrierten gemittelten Scherspannung entlang der Überschiebungsfläche, sowie des Betrags der Modellverkürzung (als Mass für die tektonische Zeit) bei Eintreten des Versagens. Dazu wurden während der Berechnung die Scherspannungen auf allen Teilstücken der Überschiebungsfläche bestimmt, aufsummiert und dann durch die Gesamtlänge der Überschiebungsfläche geteilt.

Der kritische Parameter für die maximal erreichbare Scherspannung ist der Reibungswinkel auf der Überschiebungsfläche. Da es keine Möglichkeit gab, diesen Parameter zu bestimmen, wurde er für die verschiedenen Rechenfälle variiert. Mit dem Reibungswinkel nimmt auch die erreichbare Spannung zu, was bedeutet, dass ein grosser Reibungswinkel die konservative Annahme darstellt. Um die Reibung nach oben zu begrenzen, wurde als Randbedingung gefordert, dass die Überschiebungsfläche mobilisierbar bleiben muss. Eine vollständige Blockierung hätte die

Grundprämisse der Studie verletzt, weil abzuklären war, welche Stärke ein Erdbeben an einer präexistierenden Schwächezone erreichen konnte.

Abbildung 3.7-40: Verschiebungsvektoren in der Umgebung der Überschiebungsfläche zur Zeit des Versagens der Überschiebungsfläche (oben) und weit im Post-Failure-Bereich (unten) für den Rechenfall mit 10° Reibungswinkel.

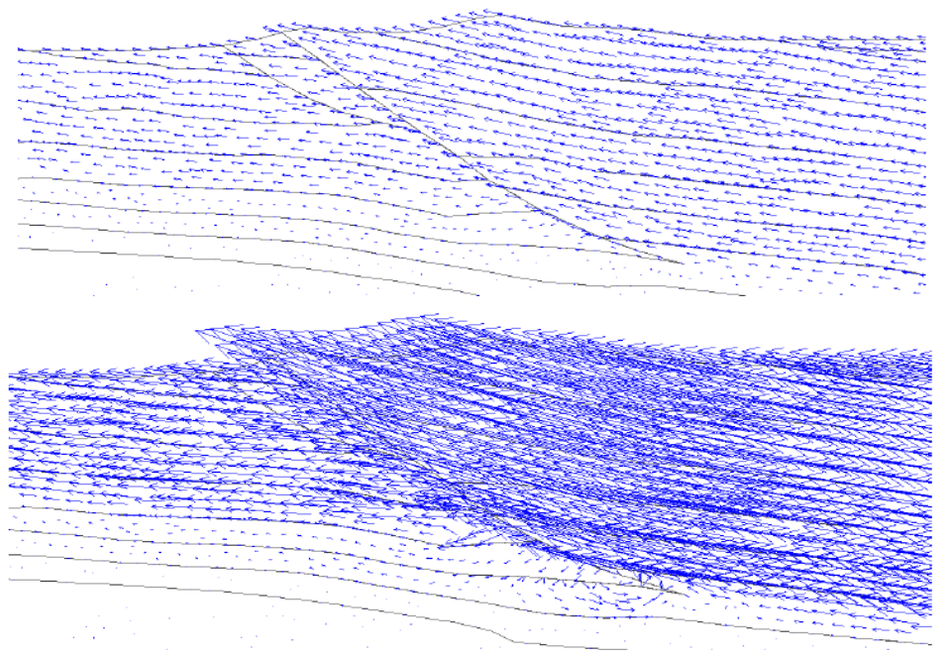
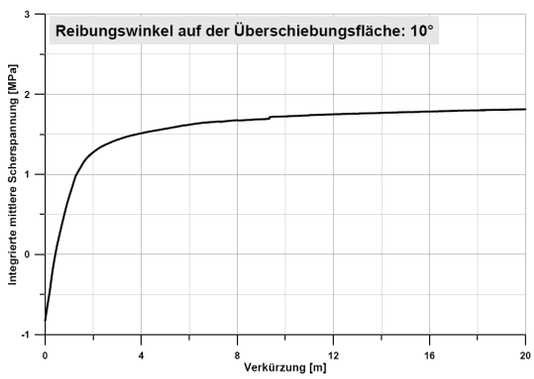
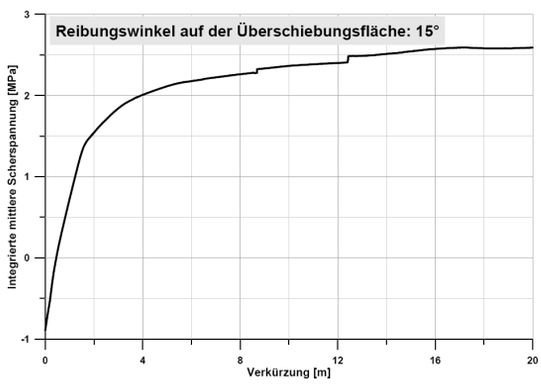


Abbildung 3.7-41: Verlauf der integralen gemittelten Scherspannung auf der Überschiebungsfläche als Funktion der Modellverkürzung für den Rechenfall mit 10° Reibungswinkel (links) und 15° Reibungswinkel (rechts).





Als wichtigstes Ergebnis der Simulationen ist in Abbildung 3.7-41 der Aufbau der integralen gemittelte Scherspannung als Funktion der Modellverkürzung dargestellt. Für einen Reibungswinkel von 10° (links) ergeben sich eine Verkürzung im Versagensfall von 4 m und eine maximale Scherspannung von 1.8 MPa. Abbildung 3.7-40 zeigt die zugehörigen Verschiebungsvektoren zum Zeitpunkt des Versagens der Störung und im Post-Failure Bereich. Für 15° Reibungswinkel (rechts) beträgt die Modellverkürzung 7 m und die maximale Scherspannung 2.6 MPa.

Bei einem Reibungswinkel von 20° blockiert die Überschiebung, d.h. der obere Teil des Modells wird als Ganzes gestaucht und es ist keine differenzielle Bewegung zwischen der hangenden und der liegenden Scholle mehr erkennbar. Der Wert von 20° kann deshalb als oberer Grenzwert für den Reibungswinkel auf der Überschiebungsfläche angesehen werden, ebenso wie der sich einstellende Wert der integralen Scherspannung von immer noch weniger als 3 MPa. Weil aber bei 20° die Randbedingung der Aktivierbarkeit bereits verletzt wird, wurde 15° als realistischer Wert für den Reibungswinkel akzeptiert. Die zugehörige maximale Scherspannung von 2.6 MPa entspricht dem grössten statischen Spannungsabfall ($\Delta\sigma$) der bei einem Erdbeben erwartet werden kann und dieser Wert wurde deshalb als Eingabegrösse für die Abschäzung der Maximalmagnitude verwendet.

3.7.3.6.4 Grösste denkbare Magnitude an der Mandacher Überschiebung

Um das stärkstmögliche Erdbeben zu bestimmen, dass die Mandacher-Störung auslösen kann, muss man auf theoretische Beziehungen zurückgreifen, die wichtige Herdparameter miteinander in Verbindung setzen (siehe z.B. [51]). Kastrup et al. [49] haben eine solche Beziehung für die Beben der Fribourg-Schwärme benutzt:

$$M_w = 2 \log L + 0.67 \log \Delta\sigma - 1.33 \log a - 0.67 \log C - 6 \quad (1)$$

wo M_w die Moment-Magnitude, L die Bruchlänge, $\Delta\sigma$ der statische Spannungsabfall (stress drop), a das Längen/Breiten-Verhältnis des Bruches und C eine dimensionslose Konstante ist. Das Längen/Breiten-Verhältnis a eines Bruches (sein 'aspect ratio') kann aus den Regressionen von Wells & Coppersmith [60] für die Bruchlänge L und Bruchbreite W abgeleitet werden:

$$\log a = -0.81 + 0.17\, M_w \quad (2)$$

Setzt man $a = L / W$ so ergibt sich aus (1) und (2) eine neue Beziehung, die die maximale Moment-Magnitude nur noch als Funktion der Bruchbreite W, des stress-drop $\Delta\sigma$ und der Konstante C darstellt:

$$M_w = 2.256 \log W + 0.752 \log (\Delta\sigma / C) - 7.376 \quad (3)$$

Zur Bestimmung der Maximalmagnitude müssen die für die Mandacher Überschiebung gültigen Parameterwerte eingesetzt werden. Addiert man die Segmente zusammen, die entlang der Überschiebung spröde Lithologien auf beiden Seiten der Störung in Kontakt setzen (vgl. Abbildung 3.7-38), kommt man auf eine kumulierte Breite und damit auf einen maximalen W-Wert von rund 500 m. Für die Skalierungskonstante C können wir einen repräsentativen und mittleren Wert von 2 annehmen [49].

Die oberste und daher konservative Grenze für den Spannungsabfall $\Delta\sigma$ ist die maximale Spannung, die sich an der Störung aufbauen lässt. Dieser Parameter wurde, wie im vorigen

Abschnitt beschrieben, durch die felsmechanische Modellierung der Mandacher Überschiebung ermittelt (vgl. Kapitel 3.7.3.6.3). Es resultierte ein Wert von 2.6 MPa oder 26 bar, der sich gut mit dem mittleren Standardwert von 30 bar vergleichen lässt, der in der Literatur für Erdbeben im Innern der grossen plattentektonischen Einheiten ('intraplate earthquakes') angenommen wird (vgl. [48]). Dass der Standartwert nicht erreicht wird, war bei der geringen Tiefe der Mandacher Überschiebung zu erwarten.

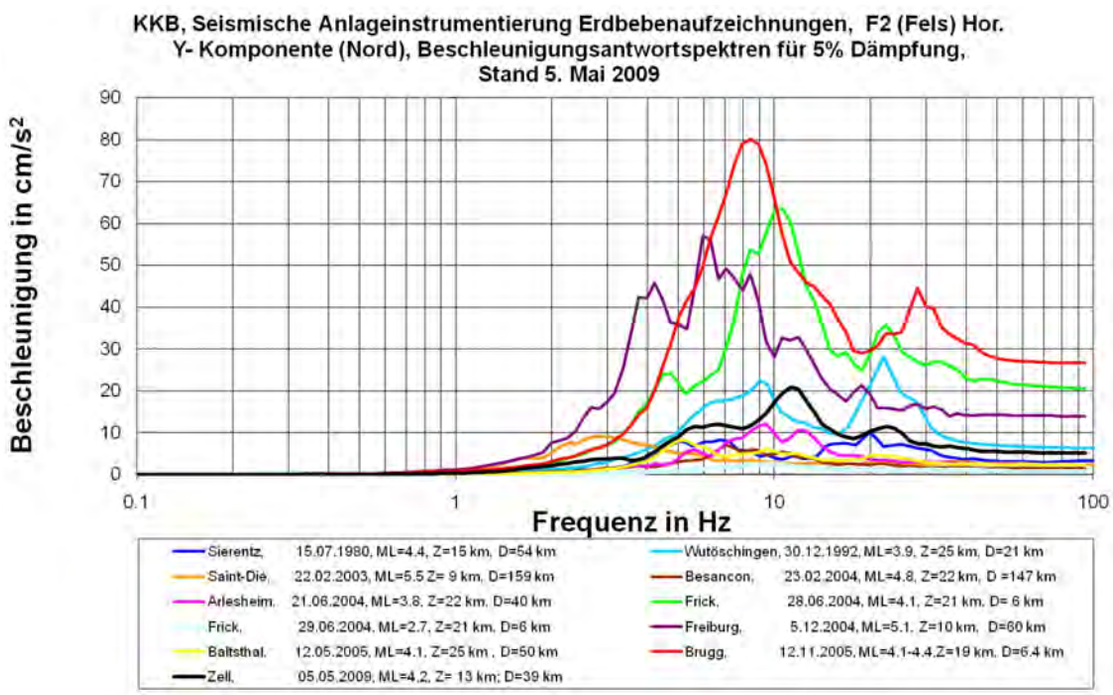
Bei der Annahme eines maximalen Spannungsabfalls $\Delta\sigma$ von 2.6 MPa resultiert aus Gleichung (3) für das stärkstmögliche Erdbeben, das die Mandacher Überschiebung auslösen könnte, eine Moment-Magnitude von $M_w = 3.3$, was für die Vibrationsgefährdung am Standort EKKB irrelevant ist.

Es ist darauf hingewiesen worden, dass die empirischen Magnituden-Bruchdimensionen-Beziehungen von Wells & Coppersmith [60], auf die unsere Schätzung teilweise basiert (Gleichung 2), für oberflächennahe Erdbeben mittlerer Magnitude ($M_w < 4.8$) möglicherweise nicht mehr so zuverlässig sind: Diese schwachen Beben haben offenbar, bei gegebenen Bruchdimensionen und besonders bei geringem stress-drop, kleinere Moment-Magnituden. Das würde also in unserem Fall bedeuten, dass wir die maximal mögliche Magnitude überschätzt haben.

3.7.4 Seismologische Daten am Standort

Gemäss der entsprechenden HSK-Richtlinie verfügt jedes Kernkraftwerk über eine seismische Instrumentierung. Diese besteht aus mehreren Beschleunigungsaufnehmern, die im freien Feld[52] und in den wichtigsten Bauten installiert sind. Hauptzweck dieser Instrumentierung ist im Falle eines Erdbebens die auftretenden Bewegungen des Baugrundes zu registrieren und zu prüfen, ob das so genannte Betriebserdbeben (OBE – Operating Basis Earthquake) überschritten ist.

Abbildung 3.7-42: Beschleunigungsantwortspektren der am Standort Beznau (Felsinstrumentierung) seit 1969 registrierten Erdbeben. Horizontalkomponente, 5% kritische Dämpfung



Die bestehende KKB Anlage hat seit ihrer Inbetriebnahme eine seismische Instrumentierung. Das Freifeld Instrument ist in der Bohrung SB8 auf der Opalinuston-Oberfläche installiert (Abbildung 3.7-4). Im Jahre 2003 wurde die Instrumentierung ersetzt und durch einen zusätzlichen Beschleunigungsaufnehmer an der Erdoberfläche ergänzt. Die KKB-Instrumentierung hat in den letzten 39 Jahren 10 Erdbeben in einer epizentralen Entfernung von 6 bis 159 km und mit einer lokalen Magnitude zwischen 3.8 und 5.5 registriert. Die dazugehörigen Beschleunigungsantwortspektren auf Fels zeigt Abbildung 3.7-42. Die maximal gemessenen Bescheunigungen (für PGA) lagen unter 0.03g. Dies entspricht ca. 40% des OBE.

[52] Standort der Messgeräte zur Aufzeichnung der seismischen Signale ist entfernt vom Bauwerk, sodass die durch ein Erdbeben erzeugten Bodenbewegungen ohne den Einfluss des Bauwerks registriert werden können.

Im Rahmen des OPAL-Projektes wurden am EKKB-Standort zwei Beschleunigungsaufnehmer im Freifeld installiert. Ein Aufnehmer wurde auf der Felsoberfläche in 22 m Tiefe im Bohrloch SB8 (vgl. Abbildung 3.7-4), ein zweiter in unmittelbarer Nähe des Bohrlochs an der Erdoberfläche platziert. Ziel dieser Instrumentierung ist es, die Ausbreitung seismischer Wellen vom Fels bis zur Erdoberfläche zu beobachten und die analytischen Modelle zu kalibrieren, welche die Wellenausbreitung und die Gebäude-Baugrund-Wechselwirkungen simulieren.

3.7.5 Externe Ereignisse

Ein Erdbeben ist ein externes Ereignis, das zu einem Störfall mit Ursprung ausserhalb der Anlage führen kann. Deshalb werden alle sicherheitsrelevanten Bauten und Einrichtungen für das Ereignis Erdbeben ausgelegt, sodass die entsprechenden Störfälle beherrscht werden können (Art. 7 lit. c KEV).

Dabei werden die durch das Erdbeben ausgelösten Auswirkungen berücksichtigt. Diese Auswirkungen sind:

- Bodenerschütterungen
- Bodensetzungen und Verschiebungen
- Erdrutsche
- Zerstörung in der Nähe befindlicher Anlagen, welche die Sicherheit gefährden können
- Verlust von nicht erdbebenfesten Hilfs- und Versorgungssystemen

Diese Auswirkungen können zu Folgeereignissen (vgl. Tabelle 2.4-2) führen, welche auch beherrscht werden müssen. Bodenverflüssigungen, Seiche, Bergsenkungen und Einsturz, Erosionen und Flussbettverlagerungen sind am Standort nicht relevant. Erdrutsche können zu Überflutungen oder einer Beeinträchtigung der externen Kühlwasserversorgung führen. Auch die Zerstörung von in der Nähe befindlichen Anlagen wie Stauwehren kann zu den gleichen Konsequenzen führen. Die Beschädigung von nicht erdbebenfesten elektrischen Einrichtungen wie Starkstromleitungen oder Transformatoren kann zu Verlust der externen Stromversorgung führen. Diese Ereignisse werden in anderen Kapiteln des Sicherheitsberichts diskutiert. Bei der Auslegung der Anlage, der Durchführung der Sicherheitsanalysen und der Erbringung der entsprechenden Nachweise werden die Folgeereignisse identifiziert und berücksichtigt.

3.7.6 Bewertung der Standorteignung

Eine Beurteilung der Standorteignung hinsichtlich Geologie, Baugrund und seismischer Gefährdung basiert einerseits auf Hypothesen über die relevanten naturgegebenen Tatsachen und anderseits auf dem Wissensstand, auf den sich diese Hypothesen abstützten. Am Standort Beznau ist dieser Wissensstand, dank einer über Jahrzehnte aufgebauten Datenbasis, ausserordentlich hoch und die auf die Eignung bezogenen geologischen und geotechnischen Aussagen sind dementsprechend gut fundiert und zuverlässig. Dasselbe gilt für die seismische Gefährdung. Hier steht als Beurteilungsgrundlage eine der aufwändigsten und technisch fortschrittlichsten standortspezifischen Gefährdungsanalysen zur Verfügung, die weltweit bisher durchgeführt wurden (PEGASOS-Studie).

Beznau liegt unmittelbar nördlich der letzten Jura-Überschiebung in der tektonisch ruhigen Zone des Tafeljuras. Es gibt in der Nähe keine Evidenz für neotektonische Bewegungen und Verschiebungen mindestens seit Beginn des Quartärs. Lokale Störungen, die unmittelbar durch den Standort, d.h. durch die Insel Beznau verlaufen, sind keine bekannt. Die Lage der Mandacher Störung konnte mit den OPAL-Untersuchungen bestätigt werden. Das Potenzial für Oberflächenverschiebungen (Verschiebungsgefährdung) ist deshalb vernachlässigbar. Auch das Risiko von Hangrutschungen mit direkten Auswirkungen auf den Standort ist aufgrund der Topographie und der Felsbeschaffenheit als äusserst gering einzustufen. Indirekte Auswirkungen von Hangrutschungen in der weiteren Umgebung, wie beispielsweise eine Überflutung oder der Verlust bzw. die Beeinträchtigung der Flusskühlung, werden bei der Auslegung der zukünftigen Anlage als externe Störfälle berücksichtigt. Der Nachweis kann erbracht werden, dass die Folgen dieser Störfälle beherrschbar sind und die Standorteignung deshalb nicht in Frage gestellt wird.

Die Baugrundeigenschaften sind günstig. Es wurde kein Potenzial für Bodenverflüssigung festgestellt und die Tragfähigkeit wird als gut beurteilt.

Gemäss den Gefährdungskarten des Schweizerischen Erdbebendienstes liegt Beznau innerhalb der Schweiz in einer seismisch ruhigen Zone. Die von den PEGASOS-Experten ermittelten standortspezifischen (Fels-)Beschleunigungen sind vergleichbar mit der Gefährdung in anderen Gebieten schwacher bis mittlerer seismischer Aktivität, wie etwa dem östlichen und zentralen Teil der USA.

Lokale, an der Oberfläche kartierbare Störungen haben kaum Einfluss auf die seismische Gefährdung am Standort Beznau. Dies gilt insbesondere auch für die in unmittelbarer Nähe des Standorts gelegene Mandacher Überschiebung. Ihr Gefährdungspotenzial wurde durch die PEGASOS-Experten als gering bis vernachlässigbar eingestuft, was u.a. dadurch zum Ausdruck kommt, dass sie – ungeachtet der Standortnähe – nicht als diskrete Störungsquelle in die seismischen Quellenmodelle mit aufgenommen wurde. Eine detaillierte Studie des seismogenen Potenzials der Mandacher Überschiebung bestätigt die Einschätzung der Experten. Die Spannungen, die an der Störung aufgebaut werden können, zusammen mit der Form und den Dimensionen der maximal denkbaren Bruchfläche, reichen nicht aus, um ein Erdbeben zu erzeugen, das ingenieurseismologisch von Bedeutung wäre ($M_w > 4.5$).

Mit der PEGASOS-Studie wurde die seismische Gefährdung für die bestehende Anlage KKB 1 und 2 ermittelt. Die Gefährdungsresultate sind auch für den Standort des geplanten, neuen Kernkraftwerks EKKB anwendbar, da der vorgesehene Bauplatz nur ca. 300 m entfernt liegt und die lokalen Baugrundeigenschaften sehr ähnlich sind.

Die PEGASOS-Gefährdungskurven für Beznau (Horizontalkomponente; Fels) liefern, bei einem Referenzwert von 10^{-4} für die jährliche Überschreitungswahrscheinlichkeit, eine "Peak Ground Acceleration" von 0.16 g. Dies ist der Medianwert einer Unsicherheitsverteilung, die beispielsweise durch die Bandbreite zwischen dem 16%- und dem 84%-Fraktil dargestellt werden kann (0.1-0.23 g). Der Standorteffekt, d.h. die frequenzabhängige Verstärkung des seismischen Signals durch die oberflächennahen geologischen Schichten, erhöht den Medianwert der Felsbeschleunigung auf 0.3 g mit einer Unsicherheitsbandbreite im entsprechenden Fraktilbereich von 0.17-0.5 g. Die grundsätzliche Eignung des Standorts wird durch diese Resultate nicht tangiert.

Für die zukünftige Anlage wird eine seismische Gefährdungsspezifikation erstellt und es werden Bemessungsgrundlagen für die seismische Auslegung festgelegt. Sicherheitserdbeben (SSE) und Betriebserdbeben (OBE) werden über entsprechende Bemessungsspektren definiert. Dies geschieht als Vorbereitung für das Gesuch zur Baubewilligung, entsprechend Anhang 4 KEV. Dabei werden auch der externe Störfall "Erdbeben" definiert und entsprechende vorläufige Störfallanalysen durchgeführt. Aufgrund der vorliegenden seismischen Gefährdungsresultate werden keine Schwierigkeiten bei der Beherrschung dieses Störfalles oder der Einhaltung der Sicherheitskriterien erwartet.

Die Gesamtheit dieser Überlegungen führen zu einer positiven Beurteilung der Standorteignung im Hinblick auf Geologie, seismische Gefährdung und Baugrundeigenschaften.

Folgestudien und weitere Feldarbeiten am Standort werden im Rahmen der Vorbereitung des Baugesuchs durchgeführt. Sie werden helfen, die entsprechende Datenbasis weiter zu verbessern und Unsicherheiten zu reduzieren, was möglicherweise zu einer Verringerung der prognostizierten seismischen Gefährdung führt. Die grundsätzlichen Aussagen zur Standorteignung werden aber durch die Untersuchungen nicht betroffen und es ist nicht denkbar, dass diese Aussagen durch die erwarteten Resultate in Frage gestellt werden könnten.

3.7.7 Umsetzung bei der Auslegung

3.7.7.1 Rechtliche Grundlagen

Bei Kernanlagen sind Schutzmassnahmen gegen Störfälle mit Ursprung innerhalb oder ausserhalb der Anlage zu treffen (Art. 8 Abs. 1 KEV). Die Schutzmassnahmen sind in der Art. 7 KEV definiert. Gemäss Art. 8 Abs. 3 KEV gehören Erdbeben zur Kategorie "Störfall mit Ursprung ausserhalb der Anlage". Zur Beherrschung von Störfällen ist die Anlage derart auszulegen, dass keine unzulässigen radiologischen Auswirkungen in der Umgebung der Anlage entstehen. Dazu sind passive und aktive Sicherheitssysteme vorzusehen (Art. 7 lit. c KEV).

Für die Auslegung einer Kernanlage sind die Störfälle zunächst nach Häufigkeiten gemäss Artikel 94 der Strahlenschutzverordnung (StSV) vom 22. Juni 1994 einzuteilen. Es ist dann nachzuweisen, dass die Dosen nach Artikel 94 Absätze 2-5 StSV eingehalten werden können.

Beim Gesuch zur Baubewilligung (Art. 24 KEV) hat der Gesuchsteller zu zeigen dass diese Anforderungen und die übrigen Grundsätze nach den Artikeln 7-12 der KEV ("Grundsätze der nuklearen Sicherheit und Sicherung") eingehalten werden können. Dazu hat er die Unterlagen für das Gesuch zur Baubewilligung nach Anhang 4 der KEV, einschliesslich der vorläufigen Sicherheitsanalysen, einzureichen.

Entsprechend Anhang 4 KEV sind folgende, für die Erdbebenauslegung der Anlage notwendigen Unterlagen einzureichen:

- Gefährdungsspezifikation (Gesamtanlage G1)
- Definition der Störfälle und Sicherheitsgrenzwerte (Reaktortechnik R1)
- Vorläufige Analyse der die Auslegung bestimmenden Betriebszustände, Störfälle und deren Auswirkungen auf die Anlage und Umgebung (Reaktortechnik R2)
- Umsetzung der Gefährdungsspezifikationen in Ingenieurparameter (Bautechnik B1)
- Baugrundeigenschaften (Bautechnik B1)
- Systemklassierung (Systemtechnik S1)
- Klassierung der Bauwerke (Bautechnik B1)

Die mechanischen und elektrischen Ausrüstungen werden aufgrund ihrer Sicherheitsfunktionen in die Erdbebenklassen EK I (Ausrüstungen der Sicherheitsklassen 1-3) und EK II (mechanische Ausrüstungen der Sicherheitsklasse 4) eingestuft. Für die EK-I-Ausrüstungen müssen die Sicherheitsfunktionen bzw. die Integrität während und nach einem Sicherheitserdbeben[53] (Safe Shutdown Earthquake – SSE) gewährleistet sein. Die Integrität der mechanischen Ausrüstungen der EK II muss während eines Betriebserdbebens[54] (Operating Basis Earthquake – OBE) gewährleistet sein.

Die Bauwerke werden aufgrund ihrer Bedeutung für die nukleare Sicherheit und den Strahlenschutz in zwei nukleare Bauwerksklassen (BK) eingestuft (Bautechnik B1):

a BK I: Bauwerke, in denen mechanische und elektrische Ausrüstungen der EK I eingebaut sind;

b BK II: Bauwerke, in denen mechanische Ausrüstungen der EK II oder für Erdbeben nicht klassierte Ausrüstungen eingebaut sind.

Die Auslegungsspezifikationen und Bemessungskriterien für die Bauwerke werden mit dem Baubewilligungsgesuch eingereicht. Das gleiche gilt für die Systemtechnik, die Maschinentechnik und die Elektrotechnik.

Mit den Störfallanalysen und den Spannungs- bzw. Tragfähigkeitsnachweisen ist die Einhaltung der nuklearen Schutzziele bei den folgenden Auswirkungen von Erdbeben nachzuweisen:

- Bodenerschütterungen
- Bodensetzungen und Verschiebungen
- Erdrutsche
- Zerstörung von sich in der Nähe befindlichen Anlagen, welche die Sicherheit derAnlage gefährden können
- Verlust von nicht erdbebenfesten Hilfs- und Versorgungssystemen

[53] Entspricht einem Erdbeben mit einer Wiederkehrperiode von beispielsweise 10'000 Jahren. Es dürfen keine unzulässigen radiologischen Auswirkungen in der Umgebung der Anlage entstehen.

[54] Entspricht einem Erdbeben mit einer Wiederkehrperiode von 200 bis 400 Jahren. Als Stärke wird gemäss bisheriger Praxis 50% eines Sicherheitserdbebens angenommen.

Die spezifischen Gefährdungsannahmen und die Bewertungskriterien werden in einer Verordnung festgelegt. Die entsprechenden definitiven Sicherheitsanalysen werden mit dem Gesuch zur Betriebsbewilligung eingereicht.

Ergänzend zu den nationalen Gesetzen gibt es internationale Regelwerke und Vorschriften, welche die Erdbebenauslegung der Kernkraftwerke bestimmen. Seit dem Bau der ersten Kernkraftwerke hat sich der Stand von Wissenschaft und Technik basierend auf seismologischen, baudynamischen sowie materialtechnischen Forschungsarbeiten weiterentwickelt. Die Auslegung und entsprechende Nachweise des Kernkraftwerkes werden gemäss diesen Anforderungen unter Berücksichtigung des Standes von Wissenschaft und Technik erfolgen.

Im Gesuch zur Baubewilligung hat der Gesuchsteller zu zeigen, dass beim Bau eines neuen Kernkraftwerks die mittlere Kernschadenshäufigkeit für Störfälle nach Art. 8 der KEV (inklusive Erdbeben) höchstens 10^{-5} pro Jahr beträgt. Dazu ist gemäss Anhang 4 KEV eine probabilistische Sicherheitsanalyse (PSA) einzureichen.

3.7.7.2 Geplantes Vorgehen

Wie in Kapitel 3.7.3 dargelegt, verfügt der Standort Beznau über eine standortspezifische seismische Gefährdungsanalyse einschliesslich einer Bewertung der lokalen Störungssysteme. Die Standorteignung im Hinblick auf Gefährdung durch Erdbeben wurde nachgewiesen. Weiter wurde gezeigt, dass die Baugrundeigenschaften für den Bau eines Kernkraftwerks geeignet sind.

Somit sind die entsprechenden Bedingungen für die Rahmenbewilligung erfüllt.

Für die Auslegung der Anlage im Rahmen des Baubewilligungsgesuchs wird die seismische Gefährdung beschrieben und kategorisiert (Reaktortechnik R1). Daraus werden die Gefährdungsspezifikationen vorbereitet (Gesamtanlage G1) und in Ingenieurkenngrössen umgesetzt (Bautechnik B1). Die Baugrundeigenschaften werden festgelegt (Bautechnik B1) und die Ausrüstungen und Bauwerke klassiert (Systemtechnik S1; Bautechnik B1). Die vorläufigen Störfallanalysen werden durchgeführt (Reaktortechnik R2).

Im Rahmen der ersten Baufreigabe (Anhang 4 B2 KEV) werden Auslegungsspezifikationen, Bemessungskriterien, Belastungsannahmen, Tragwerksmodellierung, Befestigungskonzept und Etagenverhaltensspektren definiert. Für die mechanischen und elektrischen Ausrüstungen werden Auslegungsspezifikationen und Qualifikationsvorschriften vorbereitet und eingereicht (M2; E2). Die Spannungs- und Tragfähigkeitsnachweise für Bauten werden für die Baufreigabe eingereicht, die entsprechenden Nachweise für Ausrüstungen für die Freigabe der Inbetriebnahme.

3.7.7.3 Nachweismethoden

Für die unterschiedlichen Bauten und Ausrüstungen werden geeignete Nachweismethoden eingesetzt. Es stehen rechnerische, experimentelle und kombinierte Nachweismethoden zur Verfügung.

Erfahrungen in Kernanlagen bei Erdbeben (zum Beispiel der Kashiwazaki-Kariwa-Anlage in Japan) werden berücksichtigt.

Es kam am Standort der Kashiwazaki-Kariwa-Anlage als Folge des Niigata Erdbebens von 2007 zu grossen Ground-Motion-Amplituden, welche die Design-Beschleunigungen z.T. erheblich überschritten (PGA Werte von 0.3-0.68 g bei Design-Werten von 0.2-0.3 g). Diese Beschleunigungen waren im Niedrigfrequenzbereich und zeigten eine grosse Variation innerhalb des Standorts, was mit der unterschiedlichen Qualität der Lockergesteine und lokalen 3D-Wellenausbreitungs- und Interferenzeffekten erklärt wird ('site-effects'). Gemäss atuellem Stand der Erkenntnisse sind bezüglich der Bewertung der seismischen Gefährdungen kaum Lehren für den Standort Beznau aus der Erfahrung Kashiwazaki zu erwarten. Die Tektonik und die lokale Geologie sind in Kashiwazaki grundsätzlich anders als in Beznau.

Trotz der hohen Beschleunigungsamplituden gab es kaum Schäden an sicherheitsrelevanten Strukturen; z.T. stark beschädigt wurden allein nicht-sicherheitsrelevante Systeme und Komponenten, hauptsächlich durch Bodenversagen und differentielle Setzungen. Dass die sicherheitskritischen Teile der Anlage Beschleunigungen aushielten, die weit über den Auslegungswerten lagen, wird u.a. dem Umstand zugeschrieben, dass die Spitzen-beschleunigungen ausserhalb des hochfrequenten Teils des Spektrums auftraten. Wahrscheinlich ist, dass wenig konsolidierte tonige Sedimente unter den Fundamenten die hochfrequenten Ground-Motion Anteile stark gedämpft haben und sich das Maximum in Richtung der tiefen Frequenzen verschob.

Die Zugangsstrassen wurden durch Bodenversagen und differentielle Setzungen auch betroffen. Dies kann sicherheitsrelevant sein, falls nach einem Erdbeben Zugang zur Bekämpfung von Bränden oder andere Folgeschäden notwendig wird. Dies wird bei der Anlageauslegung berücksichtigt.

3.7.7.4 Standortverhältnisse

Als Vorbereitung für das Baubewilligungsgesuch werden weitere Felduntersuchungen am Standort EKKB durchgeführt (vgl. Kapitel 3.7.1.2.2), um die Baugrundeigenschaften mit der für die Detailauslegung der Bauten notwendigen Zuverlässigkeit festzulegen und Eingabeparameter für die Berechnung des Standorteffekts zu ermitteln.

Seismische Lasten für die Bauten und Ausrüstungen werden in erster Linie als Beschleunigungsantwortspektren und Beschleunigungszeitverläufe charakterisiert. Sie dienen als seismische Eingangsdaten für die zuvor erwähnten Nachweise.

3.8 Netzeigenschaften

3.8.1 Netzknoten Beznau

3.8.1.1 Generelle Beschreibung

Das Schweizerische Höchstspannungsnetz ist gekennzeichnet durch seine Vermaschung mit den Netzen der angrenzenden Länder. Dies gilt insbesondere für die Nordgrenze zu Deutschland. Die physische Netzanbindung ist in diesem Bereich ausgeprägt. Dabei nehmen die Unterwerke Laufenburg, Beznau und Breite eine führende Rolle ein. Das Unterwerk Beznau liegt geografisch zentral in der Mitte. Die 380 kV-Freiluftschaltanlage verfügt über vier Leitungsfelder mit den Gegenstationen Leibstadt, Tiengen (D), Laufenburg und Breite. Das Potenzial zur Leistungssteigerung des 380 kV-Netzknotens Beznau ist noch nicht ausgeschöpft. Zusätzliche Verbindungen sind möglich.

Auf der Spannungsebene 220 kV weist die in Freilufttechnik erstellte Schaltanlage Beznau insgesamt dreizehn Felder auf. Vier dienen der Einspeisung der im Kernkraftwerk Beznau produzierten elektrischen Energie, sechs sind Leitungsfelder; zwei Transformatorenfelder stellen die Anspeisung des überregionalen Verteilnetzes sicher und mit einem Feld können die Sammelschienen gekuppelt werden. Mit den Verbindungen zu den Gegenstationen Birr, Breite (2x), Laufenburg, Regensdorf und Tiengen (D) verfügt Beznau über einen starken Anschluss an das 220 kV-Netz. Die Netzebenen 380 kV und 220 kV sind am Standort Beznau entkoppelt. Die nächsten 380/220 kV-Transformationen befinden sich in Laufenburg, Tiengen (D) und Breite.

Die NOK betreiben zusammen mit den Kantonswerken der Nordostschweiz (AEW, EKZ, SAK, EKS und EKT) ein überregionales Verteilnetz, über das rund 2 Mio. Einwohner mit elektrischer Energie versorgt werden. Dieses Netz wird parallel betrieben und hat einen hohen Vermaschungsgrad. Die 50 kV-Schaltanlage Beznau ist Teil dieses weit verzweigten Netzes und verfügt über insgesamt fünfzehn Felder, davon sechs Leitungsfelder. Die restlichen Felder stehen in Zusammenhang mit der Bewirtschaftung des regionalen Kraftwerkparks, insbesondere der Wasserkraft. Zusätzlich wird über die Anlage die regionale Elektrizitätsversorgung sichergestellt.

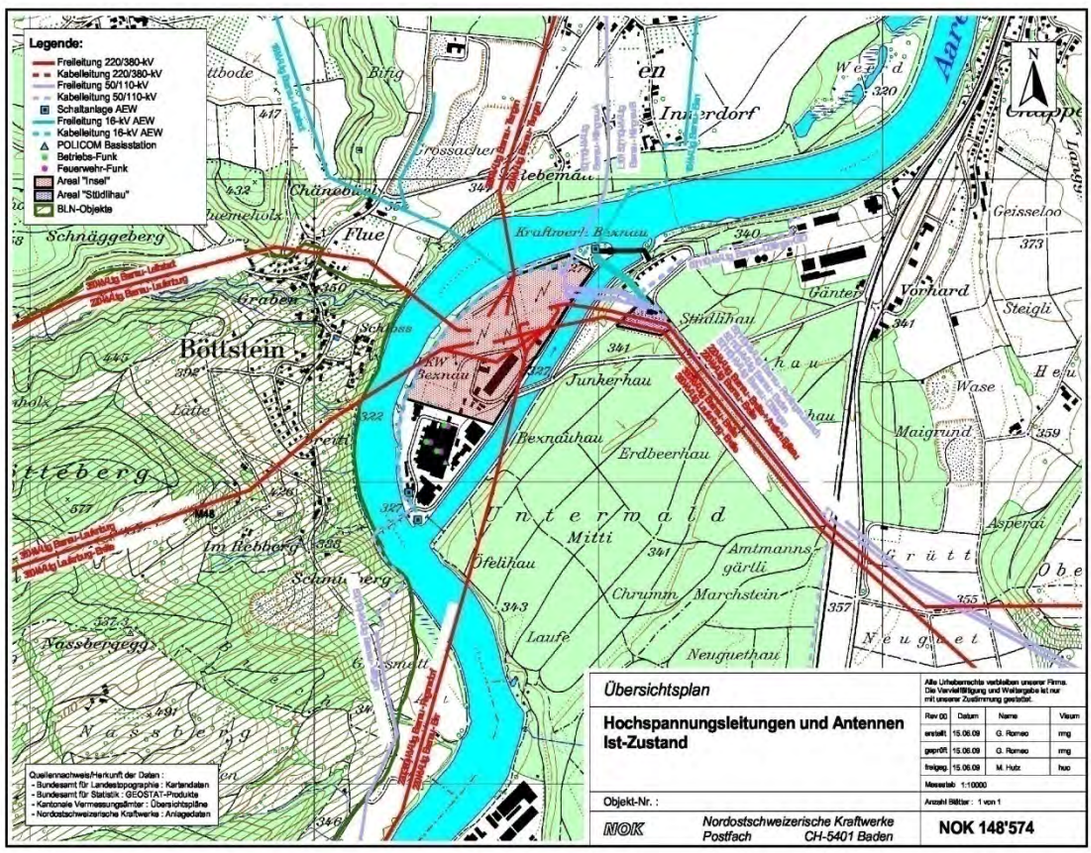
Seit Anfang der 1980er Jahre erfolgt in Etappen die Umstellung des 50 kV-Netzes auf 110 kV. Die Spannungserhöhung ermöglicht eine Verdoppelung der Übertragungsleistung, eine bessere Kurzschlussfestigkeit, die Reduzierung der Netzverluste und einen Ausbau der Transformations Kapazitäten. Die Netzumstellung im Unteren Aaretal und damit in Beznau ist ab 2011-2020 geplant.

Zusätzlich stellt das AEW Energie AG (AEW) mit dem Betrieb einer 16 kV-Schaltanlage die regionale Versorgung sicher.

Wie diese Ausführungen zeigen, befinden sich am Standort Beznau umfangreiche Netzanlagen verschiedenster Spannungsebenen [380 kV, 220 kV, 50/110 kV und 16 kV]. In Bezug auf Netzstörungen bestehen sowohl horizontal und zum Teil auch vertikal mehrere Redundanzstufen. Die einspeisenden Wasserkraftwerke an Aare und Rhein tragen zusätzlich zur Gewährleistung der sicheren Versorgung bei.

Abbildung 3.8-1 zeigt den Ist-Zustand der Hochspannungsleitungen um Beznau.

Abbildung 3.8-1: Hochspannungsleitungen um Beznau, Ist- Zustand



3.8.1.2 Anschlusskapazitäten

Das 380 kV-Netz dient primär zur Sicherstellung der Transportfunktion über lange Strecken (Internationaler Verbund) und für den Netzanschluss von Grosskraftwerken mit hoher Leistung. Wie beschrieben verfügt der Netzknoten Beznau über eine starke Einbindung sowohl in das 380 kV- wie auch in das 220 kV-Netz. Die vier angeschlossenen 380 kV-Leitungen besitzen zusammen eine installierte Transportleistung von rund 5'800 MWe. Die elektrische Nettoleistung von EKKB wird 1'450 MWe mit einer Toleranz von rund plus / minus 20 Prozent betragen. Die redundante Abführung einer Leistung an der oberen Grenze dieses Toleranzbereichs ist damit über die bestehende Netzkonfiguration mehr als (n-1)-sicher gewährleistet. Zusätzlich besteht, wie eingangs erwähnt, die Möglichkeit, die Leistungsfähigkeit des 380 kV-Netzknotens Beznau bei Bedarf zu steigern.

Die Einspeisung des Kernkraftwerks Leibstadt (KKL) stellt kein Problem dar. Die Ausgestaltung des elektrischen Netzsystems erlaubt diese Ballung von Stromerzeugungsanlagen für die im Vordergrund stehenden Leistungsklassen. Die Konfiguration ist in ihren Grundzügen vergleichbar mit Mehrblockanlagen im Ausland. Der Ausfall beider Blöcke (KKL und EKKB) würde durch das europäische UCPTE-Netz mit einer installierten Kraftwerksleistung von über 350 GWe aufgefangen.

Gemäss Planung ist vorgesehen, das schweizerische 380 kV-Netz massgeblich auszubauen und zu verstärken. Diese Massnahmen erfolgen mehrheitlich zu Lasten des 220 kV-Netzes, welches in der Zukunft praktisch ausschliesslich für die grossflächige Anspeisung der überregionalen Verteilnetze zum Einsatz kommt. Die Arbeitsgruppe Leitungen und Versorgungssicherheit (Bund, Überlandwerke und Interessenverbände) hat für das Schweizerische Höchstspannungsnetz die entsprechenden Ausbauvorhaben identifiziert und in einem Ausbauzustand 2015 festgehalten. Die Entwicklung geht klar in Richtung 380 kV-Netz, was einem international resp. in der EU feststellbaren Trend entspricht. Die Anbindung grosser Produktionsanlagen an diese Netzebene ist damit zukunftsgerichtet.

Die durch das bestehende Kernkraftwerk Beznau (KKB 1 und 2) in das 220 kV-Netz eingespeiste elektrische Leistung beträgt rund 730 MW. Der Abtransport wird über sechs Leitungen sichergestellt. Die Produktionsleistung (Netto) bleibt in der Nordostschweiz und dient weitgehend zur Versorgung der örtlichen Kunden. Bereits im Unterwerk Beznau erfolgt eine Ausspeisung in das überregionale 50/110 kV-Verteilnetz.

Die Netzebenen 380 kV und 220 kV sind am Standort Beznau entkoppelt. Die Leistungsfähigkeit der Systeme wird horizontal sichergestellt. Die Einspeisung einer grossen Produktionsleistung in das 380 kV-Netz steht in keinem unmittelbaren Zusammenhang mit den anderen Netzebenen.

Das 50/110 kV-Netz der NOK ist das grösste Verteilnetz dieser Art in der Schweiz. Es ist leistungsfähig und verfügt aufgrund des hohen Vermaschungsgrades über entsprechende Netzredundanzen. Die heutigen Anschlüsse der Eigenbedarfsanspeisungen und der Notstandsysteme für das Kernkraftwerk Beznau (KKB 1 und 2) sind an die 50 kV-Schaltanlage realisiert. Seit über 25 Jahren hat sich diese Lösung bestens bewährt.

Wie beschrieben, wird das 50 kV-Netz schrittweise auf 110 kV umgestellt. Die angeschlossenen Systeme müssen entsprechend umgebaut werden. Dabei steht die Gewährleistung der Versorgungssicherheit im Vordergrund. Es ist davon auszugehen, dass bis zur Inbetriebnahme des EKKB am Standort Beznau die 50 kV-Spannungsebene vollständig durch die höhere Betriebsspannung von 110 kV abgelöst sein wird. In jedem Fall wird die 110 kV-Netzausdehnung erheblich sein und die Anforderungen an Redundanzen und Leistungsfähigkeit erfüllen. Eine zusätzliche Eigenbedarfs- / Notanspeisung von z.B. 50-80 MVA tangiert die Systemgrenzen in keiner Weise.

3.8.2 Netzverfügbarkeit

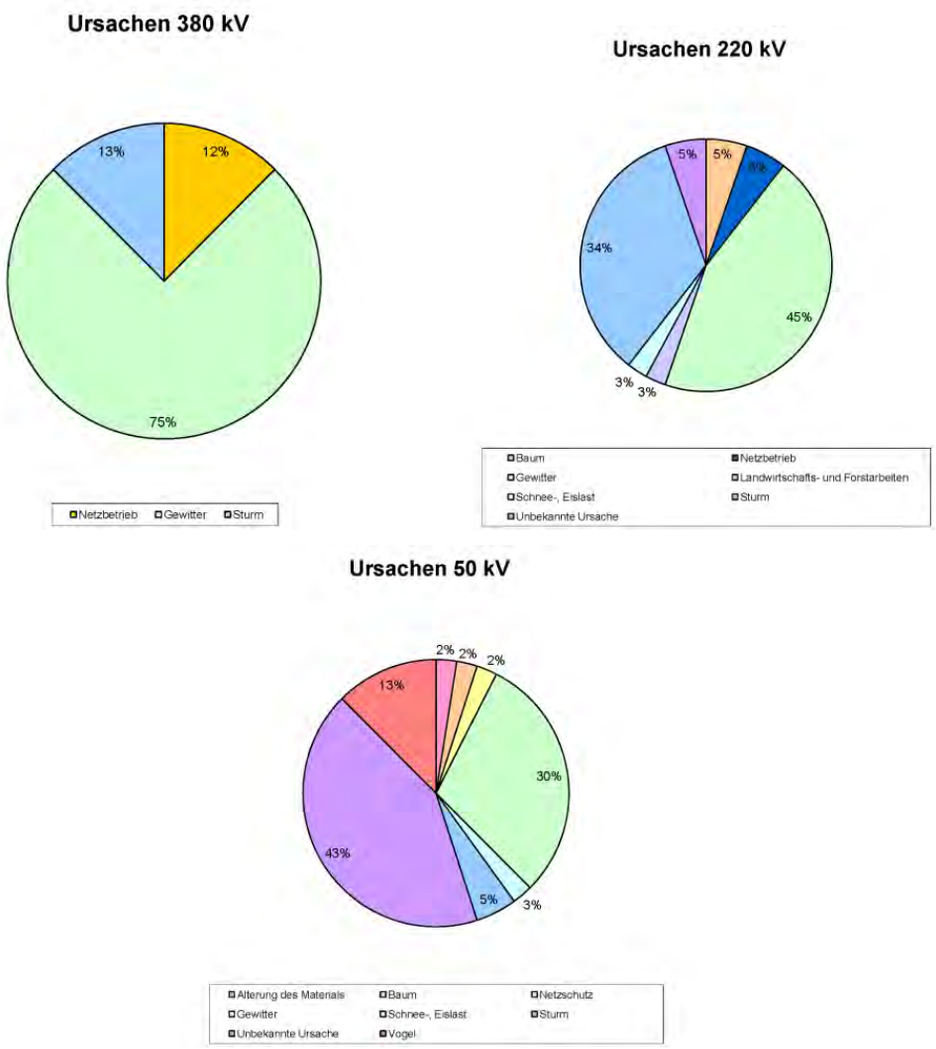
Tabelle 3.8-1 und Abbildung 3.8-2 zeigen die Auswertung der "Nichtverfügbarkeitsstatistik" für den Standort Beznau zwischen dem 01.01.1998 und dem 10.01.2008 (Tabelle 3.8-1 und Abbildung 3.8-2). Im besagten Zeitraum von zehn Jahren kam es nie zu einem Ausfall einer Transformation, weshalb die Tabelle auch gleich der Nichtverfügbarkeit der Leitungen ab Beznau entspricht.

Tabelle 3.8-1: Nichtverfügbarkeitsstatistik

Spannungs-ebene	Anzahl Störungen	erfolgreiche AWE *	bleibende Störungen	Dauer (Median) **
380 kV	16	15	1	2 min
220 kV	38	26	12	7 min
50 kV	40	26	14	11 min

* AWE: automatische Wiedereinschaltung
** Median: genau die Hälfte aller Störungen dauerte weniger lang / länger als der angegebene Wert

Abbildung 3.8-2: Auswertung der Nichtverfügbarkeitsstatistik für den Standort Beznau zwischen dem 01.01.1998 und dem 10.01.2008



Quelle: NOK-Netze

Die Netzstatistik zeigt, dass die 380 kV-Netzebene im Raum Beznau sicher ist. In zehn Jahren sind nur 16 Leitungsabschaltungen erfolgt. Dabei konnte nur eine Störung nicht durch die automatische Wiedereinschaltung behoben werden. Durch die effiziente Arbeit der zentralen Netzleitstelle war es möglich, die Leitung bereits nach 2 Minuten wieder zuzuschalten. 87% der Störungen sind durch Gewitter und Sturm bedingt.

Die Spannungsebenen 220 kV und 50 kV weisen in der betrachteten Zeitperiode 38 resp. 40 Leitungsabschaltungen auf. In ⅔ der Fälle war die automatische Wiedereinschaltung erfolgreich. Rund ⅓ bildeten bleibende Störungen. Bezogen auf den Medianwert ergaben sich Leitungsausschaltdauern von 7 und 11 Minuten. Wie den obigen Diagrammen entnommen werden kann, waren die Störungsursachen gegenüber dem 380 kV-Netz vielfältiger. Bekannterweise steht die Anzahl der Störungen in einem erheblichen Zusammenhang mit der Länge der Isolationsstrecke (Isolationskoordination).

3.8.3 Externe Ereignisse

Netzstörungen können zu einer Beeinträchtigung oder zum Verlust der externen Stromversorgung führen.

Im Falle z.B. eines Blitzschlages, welcher einen Ausfall in einer Spannungsebene zur Folge haben könnte, muss der Eigenbedarf weiterhin durch eine zweite redundante Einspeisung auf einer anderen Spannungsebene sichergestellt werden.

Zusätzlich wird die Anlage, aufgrund der Möglichkeit von Ereignissen, welche alle Redundanzen der externen Stromversorgung betreffen könnten (z.B. schwere Erdbeben), über eine interne Notstromversorgung verfügen. Diese wird in einem solchen Fall die wichtigsten elektrischen Verbraucher versorgen, damit die Anlage in einem sicheren Zustand bleibt.

Eine mögliche Einbindung des hydraulischen Kraftwerks Beznau (HKB) als diversitäre (Langzeit-) Stromversorgung im Rahmen von Accident Management Massnahmen wird grundsätzlich bei der Auslegung der Anlage in Betracht gezogen. Die möglichen Vorteile einer solchen Einbindung und deren Machbarkeit werden beim Erstellen des Konzeptes für die Netzanbindung der Anlage im Rahmen der Bau- bzw. Betriebsbewilligung geprüft.

Entsprechend Art. 8 Abs. 1 KEV sind Massnahmen gegen Störfälle zu treffen. Dies trifft bei der Gestaltung der externen Stromversorgung und bei der Bereitstellung einer Notstromversorgung zu. Die Anlage wird in dieser Hinsicht so ausgelegt dass alle Sicherheitskriterien eingehalten werden können. Die Voraussetzungen dafür sind am Standort Beznau vorhanden. Die entsprechenden Nachweise werden beim Gesuch zur Baubewilligung erbracht, wie in Anhang 4 der KEV verlangt wird.

3.8.4 Beurteilung des Standorts im Hinblick auf Netzanbindung

Der Standort Beznau ist für den 380 kV-Netzanschluss eines Kernkraftwerks der neuesten Generation gut geeignet. Aufgrund der vorhandenen Ausgestaltung des Netzes und der zugehörigen Schaltanlagen mit den getrennten Einspeiseebenen 380 kV und 220 kV ist der Parallelbetrieb[55] des EKKB mit den bestehenden Blöcken des KKB 1 und 2 gegeben. Systemübergreifend wird davon ausgegangen, dass eine grosse Produktionsleistung der Kraftwerke in der Schweiz oder hohe Transitlastflüsse, allenfalls auch in Kombination, nicht zu inländischen Engpässen resp. zu Engpässen bei grenzüberschreitenden Leitungen führen.

Bezüglich des Anschlusses und der Versorgung von Eigenbedarfs- und Notsystemen bestehen genügend Netzkapazitäten im überregionalen Verteilnetz. Aufgrund der Netztopologie sind umfangreiche Redundanzen vorhanden. Falls notwendig, können zusätzliche Anforderungen mit der Realisierung von zielgerichteten Massnahmen erfüllt werden.

Die Systemverfügbarkeit des Netzknotens Beznau ist sehr hoch zu bewerten, wie die Netzstatistik unter Kapitel 3.8.2 zeigt. Die Spannungsebenen 380 kV, 220 kV und 50 kV waren in keiner Phase an ihren Systemgrenzen resp. in der Nähe eines instabilen Zustandes. Eine besonders hohe Verfügbarkeit weist die Betriebsspannung 380 kV auf. Auch die Ebenen 220 kV und 50 kV waren nur von einzelnen Leitungsausschaltungen betroffen, wobei die Mehrheit durch die automatische Wiedereinschaltung behoben werden konnte. Ein Unterbruch der elektrischen Energielieferung ist in keinem Fall erfolgt. Auch sind keine Auswirkungen seitens Netze auf den Betrieb der Kernkraftwerke Beznau 1 und 2 resp. der regionalen Wasserkraftwerke registriert worden.

Der Anschluss von KKB 1 und 2 am neuen Unterwerk im Stüdlihau wird in einem separaten Projekt behandelt. Die Energieableitung wird weiterhin auf der 220 kV-Spannungsebene erfolgen. Die Verlegung der Leitungen von KKB 1 und 2 für den Anschluss am neuen Unterwerk hat keinen Einfluss auf die Netzanbindung von EKKB.

3.8.5 Umsetzung bei der Auslegung

Bei der Verlegung der Freiluftschaltanlage ins Stüdlihau als gasisolierte Schaltanlage (GIS) werden zusätzlich zu den bestehenden Anschlusskapazitäten auch die Anschlussmöglichkeiten für EKKB eingeplant. Dabei ist vorgesehen, die Energieableitung auf der 380 kV-Ebene zu realisieren.

Der Eigenbedarf der Anlage wird im Normalbetrieb direkt über den in der Anlage, durch die Turbogruppe erzeugten Strom, gedeckt. Hierfür sind zwei redundante Einspeisungen vorgesehen. Beim An- und Abfahren, im Stillstand oder im Falle einer Nichtverfügbarkeit der Turbogruppe, wird der Eigenbedarf aus dem Hauptnetz, voraussichtlich über die 380 kV-Ebene, gedeckt. Neben der normalen Anspeisung des Eigenbedarfs aus der Turbogruppe bzw. bei offenem Leistungsschalter aus dem Hauptnetz, sollen zwei weitere externe Einspeisungen auf der 220 kV-Ebene und / oder der 110 kV-Ebene vorhanden sein.

[55] Die NOK ist bestrebt, das bestehende KKB nach Inbetriebnahme des EKKB so rasch wie möglich ausser Betrieb zu nehmen. Ein paralleler Leistungsbetrieb der beiden Anlage ist aus heutiger Sicht möglicherweise erforderlich, um die Versorgungssicherheit für NOK und die am EKKB beteiligten Partner in der ersten Phase nach Inbetriebnahme des EKKB weiterhin gewährleisten zu können.

Detaillierte Angaben zur Auslegung der externen Stromversorgung und Anbindung im Starkstromnetz werden im Sicherheitsbericht zur Bau- bzw. Betriebsbewilligung entsprechend den Anforderungen der Kernenergieverordnung Anhang 4 dargelegt.

Die Anforderungen an die interne Stromversorgung sind in der Kernenergieverordnung Art. 10 und in der HSK-Richtlinie HSK-R-101 (bzw. der neuen Richtlinie G02) festgelegt. Zusätzlich zu den nationalen gesetzlichen Vorgaben werden auch internationale Richtlinien (z.B. EUR) berücksichtigt. Die entsprechenden Systemkonzepte und vorläufigen Systemspezifikationen werden beim Baubewilligungsgesuch eingereicht. Die definitiven Systemspezifikationen für Sicherheitssysteme werden im Rahmen der ersten Baufreigabe eingereicht.

3.9 Unbefugte Einwirkungen (UEW)

Das Thema wird im Sicherungsbericht behandelt.

3.10 Übrige Ereignisse

In diesem Kapitel werden alle externen Ereignisse behandelt, welche in der Tabelle 2.4-1 aufgelistet sind und in Kapitel 3.2-3.9 nicht behandelt werden. Es sind dies vor allem Ereignisse, welche in der Tabelle 2.4-1 in Gruppe 4 eingeteilt sind. Diese Ereignisse sind am Standort aufgrund der geografischen Lage nicht relevant oder führen aufgrund der Auslegung zu keinen Störfällen.

Die Ereignisse Tsunami / Hurrikan / Zyklon, Vulkanausbruch, Sandsturm, Gletscheraktivität, Lawine, Sturm-Brandung sind aufgrund der geografischen Lage des Standorts Beznau als Gefährdung auszuschliessen.

Nebel kann die Häufigkeit von Ereignissen durch Land-, Wasser- oder Luftfahrzeuge beeinflussen. Dieser Effekt ist in den entsprechenden Unfallstatistiken berücksichtigt. Unfälle von Land- und Wasserfahrzeugen werden in Kapitel 3.3 beschrieben und stellen keine Gefährdung dar. Flugzeugabstürze werden ebenfalls in Kapitel 3.3 behandelt. In den statistischen Daten für Flugzeugabstürze werden die Ursachen nicht weiter aufgeschlüsselt, der Einfluss von Nebel ist in diesen Daten aber bereits enthalten.

Frost wird durch die Ereignisse Schnee und Vereisung (Wasser und Reifbildung) dominiert. Diese Ereignisse sind in Kapitel 3.4 behandelt. Direkte Einflüsse von Frost sind nicht zu erwarten.

Wellengänge aufgrund von starken Winden sind am Standort nicht relevant. Erdrutsche talaufwärts, welche zu einem erhöhten Wellengang in der Aare flussaufwärts führen, sind für die Überflutung der Insel nicht massgebend. Die für die Überflutung relevanten Szenarien wurden im Zusammenhang mit der durchgeführten Überflutungsanalyse identifiziert und werden in Kapitel 3.5 beschrieben.

Externe Brände / Waldbrand werden durch die Auslegung der Anlage gegen Flugzeugabsturz abgedeckt.

Elektromagnetische Interferenzen von Quellen ausserhalb der Anlage können eine Auswirkung auf ungeschützte elektrische Einrichtungen haben. Elektrische Einrichtungen, deren Fehlfunktion Auswirkungen auf die Sicherheit haben können, werden deshalb gegen elektromagnetische Interferenzen von verschiedenen externen Quellen ausgelegt oder geschützt.

Das Ereignis Terrorismus fällt unter den Schutz gegen unbefugte Einwirkungen (UEW) und wird, wie in Kapitel 3.9 erwähnt, im separaten Sicherungsbericht behandelt.

Die Auswirkung eines Meteoriteneinschlages nimmt mit der Grösse des Meteoriten zu, während gleichzeitig die Häufigkeit von Meteoriteneinschlägen mit der Grösse der Meteoriten abnimmt. Im Rahmen der Überwachung erdnaher Objekte (Near Earth Objects – NEO) werden im Spaceguard Survey Report der NASA zu erwartende Häufigkeiten von Meteoriteneinschlägen in Abhängigkeit von der Meteoritengrösse angegeben [61]. Gemäss diesen Angaben erreichen lediglich Meteoriten, die einen Durchmesser grösser als etwa 10 m haben, die Erdoberfläche. Die Wahrscheinlichkeit für einen Meteoriteneinschlag dieser Grösse liegt bei etwa 2 Ereignissen in 10 Jahren. Meteoriten dieser Mindestgrösse erreichen den Erdboden, haben allerdings nur lokale Auswirkungen. Der Meteorit, der 1908 in Tunguska (Sibirien) einschlug, hatte einen Durchmesser von etwa 60 m und zerstörte eine Waldfläche von ungefähr 2'000 km^2. Dies entspricht einer Zone

mit 25 km Radius. Die Wahrscheinlichkeit eines solchen Meteoriteneinschlags wird in der genannten Studie mit etwa 2E-03 pro Jahr angegeben.

Nimmt man konservativ an, dass gefährliche Meteoriten mit einer Häufigkeit von 0.1 pro Jahr irgendwo auf der Erdoberfläche auftreten und beim Einschlag in einem Gebiet von 10 km Radius um den Standort zu einer wesentlichen Gefährdung führen, so ergibt sich unter der Annahme, dass die Einschläge auf der Erdoberfläche (510 Mio. km^2) gleich verteilt sind, eine Häufigkeit einer Gefährdung des Standorts Beznau von etwa 6E-08 pro Jahr.

Dieser selbst unter den konservativen Häufigkeitsannahmen sehr kleine Wert rechtfertigt es, diese Gefährdung von der weiteren Betrachtung auszuschliessen.

Der Absturz eines Satelliten ist ähnlich zu bewerten wie ein Meteoriteneinschlag. Allerdings ist die Grösse von Satelliten beschränkt. Das Schadensgebiet bei einem Satellitenabsturz wäre daher um Grössenordnungen geringer als die für Meteoriteneinschläge berücksichtigte Zone.

Ebenso wie andere erdnahe Objekte werden Satelliten überwacht. Ein drohender Absturz wäre daher vorhersehbar und es wäre möglich, geeignete Vorsorgemassnahmen bei einem akut bevorstehenden Absturz mit einer erhöhten Gefährdung des Standortes einzuleiten.

Satellitenabsturz wird daher für die Gefährdung des EKKB nicht weiter untersucht.

Die unter Kapitel 3.10 beschriebenen Ereignisse stellen am Standort keine Gefährdung dar.

3.11 Zusammenfassung

Insgesamt zeichnet sich der Standort Beznau für den Bau und Betrieb des EKKB durch günstige Eigenschaften aus:

- Die Bevölkerungsverteilung in der Umgebung des Standorts und deren Entwicklung zeigen keine für Kernkraftwerksstandorte ungünstigen Besonderheiten. Dies gilt auch im Hinblick auf die Machbarkeit von Notfallschutznassnahmen entsprechend den gültigen Verordnungen (Notfallschutzverordnung [65] und VEOR [64]).
- Es gibt keine Industrieanlagen in Standortnähe, welche eine Gefährdung für die Anlage EKKB darstellen. Das gleiche gilt für die Benutzung der Strassen bzw. Bahnlinien. Eine 28"/70-bar-Erdgashochdruckleitung liegt im Minimum in einer Entfernung von 1.4 km vom Standort. Auch im unwahrscheinlichen Fall eines Versagens bedeutet diese Leitung keine Gefahr für EKKB. Eine grundsätzliche Veränderung des Risikos von Industrieanlagen und Verkehrswegen auf dem Boden ist nicht zu erwarten. Bei der Auslegung von EKKB müssen bedingt durch den niedrigen Abstand allfällige Gefährdungen ausgehend vom Betrieb der Kernkraftwerke KKB 1 und 2 berücksichtigt werden.
- Der Standort liegt ca. 24 km vom Flughafen Zürich-Kloten und ca. 56 km vom Flughafen Basel-Mülhausen entfernt. Die rechnerisch ermittelte Wahrscheinlichkeit eines Flugzeugabsturzes im Zeitraum 2007-2030 ist tief und stellt die Standorteignung heute und in Zukunft nicht in Frage. Die Anlage wird gegen die Konsequenzen von solchen Ereignissen ausgelegt.
- Die meteorologischen Bedingungen am Standort sind ausreichend dokumentiert und bewertet. Das Klima entspricht den typischen mitteleuropäischen Verhältnissen für eine niedrige Höhenlage und ist grundsätzlich geeignet für den Bau und Betrieb eines Kernkraftwerks. Bedingt durch die Tallage im Mittelland bestehen relativ oft Bedingungen mit einem Risiko von Vereisung von luftbeaufschlagten Komponenten. Dies muss bei der Auslegung berücksichtigt werden, stellt aber die Standorteignung nicht in Frage.
- Die Häufung und wo zutreffend die Intensität klimainduzierter Ereignisse wie Blitzschlag, Sturmböen, Tornados und Extremwetterbedingungen wurden analysiert. Die Anlage wird gegen deren Konsequenzen ausgelegt.
- Am Standort sind ausreichende Mengen Flusswasser für sicherheitsrelevante Kühlzwecke und für nicht sicherheitsrelevante Anwendungen vorhanden. Die Schwankungsbreiten der Flusswassertemperaturen liegen im üblichen Rahmen für mitteleuropäische Bedingungen und werden bei der Auslegung von Kühlsystemen berücksichtigt. Im Winter und im Sommer kann Niedrigwasser auftreten. Dies wurde bei der Auswahl des Hauptkühlsystems berücksichtigt und wird ebenfalls bei der Auslegung weiter betrachtet.
- Bedingt durch die Tallage und niedrige Höhenkote der Insel gegenüber dem Aare-Pegelstand ist eine Überflutung von Teilbereichen der Insel bei Hochwasser möglich. Dies muss bei der Anlageauslegung und beim Schutz gegen Überflutung besonders betrachtet werden. Gegenmassnahmen sind aber verfügbar und die Standorteignung ist selbst bei der Betrachtung eines 10'000-jährigen Hochwasserereignisses nicht in Frage gestellt. Eine mögliche Überflutung als Folge von Dammbrüchen wurde analysiert, ist aber nicht so gravierend wie die Hochwasserereignisse.

- Die Grundwasserverhältnisse in Standortnähe sind sehr gut bekannt und ausführlich dokumentiert. Der Standort verfügt über eine ausreichende Ergiebigkeit für alle zurzeit vorgesehenen und postulierten Kühlzwecke und andere Anwendungen. Die Grundwassertemperaturen und deren Entwicklung sind bekannt und dokumentiert. Sie liegen innerhalb des für die Auslegung der Kühlsysteme üblichen Rahmens. Die Grundwasserverhältnisse am Standort sind deshalb für den Bau und Betrieb eines Kernkraftwerks geeignet.
- Am Standort Beznau ist der Wissensstand über die Geologie und die Baugrundeigenschaften, dank einer über Jahrzehnte aufgebauten Datenbasis, ausserordentlich hoch. Dasselbe gilt für die Kenntnisse über die seismische Gefährdung, welche sich auf eine aufwändige und technisch fortschrittliche standortspezifische seismische Gefährdungsanalyse abstützen. Es sind keine lokalen tektonischen Störungen, welche durch die Insel Beznau verlaufen, bekannt. Somit ist das Potenzial für Oberflächenverschiebungen vernachlässigbar. Die Baugrund Eigenschaften sind grundsätzlich günstig. Es wurde kein Potenzial für Bodenverflüssigung festgestellt und die Tragfähigkeit wird als gut befunden. Gemäss Gefährdungskarte des Schweizerischen Erdbebendienstes liegt Beznau in einer für schweizerische Verhältnisse seismisch ruhigen Zone. Die von der seismischen Gefährdungsanalyse ermittelten standortspezifischen Beschleunigungen sind vergleichbar mit der Gefährdung in anderen Gebieten schwacher bis mittlerer seismischer Aktivität, wie etwa dem östlichen und zentralen Teil der USA. Lokale, an der Oberfläche kartierbare Störungen haben kaum Einfluss auf die seismische Gefährdung. Der Standort ist im Hinblick auf Geologie, Baugrund und seismische Gefährdung für den Bau und Betrieb des EKKB geeignet.
- Der Standort Beznau liegt zentral im schweizerischen Hochspannungsnetz. Die 380 kV-Freiluftschaltanlage verfügt über vier Leitungsfelder mit den Gegenstationen Leibstadt, Tiengen (D), Laufenburg und Breite. Es bestehen auch Netzanlagen auf 220 kV, 50 kV und 10 kV. Das 50 kV-Netz wird auf 110 kV umgestellt. Die Anschlusskapazitäten sind hoch und die redundante Abführung einer Leistung von 1'450 MWe mit einer Toleranz von rund plus / minus 20 Prozent ist über die bestehende Netzkonfiguration gewährleistet. Die Analyse der Netzstatistik hat ebenfalls gezeigt, dass die 380 kV-Ebene im Raum Beznau besonders sicher ist. Auf die Ebenen 220 kV und 50 kV waren die Anzahl Störungen etwas höher, wobei die Mehrheit durch die automatische Wiedereinschaltung behoben werden konnten. Die Netzanbindung am Standort Beznau ist aus all diesen Gründen bestens geeignet für den Betrieb eines grossen Kernkraftwerks wie EKKB.
- Die Standorteignung bezüglich Sicherung wird im Sicherungsbericht beschrieben und bewertet. Der Standort ist geeignet.
- Der Standort ist mit verschiedenen Verkehrsmitteln und redundant vorhandenen Verbindungsstrassen für die Bau- und Betriebsphasen gut erschlossen.

4 Strahlenschutz und Strahlenexposition

4.1 Einleitung

Aus diesem Kapitel geht die voraussichtliche Strahlenexposition in der Umgebung der Anlage hervor, wie in Art. 23 lit. a Ziff. 4 KEV verlangt wird. Das Kapitel geht ausschliesslich auf die Belastung durch ionisierende Strahlung ein. Die Belastung durch nicht ionisierende Strahlung ist Gegenstand des Berichtes zur Umweltverträglichkeit [62].

Insgesamt ist zu erwarten, dass die Abgaben des EKKB im Normalbetrieb und damit auch die voraussichtliche Strahlendosis in der Umgebung der Anlage vergleichbar sein werden mit den bestehenden modernen Kernkraftwerken in der Schweiz (KKG und KKL).

Kapitel 4.2 fasst die gesetzlichen Anforderungen zum Thema Strahlenschutz und Strahlenexposition zusammen.

Kapitel 4.3 behandelt die Rechtfertigung und Optimierung der Strahlenexposition.

Der Schutz von Mensch und Umwelt innerhalb des umzäunten Areals wird durch Massnahmen des operationellen Strahlenschutzes gewährleistet. Das Kapitel 4.4 behandelt den Schutz von Personen innerhalb der Anlage.

Kapitel 4.5 behandelt den Schutz von Mensch und Umwelt gegen eine unzulässige Freisetzung radioaktiver Stoffe bei Normalbetrieb und bei Betriebsstörungen sowie vor Direktstrahlung ausserhalb des Betriebsareals.

Die radiologischen Konsequenzen von Störfällen werden erst beim Gesuch zur Baubewilligung detailliert analysiert und bewertet. Kapitel 3 diskutiert allerdings Ereignisse und resultierende Störfälle, bei denen interne und externe Strahlenexposition ein Kriterium für die Bewertung dieser Störfälle darstellen. Aus dem Gesuch zur Rahmenbewilligung geht die voraussichtliche Strahlenexposition in der Umgebung der Anlage bei Normalbetrieb hervor.

4.2 Gesetzliche Anforderungen

4.2.1 Allgemeine Grundsätze

Die Grundsätze der nuklearen Sicherheit sind in Art. 4 KEG festgelegt. Bei der Nutzung der Kernenergie sind Mensch und Umwelt vor Gefährdungen durch ionisierende Strahlen zu schützen. Radioaktive Stoffe dürfen nur in nicht gefährdendem Umfang freigesetzt werden. Es muss insbesondere Vorsorge getroffen werden gegen eine unzulässige Freisetzung radioaktiver Stoffe sowie gegen eine unzulässige Bestrahlung von Personen im Normalbetrieb und bei Störfällen. Bei dieser Vorsorge sind die Langzeitfolgen auf das Erbgut zu berücksichtigen (Art. 4 Abs. 2 KEG). Weiter sind im Sinne der Vorsorge alle Vorkehrungen zu treffen, die nach der Erfahrung und dem Stand von Wissenschaft und Technik notwendig sind (Art. 4 Abs. 3 lit. a KEG) sowie – darüber hinausgehend – alle Vorkehrungen, die zu einer weiteren Verminderung der Gefährdung beitragen, soweit sie angemessen sind (Art. 4 Abs. 3 lit. b KEG).

Eine Tätigkeit, bei der Menschen oder die Umwelt ionisierenden Strahlen ausgesetzt sind (Strahlenexposition), darf nur ausgeübt werden, wenn sie sich mit den damit verbundenen Vorteilen und Gefahren rechtfertigen lässt (Art. 8 StSG). Das heisst, dass eine Tätigkeit im Sinne

von Art. 8 StSG gerechtfertigt ist, wenn die mit ihr verbundenen Vorteile die strahlungsbedingten Nachteile deutlich überwiegen und keine gesamthaft für Mensch und Umwelt günstigere Alternative ohne Strahlenexposition zur Verfügung steht (Art. 5 StSV).

Zudem müssen zur Begrenzung der Strahlenexposition jeder einzelnen Person sowie der Gesamtheit der Betroffenen alle Massnahmen ergriffen werden, die nach der Erfahrung und dem Stand von Wissenschaft und Technik geboten sind (Art. 9 StSG), wobei der Aufwand für eine Begrenzung der Strahlenexposition in einem vertretbaren Verhältnis zur erreichbaren Reduktion der Strahlenbelastung stehen soll (vgl. BBL 1988 193).

Die Abgabe luftgetragener und flüssiger Abfälle sowie die zugehörigen Kontrollmassnahmen sind ebenso in der Strahlenschutzverordnung StSV geregelt, wie die Abgabe fester Abfälle. Dies trifft ebenfalls zu für die Immissionsgrenzwerte und die Immissionsüberwachung durch den Betrieb. Diese Vorgaben sind im Wesentlichen erst später – für die Betriebsbewilligung – relevant.

Im Zusammenhang mit Störfällen sind zur Begrenzung der Strahlenexposition in der Umgebung der Anlage nebst der in der StSV erhobenen Forderung, geeignete Massnahmen zur Vermeidung von Störfällen zu treffen, auch die in der KEV gegebenen Anforderungen an die nukleare Sicherheit relevant. Dies insofern, als zur Beherrschung von Störfällen die Anlage derart auszulegen ist, dass keine unzulässigen radiologischen Auswirkungen in der Umgebung der Anlage entstehen. Dazu sind passive und aktive Sicherheitssysteme vorzusehen (Art. 7 lit. c KEV).

Für Störfälle, bei denen radioaktive Stoffe in gefährdendem Umfang freigesetzt werden könnten, sind zusätzlich vorbeugende und lindernde Vorkehrungen im technischen, organisatorischen und administrativen Bereich zu treffen (Art. 7 lit. d KEV). Weiter fordert die KEV das Treffen von Schutzmassnahmen gegen Störfälle mit Ursprung innerhalb oder ausserhalb der Anlage und den Nachweis, dass die in der StSV zur Störfallvorsorge gegebenen Dosisgrenzwerte (Art. 94 Abs. 2-5 StSV) eingehalten werden können (Art. 8 Abs. 4 KEV). Für den Fall, dass gefährliche Mengen radioaktiver Stoffe freigesetzt werden, sind Notfallschutzmassnahmen zur Begrenzung des Schadensausmasses vorzubereiten (Art. 5 Abs. 2 KEG). Konzepte für den Notfallschutz werden beim Gesuch zur Baubewilligung eingereicht (KEV Anhang 4). Für das Rahmenbewilligungsgesuch erfolgen Angaben zum Standort in Kapitel 3 und zu organisatorischen Aspekten in Kapitel 5.

4.2.2 Gesetzliche Anforderungen für das Rahmenbewilligungsgesuch

Gemäss Art. 14 lit. e KEG legt die Rahmenbewilligung die maximal zulässige Strahlenexposition für Personen in der Umgebung der Anlage fest. Damit ist der Quellenbezogene Dosisrichtwert (QBDR) im Sinne von Art. 7 StSV, gemäss Botschaft zum KEG (Kap. 8.4.1.3) gemeint. Gemäss Art. 23 lit. a Ziff. 3 KEV ist die voraussichtliche Strahlenexposition in der Umgebung der Anlage im Sicherheitsbericht zum Rahmenbewilligungsgesuch darzulegen. Dies gilt für den Normalbetrieb sowie für Betriebsstörungen.

Die voraussichtliche Strahlenexposition für Normalbetrieb und Betriebsstörungen wird in Kapitel 4.5.2 behandelt. Betriebsstörungen sind Ereignisse mit einer Häufigkeit von mehr als 10^{-1} pro Jahr. Im Normalbetrieb sowie bei Betriebsstörungen darf der in Art. 37 StSV festgelegte Dosisgrenzwert für Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung der Anlage (1 mSv pro Jahr) nicht überschritten werden.

Die voraussichtliche Strahlenexposition bei Störfällen mit einer Häufigkeit von weniger als 10^{-1} pro Jahr und mehr als 10^{-6} pro Jahr wird in Kapitel 2.4 diskutiert. Die Strahlenexposition ist eine der Limiten für die Bewertung der Störfallkonsequenzen. Die entsprechenden vorläufigen Nachweise für interne und externe Störfälle werden im Rahmen des Gesuchs zur Baubewilligung, gemäss KEV Art. 7 lit. c, Art. 8 und Anhang 4, erbracht. Die definitiven Analysen werden im Rahmen des Gesuchs zur Betriebsbewilligung erbracht.

Gemäss HSK-Richtlinie HSK-R-11 wird ein QBDR von 0.3 mSv pro Jahr für einen Standort festgelegt. Dieser Wert deckt die Exposition aus Direktstrahlung und aus Abgaben radioaktiver Stoffe ab.

Die Behörden können auch QBDR für individuelle Betriebe an einem Standort festlegen (HSK-R-11). Die Bewilligungsbehörde entscheidet, für welche Betriebe ein QBDR erforderlich ist und legt diesen fest (Art. 7 Abs. 2 StSV).

Die Immissionsgrenzwerte für die Direktstrahlung sind in Art. 102 StSV festgelegt. Die Immissionsüberwachung wird gemäss Art. 103 StSV durchgeführt.

Gemäss Art. 21 Abs. 1 lit. c KEG werden bei der Erteilung der Betriebsbewilligung die Limiten für die Abgaben von radioaktiven Stoffen an die Umwelt festgelegt. Somit ist die Einhaltung des QBDR gewährleistet.

4.2.3 Auslegungsgrundsätze für die Anlage hinsichtlich Strahlenschutz

Die Auslegung des EKKB ist strikt an die im KEG gegebenen Grundsätze der nuklearen Sicherheit gebunden. Insbesondere muss Vorsorge getroffen werden gegen eine unzulässige Freisetzung radioaktiver Stoffe sowie gegen eine unzulässige Bestrahlung von Personen im Normalbetrieb und bei Störfällen (Art. 4 Abs. 1 KEG). Dazu werden im Sinne der Vorsorge bereits bei der Anlagenauslegung alle Vorkehrungen getroffen, die nach der Erfahrung und dem Stand von Wissenschaft und Technik notwendig sind (Art. 4 Abs. 3 lit. a KEG). Weiter werden im gleichen Sinne Vorkehrungen getroffen, die zu einer weiteren Verminderung der Gefährdung beitragen, soweit sie angemessen sind (Art. 4 Abs. 3 lit. b KEG).

Bereits bei der Auslegung werden Schutzmassnahmen nach international anerkannten Grundsätzen getroffen, welche insbesondere den Einsatz qualitativ hochwertiger Bauteile, gestaffelte Sicherheitsbarrieren, die mehrfache Ausführung und die Automation von Sicherheitssystemen umfassen (Art. 5 Abs. 1 KEG).

Bei der Auslegung des EKKB werden, wie in der Kernenergieverordnung gefordert, aktive und passive Sicherheitssysteme vorgesehen, welche bei Störfällen unzulässige radiologische Auswirkungen in der Umgebung der Anlage verhindern (Art. 7 lit. c KEV). Weiter werden die gesetzlich vorgegebenen Grundsätze für die Auslegung von Kernkraftwerken konsequent umgesetzt (Art. 10 Abs. 1 KEV).

Die in der Strahlenschutzverordnung geforderte Optimierung (Art. 6, insbes. Abs. 1 StSV) wird – soweit anwendbar – bei der Auslegung des EKKB berücksichtigt, indem angemessene Lösungsvarianten bezüglich des Strahlenschutzes unter Berücksichtigung möglicher Störfälle bewertet werden und die Entsorgung von Strahlenquellen in Betracht gezogen wird. Dazu gehört insbesondere auch eine die Erfahrungen aus konkreten Stilllegungsprojekten nutzende

Optimierung hinsichtlich der dereinst vorzunehmenden Stilllegung des EKKB (vgl. Kapitel 7.2 Konzept für die Stilllegung EKKB [95]).

Die Auslegung des EKKB erfolgt derart, dass die in der Strahlenschutzverordnung gegebenen Immissionsgrenzwerte (Art. 102 StSV) beim späteren Betrieb eingehalten werden können und die dort geforderte Immissionsüberwachung (Art. 103 StSV) durch den Betrieb ordnungsgemäss erfolgen kann.

Bei der Auslegung des EKKB ist vorgesehen, dass den Strahlenschutzaspekten bereits in einem frühen Stadium des Anlagedesigns Rechnung getragen wird. Das gilt insbesondere für die gemäss KEV als Bestandteil der technischen Beschreibung des Baugesuches einzureichenden Konzepte für Radiologische Zonen, Abschirmung, Umgebungsüberwachung, Raum-, System- und Emissionsüberwachung, Notfallschutz, Abwasser, Abfallkonditionierverfahren und Zwischenlagerung von Abfällen. Bei der Evaluation dieser Konzepte wird dem Aspekt einer sauberen Trennung der kontrollierten Zone von der nicht kontrollierten Zone sowohl in baulicher Hinsicht als auch in Bezug auf Anlagesysteme besondere Beachtung zukommen.

4.3 Rechtfertigung und Optimierung der Strahlenexposition

Die Erzeugung elektrischer Energie mittels eines Kernkraftwerks ist mit einer gewissen Strahlenexposition verbunden. Für die Bevölkerung und die Umwelt ist aufgrund gesetzlich vorgeschriebener Massnahmen sichergestellt, dass die Strahlenexposition im Vergleich mit der natürlichen gering ist. Ebenso ist sichergestellt, dass die gesetzlichen Grenzwerte für die Strahlenbelastung des in der Anlage tätigen Personals eingehalten sind und damit die Strahlenexposition jeder einzelnen Person entsprechend dem Stand von Wissenschaft und Technik begrenzt ist. Mit dem Einhalten des Strahlenschutzgesetzes ist der Schutz von Mensch und Umwelt vor Gefährdungen durch ionisierende Strahlen (Art. 1 StSG) sichergestellt.

Laut Strahlenschutzgesetz darf eine Tätigkeit, bei der Menschen oder die Umwelt ionisierenden Strahlen ausgesetzt sind (Strahlenexposition), nur ausgeübt werden, wenn sie sich mit den damit verbundenen Vorteilen und Gefahren rechtfertigen lässt (Art. 8 StSG).

Im Sinne der internationalen Strahlenschutzkommission ICRP bedeutet Rechtfertigung ein Abwägen von Vor- und Nachteilen, von Nutzen und Risiko der mit Strahlenexpositionen verbundenen Tätigkeiten. Ein solches Abwägen erfolgt weitgehend qualitativ. Es kann höchstens teilweise quantifiziert werden und bleibt daher eine Ermessensfrage. So ist die Antwort auf die Frage, wie weit eine mit Strahlenexposition verbundene Tätigkeit überhaupt zulässig sei, letztlich ein politischer Entscheid. Nach Auffassung der ICRP ist die Rechtfertigung in einem allgemeinen Sinne dann gegeben, wenn der Gesetzgeber eine Tätigkeit gesetzlich geregelt hat. Die grundsätzliche Rechtfertigungsfrage ist dann nicht mehr für jede einzelne Bewilligung erneut zu stellen.

Somit ist die Rechtfertigung der durch das EKKB verursachten Strahlenexposition im Allgemeinen durch das Kernenergiegesetz gegeben, da dieses die friedliche Nutzung der Kernenergie regelt und insbesondere den Schutz von Mensch und Umwelt vor ihren Gefahren bezweckt (Art. 1 KEG).

Gemäss Strahlenschutzgesetz müssen zur Begrenzung der Strahlenexposition jeder einzelnen Person, sowie der Gesamtheit der Betroffenen, alle Massnahmen ergriffen werden, die nach der Erfahrung und dem Stand von Wissenschaft und Technik geboten sind (Art. 9 StSG), wobei der

Aufwand für eine Begrenzung der Strahlenexposition in einem vertretbaren Verhältnis zur erreichbaren Reduktion der Strahlenbelastung stehen soll.[56] Nach Anwendung der in der Strahlenschutzverordnung konkretisierten Optimierung wird die übrig bleibende Strahlenexposition nach dem Grundsatz der Verhältnismässigkeit so tief sein, wie vernünftigerweise erreichbar (Art. 6 StSV).

Dieser Forderung wird einerseits bei der Auslegung der Anlage (vgl. Kapitel 4.2.3) und andererseits auch bei den für die spätere Inbetriebsetzung und den Betrieb zu treffenden Massnahmen zum Schutz des Personals innerhalb der Anlage (vgl. Kapitel 4.4) nachgekommen. Zusätzliche Elemente zur Begrenzung der Strahlenexposition sind nicht nur die Vorsorge zur weiteren Verminderung der Gefährdung durch ionisierende Strahlen, sondern auch das Einhalten des behördlich festgelegten QBDR (vgl. Kapitel 4.5.1).

4.4 Schutz von Personen innerhalb der Anlage

Der Schutz der strahlenexponierten Personen ist in Kap. 2 des Strahlenschutzgesetzes geregelt. Für eine Kernanlage relevant sind die Bestimmungen zur Einhaltung der Dosisgrenzwerte (Art. 11 StSG), zur Ermittlung der Strahlendosis (Art. 12 StSG), zu medizinischen Massnahmen bei beruflich strahlenexponierten Personen (Art. 13 StSG), zur Bekanntgabe von medizinischen Daten (Art. 14 StSG) sowie zur Verantwortlichkeit in Betrieben (Art. 16 StSG). Die Massnahmen zur Einhaltung dieser Bestimmungen werden entsprechend den Vorgaben in der Kernenergieverordnung in den Unterlagen zur Betriebsbewilligung – im Strahlenschutzregelement – dargelegt.

Bauliche Massnahmen wie Abschirmung, Gestaltung von radiologischen Zonen, Raum- und Systemüberwachung sowie Abfallbehandlung dienen ebenfalls dem Schutz der strahlenexponierten Personen. Sie gelten für alle strahlenschutzkontrollierten Zonen bzw. Anlagenbereiche. Für Strahlenschutzmassnahmen gilt das Prinzip der Optimierung gemäss Art. 6 StSV. Die individuellen und kollektiven Strahlenexpositionen des beim Betrieb von EKKB beruflich strahlenexponierten Personals werden bei Planung und Bau des EKKB (baulicher, konstruktiver und systemtechnischer Strahlenschutz) sowie bei Planung und Durchführung von Tätigkeiten mit radioaktiven Stoffen und in erhöhten Strahlenfeldern (operationeller Strahlenschutz) auch unterhalb der gesetzlichen Grenzwerte im Sinne des Optimierungsprinzips weiter reduziert, soweit dies mit angemessenem Aufwand möglich ist.

[56] vgl. BBL 1988 193

4.5 Strahlenexposition in der Umgebung der Anlage

Die durch das EKKB verursachte Strahlenexposition in der Umgebung der Anlage setzt sich zusammen aus der Strahlenexposition infolge von luftgetragenen und flüssigen Abgaben radioaktiver Stoffe und der Direktstrahlung aus der Anlage.

Da Auslegung, Bau und Betrieb des EKKB unter konsequenter Beachtung der Grundsätze erfolgen werden, wie sie im Zusammenhang mit Strahlenexposition im Kernenergiegesetz (Art. 4 KEG) und in der Strahlenschutzgesetzgebung (Art. 9 StSG und Art 79 StSV) formuliert sind, ist davon auszugehen, dass die vom EKKB verursachte Strahlenexposition in der Umgebung der Anlage nicht höher sein wird als diejenige der neueren, heute betriebenen schweizerischen Anlagen.

4.5.1 Quellenbezogener Dosisrichtwert (QBDR)

Für Kernanlagen dient der QBDR im Sinne der Strahlenschutzverordnung der gemäss Kernenergiegesetz in der Rahmenbewilligung vorgesehenen Festlegung der maximal zulässigen Strahlenexposition für Personen in der Umgebung der Anlage.

Der QBDR wird von der Bewilligungsbehörde nach dem Prinzip der Optimierung unter Berücksichtigung der Abgaben radioaktiver Stoffe und der Direktstrahlung aus anderen Betrieben (Art. 7 Abs. 3 StSV) so festgelegt, dass er nicht höher als der Dosisgrenzwert für nichtberuflich strahlenexponierte Personen ist. Bei der Festlegung des QBDR wird die Bewilligungsbehörde die Langzeitfolgen auf das Erbgut berücksichtigen (Art. 4 Abs. 2 KEG).

Dieser QBDR gilt für die während eines Jahres vom Kraftwerkstandort ausgehende Exposition. Diese setzt sich zusammen einerseits aus der Direktstrahlung aus den Anlagen am Standort und andererseits aus der Exposition infolge der radioaktiven Abgaben, welche über die luftgetragenen Pfade Immersion und Inhalation, die Ingestionspfade durch Aufnahme von Trinkwasser, pflanzlichen und tierischen Produkten sowie durch Bodenstrahlung auf den menschlichen Organismus einwirken.

Der QBDR gilt für alle Individuen, insbesondere für die einer fiktiven, konservativ festgelegten Personengruppe. Von dieser wird angenommen, dass sie am Ort mit der grössten, aus oben genannten Belastungen resultierenden Gesamtdosis lebt und arbeitet sowie ihren gesamten Bedarf an Obst, Früchten, Gemüse, Milch und Fleisch von diesem Ort bezieht und ihren gesamten Trinkwasser- und Fischbedarf aus dem Fluss unterhalb der Anlage entnimmt.

Der QBDR ist im Normalbetrieb einzuhalten, einschliesslich Störfällen, die alle 10 Jahre oder häufiger auftreten können (Art. 94 Abs. 2 StSV). Für Störfälle mit einer Häufigkeit von einmal alle 10 bis 100 Jahre darf ein einzelner Störfall eine zusätzliche Dosis von höchstens dem QBDR zur Folge haben (Art. 94 Abs. 3 StSV). Die Grenzen für Strahlendosen als Folge von Störfällen und die entsprechenden beim Baubewilligungsgesuch zu erbringenden Nachweise werden in Kapitel 2.4 behandelt. Als Folge der Auslegung der Anlage gemäss der in Kapitel 4.2.3 gegebenen Grundsätze ist davon auszugehen, dass die Strahlenexposition bei Störfällen aller Kategorien vergleichbar niedrig sein dürfte, wie bei entsprechenden Störfällen in den neueren der bestehenden schweizerischen Anlagen.

Bei der Festlegung des QBDR berücksichtigt die Bewilligungsbehörde als Quelle alle an einem Standort befindlichen, kontrollierbaren Abgabestellen. Zur Berücksichtigung einer möglichen Überlagerung mehrerer Quellen empfiehlt die Internationale Strahlenschutzkommission ICRP einen angemessenen QBDR von nicht mehr als etwa 0.3 mSv pro Jahr für eine einzelne Quelle. Dadurch ist bei zusätzlichen Immissionen aus anderen Quellen eine Überschreitung des Dosisrichtwertes nicht anzunehmen.

Das EKKB wird in unmittelbarer Nähe des bestehenden KKB errichtet. Aus radiologischer Sicht können die beiden Anlagen zusammen als eine Strahlenquelle an einem Standort betrachtet werden, für welchen ein einziger QBDR gilt.

Ohne der Bewilligungsbehörde bei der Festlegung des QBDR vorzugreifen, sei hier angemerkt, dass das Übertragen des für das bestehende KKB 1 und 2 und ZWIBEZ gültigen QBDR auf den Gesamtstandort KKB / ZWIBEZ / EKKB aus radiologischer Sicht eine naheliegende Lösung ist.

Falls es am Standort unterschiedliche Betreiberorganisationen geben würde, werden diese eine vertragliche Regelung treffen, um den für den Standort geltenden QBDR gemeinsam zu nutzen, unter Einhaltung aller Grenzwerte und Abgabelimiten.

4.5.2 Einhaltung der zulässigen Strahlenexposition

4.5.2.1 Abgaben durch luftgetragene und flüssige radioaktive Stoffe

Abgaben luftgetragener oder flüssiger radioaktiver Abfälle aus dem EKKB werden gemäss Art. 80 StSV über die Abluft an die Atmosphäre oder über das Abwasser an die Aare erfolgen.

Zulässige Jahresabgabelimiten und Kurzzeitabgabelimiten für KKB 1 und 2 sind im HSK-Reglement HSK 10/260 Rev. 1 vom Dezember 2007 festgelegt und hergeleitet. In der Regel werden die Jahresabgabelimiten von KKB 1 und 2 nur in geringem Masse ausgenützt. Bei deren völliger Ausnützung würde nur etwa die Hälfte des QBDR erreicht. Es ist zu erwarten, dass die Abgaben von EKKB im Normalbetrieb vergleichbar sein werden mit modernen Kernkraftwerken in der Schweiz (KKG und KKL). Voraussichtlich werden demzufolge die Abgaben für EKKB und KKB 1 und 2 zusammen deutlich unter den Abgabelimiten liegen.

Die Betriebsbewilligung legt die Limiten für die Abgabe von radioaktiven Stoffen an die Umwelt fest (Art. 21 Absatz 1 lit. c KEG). Durch die in Art. 21 Abs. 1 lit. d KEG vorgesehene Verpflichtung des Anlageninhabers, Massnahmen zur Überwachung der Umgebung zu treffen, ist sichergestellt, dass jederzeit ein Nachweis über das Einhalten der maximal zulässigen Strahlenexposition in der Umgebung der Anlage vorhanden ist. Dieser Nachweis ist ebenfalls Gegenstand der periodischen Berichterstattung (Art. 37 Abs. 1 i.V.m. Anhang 5 KEV).

Bei der Festlegung weiterer Massnahmen zur Reduktion der Abgaben werden die Erfahrungen in modernen europäischen KKW sowie entsprechende Randbedingungen aus internationalen Abkommen (z.B. OSPAR [63]) berücksichtigt.

4.5.2.1.1 Gasförmige und luftgetragene radioaktive Abgaben

Die von Prozesssystemen, von der Kondensator-Absaugung und von der Lüftung aus der kontrollierten Zone anfallenden gasförmigen und luftgetragenen radioaktiven Abgaben werden kontrolliert über den Fortluftkamin oder andere geeignete Entlüftungen an die Umgebung abgegeben. Es ist vorgesehen, die Abgabepfade so mit Filtern auszurüsten, dass die Abgaben so niedrig wie vernünftig möglich gehalten werden (Art. 4 Ziff. 3 KEG und Art. 9 StSG).

Die Abgabestrecke wird mit Aktivitätsmonitoren zur Überwachung und Bilanzierung der abgegebenen Aktivität versehen. Es ist weiterhin vorgesehen, die Abgaben möglichst über einen einzigen geeigneten Abgabepunkt (in der Regel den Kamin) zu führen. Es gibt allerdings Reaktortypen mit mehreren Abgabepunkten.

4.5.2.1.2 Flüssige radioaktive Abgaben

Radioaktives Wasser aus Anlagensystemen und Bodenentwässerungen wird gesammelt und aufbereitet. Die aufbereiteten Abwässer werden kontrolliert abgegeben. Die dazu benötigten Systeme werden so konzipiert, dass die radioaktiven Inhalte der an die Umgebung abzugebenden Abwässer so niedrig wie vernünftig möglich gehalten werden (Art. 4 Ziff. 3 KEG und Art. 9 StSG).

Alle Abgaben werden überwacht und bilanziert, um sicherzustellen, dass die entsprechenden Grenzwerte, Limiten und weiteren Ziele des Strahlenschutzes eingehalten werden.

Auch die Rücklaufleitungen von Kühlsystemen (Flusswasser oder Grundwasser) werden überwacht, um durch Leckagen in Wärmetauschern oder anderen Barrieren verursachte Kontamination zu identifizieren und zu begrenzen.

4.5.2.2 Strahlenexposition durch Direktstrahlung

Im Normalbetrieb und bei Betriebsstörungen sind die maximalen Abgabemengen radioaktiver Stoffe an die Umgebung aus KKB 1 und 2 so begrenzt worden, dass die gesamte Strahlenbelastung für Einzelpersonen höchstens 0.2 mSv pro Jahr beträgt. Die resultierende Dosis aus Direktstrahlung aus KKB 1 und 2 beträgt weniger als 0.1 mSv pro Jahr, sodass der für den Standort Beznau festgelegte QBDR von 0.3 mSv pro Jahr eingehalten wird (HSK-R-11). Es wurden keine betriebsspezifischen Richtwerte für KKB 1 und 2 festgelegt.

Die Direktstrahlung wird ausserhalb des gesamten Betriebsareals (KKB 1 und 2, ZWIBEZ und EKKB) nicht zu Ortsdosen führen, die in Wohn-, Aufenthalts- und Arbeitsräumen 1 mSv pro Jahr und in anderen Bereichen 5 mSv pro Jahr übersteigen. Ausserdem wird sichergestellt, dass die aus der Direktstrahlung aus KKB 1 und 2, ZWIBEZ und EKKB resultierende Strahlenbelastung für Einzelpersonen höchstens 0.1 mSv pro Jahr beträgt.

Die Ortsdosis bzw. die Ortsdosisleistung wird mittels geeigneter Messsysteme in der Umgebung des EKKB sowie am Zaun zu dessen Areal überwacht.

Voraussichtlich wird der standortspezifische QBDR von 0.3 mSv pro Jahr in Zukunft auch für alle am Standort betriebenen Anlagen (Betriebe gemäss Art. 7 Ziff. 2 StSV) gelten. Abgaben und Direktstrahlung von allen Anlagenbereichen des EKKB werden damit so limitiert, dass auch beim gleichzeitigen Betrieb aller vier Kernanlagen (KKB 1 und 2, ZWIBEZ und EKKB) der standortspezifische QBDR eingehalten wird. Gemäss Art. 7 Abs. 2 StSV entscheidet die Bewilligungsbehörde, für welche Betriebe ein QBDR erforderlich ist, und legt diesen fest.

Die voraussichtliche Strahlenexposition in der Umgebung der Anlage ist in den Gesuchsunterlagen zur Rahmenbewilligung, gemäss Art. 23 lit. a Ziff. 3 KEV, anzugeben. Die Strahlenexposition ist vom Reaktortyp abhängig, insbesondere von den Quelltermen und der Abgabehöhe. Die entsprechenden vorläufigen Analysen werden erst im Baubewilligungsgesuch, gemäss Art. 24 und Anhang 4 KEV, eingereicht werden. Es ist aber zu erwarten, dass die Abgaben von EKKB im Normalbetrieb, und damit die voraussichtliche Strahlendosis, vergleichbar sein werden mit den bestehenden modernen Kernkraftwerken in der Schweiz (KKG und KKL).

Wie oben erwähnt werden die tatsächlichen, gesamthaften Abgaben von allen Kernanlagen auf dem Standort voraussichtlich deutlich unter den Abgabelimiten liegen, welche von den Behörden im Rahmen der Betriebsbewilligung gemäss Art. 21 KEG festgelegt werden. Demzufolge ist zu erwarten, dass die Strahlenexposition für Personen der Bevölkerung in der Umgebung der Anlage auch deutlich unter dem entsprechenden standortspezifischen QBDR liegt. Der QBDR für den Standort Beznau (0.3 mSv pro Jahr) liegt zudem wesentlich unterhalb des in der Strahlenschutzverordnung festgelegten Grenzwertes (1 mSv pro Jahr gemäss Art. 7 StSV).

Die Strahlenexposition der Bevölkerung wird durch den Einbau geeigneter Filter, Verzögerungsstrecken, Abschirmungen usw. sowie durch eine geeignete betriebliche Fahrweise, unterhalb der gesetzlichen Grenzwerte und der behördlich festgelegten Abgabelimiten, im Sinne des Optimierungsprinzips weiter reduziert.

Bei der Festlegung weiterer Massnahmen zur Reduktion der Abgaben werden die Erfahrungen in modernen europäischen KKW sowie entsprechende Randbedingungen aus internationalen Abkommen (z.B. OSPAR [63]) berücksichtigt.

4.5.2.3 Kontrolle der betrieblichen Abgaben

Während des Betriebs des EKKB wird die Messung der radioaktiven Abgaben als Strahlenschutzaufgabe im Strahlenschutzreglement geregelt. Dies ist Bestandteil der Betriebsdokumentation und damit Bestandteil der Unterlagen des Gesuchs für die Betriebsbewilligung (Art. 28 Abs. 1 lit. a i.V.m. Anhang 3 KEV). Das Strahlenschutzreglement ist als organisatorisches Dokument während der gesamten Betriebsdauer des EKKB bis zum Abschluss der Stilllegung nachzuführen und dem aktuellen Stand der Anlage anzupassen (Art. 41 Abs. 1 i.V.m. Anhang 3 KEV).

Die Kontrolle der betrieblichen Abgaben wird gemäss Art. 41 Abs. 2 i.V.m. Anhang 3 KEV als Teil der Betriebsaufzeichnungen jederzeit nachvollziehbar dokumentiert.

4.5.2.4 Einhaltung der Immissionsgrenzwerte

Das Einhalten der Immissionsgrenzwerte gemäss Art. 102 Abs. 3 StSV wird durch das Festlegen von Abgabelimiten und die Kontrolle der betrieblichen Abgaben sowie durch die Begrenzung der Direktstrahlung und deren Kontrolle gewährleistet.

Aufgrund der allgemeinen Pflichten des für die Sicherheit der Anlage und des Betriebs verantwortlichen Bewilligungsinhabers wird der Betreiber des EKKB in Übereinstimmung mit der StSV als Bestandteil der gemäss KEG erforderlichen Dokumentation über den Betrieb die Immissionen radioaktiver Stoffe und die Direktstrahlung aus dem Betrieb des EKKB entweder selbst oder durch eine von der Aufsichtsbehörde anerkannte externe Stelle messtechnisch überwachen und die Resultate der Aufsichtsbehörde regelmässig melden. Zur Überwachung der Einhaltung der Immissionsgrenzwerte gehört im Sinne einer Kontrollmassnahme – wie sie in der StSV vorgesehen ist – ebenfalls die Aufnahme von Nullpegelmessungen während einiger Jahre, z.B. drei, vor der Betriebsaufnahme des EKKB.

Die Immissionsüberwachung wird analog der in Kapitel 4.5.2.3. aufgeführten Kontrolle der betrieblichen Abgaben im Rahmen der Betriebsbewilligung definitiv festgelegt.

5 Personelle und organisatorische Angaben

5.1 Einleitung

Es sind gemäss Art. 23 lit. a. Ziff. 4 der Kernenergieverordnung (KEV), für das Rahmenbewilligungsgesuch (RBG) ein Sicherheitsbericht und ein Sicherungsbericht einzureichen, aus denen "die wichtigen personellen und organisatorischen Angaben" hervorgehen. Diese Forderung der KEV wurde präzisiert. Die folgenden Aspekte werden berücksichtigt:

1. Personelle und organisatorische Angaben zu allen Projektphasen sollen dargestellt werden
2. Eine Beschreibung von Grundsätzen und Absichten ist notwendig. Die eigentlichen Programme zur Umsetzung sollen später zeitgerecht, gemäss Art. 24, 28 und 41 sowie Anhang 3 und 4 der Kernenergieverordnung erstellt werden
3. Angaben zu einem Qualitätsmanagement-Programm
4. Es sind Grundsatzüberlegungen darüber anzustellen, wie das Thema menschliche und organisatorische Faktoren (Human Factors Engineering, (HFE); Organisational Factors Engineering, (OFE)) angemessen berücksichtigt werden soll. Für die Bewilligung (Bau- und Betriebsbewilligungen) einer Kernanlage wird nicht nur das technische System, sondern auch das soziotechnische System als Ganzes bewertet. Bewertungsgegenstand ist also das angemessene Zusammenwirken von Mensch, Technik und Organisation.

Es wird für die verschiedenen Phasen der Projektabwicklung eine Organisation entwickelt, welche es ermöglicht:

1. Projekt- und Bewilligungsabläufe so zu organisieren, dass alle Anforderungen der nuklearen Sicherheit nachweislich erfüllt sind und eine ganzheitliche Bewertung der Bewilligungsfähigkeit möglich ist;
2. Projekt- und Bewilligungsabläufe optimal aufeinander abzustimmen und die Erfordernisse aus den Bewilligungsabläufen zeitgerecht in die Projektabläufe einfliessen lassen zu können;
3. die Projektorganisation flexibel den Projektphasen mit ihren jeweiligen Anforderungen an die fachlichen und methodischen Kompetenzen anzupassen und schliesslich in eine Betriebsorganisation zu überführen.

5.2 Grundsätze für die Organisation und die Entwicklung des Personalbestandes

Grundsätzlich gelten für die Entwicklung der Organisation und deren personelle Ausstattung alle relevanten Anforderungen aus:

- Kernenergiegesetz, KEG
- Kernenergieverordnung, KEV
- Strahlenschutzgesetz
- Strahlenschutzverordnung
- Einschlägigen weiteren Verordnungen, inkl. Verordnungen zur Sicherung, für Betriebswachen, Verordnung vom 9. Juni 2006 über die Anforderungen an das Personal von Kernanlagen (VAPK), Starkstromverordnung, Umweltschutzverordnung usw.
- einschlägigen Richtlinien der HSK und andere Anforderungen der HSK, die noch nicht in Richtlinien geregelt sind.
- anderen Richtlinien, der von der HSK beauftragten Organisationen (z.B. SVTI), welche Anforderungen an Personal und Organisation stellen.
- einschlägigen internationalen Normen und Standards welche die oben erwähnten Anforderungen sinnvoll und sicherheitsgerichtet ergänzen
- speziellen im Projektverlauf erforderlichen Präzisierungen durch die HSK oder von ihr beauftragten Organisationen.

Die Organisation für den Neubau eines Kernkraftwerkes vom Rahmenbewilligungsgesuch bis zum Betrieb der Anlage ist einem starken Wandel unterworfen. Zentrale Elemente bleiben jedoch im gesamten Entwicklungsprozess erhalten. Für diese werden Grundsätze definiert, die sich in ihrer Ausprägung zwar verändern können, aber stets vorhanden bleiben. Diese zentralen Elemente sind:

1. Sicherheitskultur bzw. ein ausgeprägtes Sicherheitsbewusstsein. Sicherheitskultur ist ein integraler Teil aller Tätigkeiten welche zu den übrigen Elementen gehören.
2. Nukleare Sicherheit:
   - durch die Technik sichergestellt
   - durch die Entwicklung des Personals und seiner Organisation sichergestellt (Human Factors Engineering und Organisational Factors Engineering; HFE und OFE)
   - durch geprüfte Qualität sichergestellt (Qualitätssicherung und Qualitätskontrolle)
3. Abstimmung von Projekt- und Bewilligungsabläufen
4. Konventionelle Sicherheit
5. Sicherung der Anlage
6. Organisation von Schnittstellen zwischen:
   - Antragsteller-Aufsichtsbehörde
   - Antragsteller-Lieferant
   - Aufsichtsbehörde-Lieferant

Für diese Elemente werden Grundsätze entsprechend den relevanten HSK-Richtlinien entwickelt, welche die Aufgaben und Kompetenzen für alle Projektphasen klar zuordnen. Diese Grundsätze werden parallel zur Entwicklung der Organisation und des Personalstandes (vgl. Kapitel 5.3) erarbeitet. Inhaltlich entsprechen sie den Schwerpunkten der Aufgaben in den verschiedenen Projektphasen. Zum Beispiel eine gute Sicherheitskultur muss in allen Phasen des Lebenszyklus der Anlage gewährleistet sein. Dies muss von Anfang an, bereits in der Projektierungsphase, erfolgen. Die hierfür notwendigen Prinzipien sind in allen Phasen sehr ähnlich aber die Umsetzung bei den Aufgaben entspricht den Schwerpunkten der Projektphasen.

Die Grundsätze werden so umgesetzt, dass die Aufgaben und Kompetenzen des Personals in allen Projektphasen adäquat und sicherheitsgerichtet zugeordnet sind. Der Gesuchssteller bzw. Bewilligungsinhaber wird dazu die entsprechenden Fach- und Methodenkompetenzen und Ressourcen sicherstellen; er stellt ebenfalls sicher, dass auch die Lieferanten diese Kompetenzen und Ressourcen sowie eine geeignete Organisation bereitstellen damit er die Aufgaben entsprechend den Anforderungen durchführen kann. Er wird jederzeit die Produkte und Dienstleistungen der Lieferanten insoweit kennen und verstehen dass er seine Pflichten erfüllen kann ('Intelligent Customer Capability'). Dazu gehört eine umfassende Überwachung der Aktivitäten der Lieferanten.

Diese Fach- und Methodenkompetenz wird, soweit sie für die Bewilligung des neuen Kernkraftwerkes relevant ist, durch das Bewilligungsmanagement bereitgestellt. Es regelt alle im Zusammenhang mit der Bewilligung der neuen Anlage relevanten Aufgaben und stellt die Schnittstelle zwischen dem Antragsteller und der Aufsichtsbehörde dar. Das Bewilligungsmanagement stellt den aufsichtsbehördlich relevanten Teil der Projektorganisation dar und stellt sicher, dass die gemäss den Gesetzen, Verordnungen und Richtlinien erforderlichen Fach- und Methodenkompetenzen sowie eine geeignete Organisation in jeder Projektphase in angemessener Weise zur Verfügung stehen.

Auf die sich daraus entwickelnde Organisation und personelle Ausstattung wird im Folgenden eingegangen.

5.3 Organisation und Entwicklung des Personalbestandes

Leitfaden für die konzeptionelle Entwicklung der Organisation und des Personalbestandes ist die Kernenergieverordnung. Sie gibt klare Vorgaben, welche Bewilligungsunterlagen für welchen Projektschritt erforderlich sind. In den Projektphasen bis und mit Inbetriebnahme wird die Projektorganisation, zusammen mit den Lieferanten, in der Lage sein, diese Unterlagen zu erstellen, das Projekt gemäss diesen Anforderungen abzuwickeln und die erforderlichen Überwachungen und Abnahmen durchzuführen.

Unter Projektorganisation versteht man die Gesamtorganisation des Bauherrs welche für alle Aspekte der Abwicklung des Projektes bis Übernahme des Werkes vom Lieferant verantwortlich ist. Diese schliesst alle diesbezüglich notwendigen Funktionen ein. Projektmanagement ist der Überbegriff welche alle diese Funktionen einschliesst.

Das Bewilligungsmanagement ist eine der Funktionen innerhalb der Projektorganisation. Es ist eher mit dem englischen Begriff 'Licensing' vergleichbar. Das Bewilligungsmanagement stellt sicher, dass alle rechtlichen, behördliche und anderen Anforderungen an die nukleare Sicherheit

in der Projektabwicklung und in den Bewilligungsprozessen vollständig berücksichtigt und umgesetzt werden.

Die Organisation und der Personalbestand für den zukünftigen Betrieb der Anlage gehen aus der Projektorganisation hervor. Dazu kommt zusätzliches Personal für Betrieb, Instandhaltung, Sicherung, Strahlenschutz und alle Aufgaben, welche in der Kernenergieverordnung Art. 30 für die Betriebsorganisation festgelegt sind. Für deren Umsetzung werden alle relevanten HSK-Richtlinien einbezogen.

Die organisatorische Gliederung, der Personalbestand, die Personalausbildung und der Personaleinsatz während der verschiedenen Phasen bis und mit Dauerbetrieb werden bei den Gesuchen zur Baubewilligung, zur ersten Baufreigabe, zur Betriebsbewilligung, zur Freigabe der Inbetriebnahme und des Leistungs- bzw. Dauerbetriebs eingereicht, wie in der Kernenergieverordnung Anhang 4 festgelegt ist.

5.3.1 Bedeutung des Bewilligungsmanagements

Das Bewilligungsmanagement vereint im Wesentlichen drei Disziplinen, die mit ihren Fach- und Methodenkompetenzen das soziotechnologische System "Kernkraftwerk" hinsichtlich seiner Sicherheit und der Erfüllung der Anforderungen aus den Gesetzen, Verordnungen, Richtlinien und anderen Codes und Standards bewerten können und, falls erforderlich, Anpassungen beim Lieferanten fordern können. Diese drei Disziplinen sind:

1. Sicherheitsengineering (Deterministik und Probabilistik)
2. Menschliche und organisatorische Faktoren (Human Factors Engineering (HFE) und Organisational Factors Engineering (OFE))
3. Qualität (Qualitätssicherung und Qualitätskontrolle).

Sie stellen die zentralen Elemente der "Nuklearen Sicherheit" dar, für welche, wie oben beschrieben, Grundsätze im Zusammenhang mit Aufgaben und Kompetenzen entwickelt werden sollen. Damit werden umfassende Sicherheitsbetrachtungen über den gesamten Bewilligungsprozess sichergestellt.

Sicherheitsengineering (Deterministik und Probabilistik)

Hier werden Technologien bewertet und auf die Erfüllung aller sicherheitsrelevanten Anforderungen überprüft. Die Deterministik betrachtet die deterministischen Sicherheitsanforderungen und zeigt mittels entsprechender Nachweise, dass alle Schutzziele, Grenzwerte und anderen Kriterien erfüllt werden. Bei der Probabilistik wird mittels probabilistischen Sicherheitsanalysen die Kernschadenshäufigkeit für Störfälle errechnet und die Erfüllung der Kriterien von Art. 24 Abs. 1 lit. b KEV nachgewiesen. Die Anlage muss in Übereinstimmung mit den deterministischen Sicherheitsanalysen ausgelegt und gebaut werden. Die Annahmen der probabilistischen Sicherheitsanalysen müssen ebenfalls mit der Anlagenauslegungsbasis und Konfiguration übereinstimmen. Es ist Hauptaufgabe des Sicherheitsengineerings, dies zu gewährleisten.

Menschliche und organisatorische Faktoren

HFE und OFE unterstützen das Sicherheitsengineering bei dessen Bewertungen und stellen sicher, dass alle Sicherheitsfragestellungen in ihrer soziotechnologischen Gesamtheit betrachtet werden. OFE befasst sich mit der Organisation. HFE befasst sich mit der Berücksichtigung der menschlichen Fähigkeiten und deren Grenzen bei der Gestaltung der Arbeitsplätze, Arbeitsmittel und Arbeitsabläufe insbesondere dort, wo es um die sicherheitsrelevanten Tätigkeiten, bei z.B. der Bedienung (Kommandoräume, Steuerstellen) und der Instandhaltung der Anlage (z.B. Zugänglichkeit, Werkzeuge) geht (Art. 10 Abs. 1 lit. j KEV). Die Umsetzung der Grundlagen der HFE und OFE wird jeweils in den Fachbereichen phasengerecht detailliert ausgearbeitet. Dies gilt in allen Etappen der Projektierung, des Baus, des Betriebs und der Stilllegung der Anlage. Das Ziel ist immer das gleiche, nämlich die Optimierung der Durchführung der Arbeiten durch die Beachtung der menschlichen und organisatorischen Besonderheiten der Vorhaben und der Anlage. Es ist besonders wichtig, die menschlichen Faktoren multidisziplinär, unter Einbezug von Fachexperten über Auslegung (Sicherheitsengineering), Betrieb, Strahlenschutz und Instandhaltung, zu berücksichtigen. Dies sollte unter Mitwirkung von HFE-Spezialisten / -innen erfolgen.

Qualitätsmanagement (Qualitätssicherung und Qualitätskontrolle)

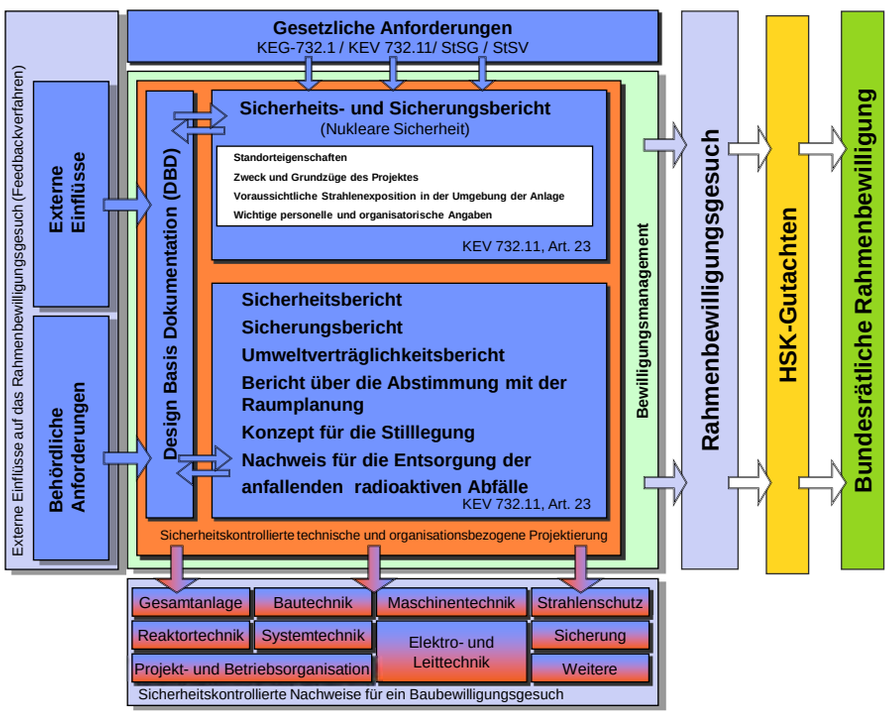
Die Stelle "Bewilligungsmanagement" entwickelt das Konzept für das Qualitätsmanagement-Programm. Das Konzept wird aus den relevanten Anforderungen erarbeitet und entsprechend auch bei der Erarbeitung der Gesuchsunterlagen berücksichtigt. Die Umsetzung des Qualitätsmanagement-Programms findet in den übrigen Stellen statt, welche die verschiedenen Funktionen in der Projektorganisation ausführen.

Die Prüfungen, ob von Ausrüstungen oder Dokumenten, erfolgen dabei stets gegenüber der Auslegungsbasis der Anlage, gemäss Art. 24 und 25 der Kernenergieverordnung. Es wird ein entsprechendes Qualitätsmanagement-Programm für die Projektierungs- und Bauphasen im Rahmen des Baubewilligungsgesuches eingereicht (Art. 24 und 25 KEV).

Das Qualitätsmanagement-System für den Betrieb wird die Anforderungen gemäss Art. 31 KEV erfüllen. Dieses System wird im Qualitätsmanagement-Handbuch beschrieben, welches im Gesuch zur Betriebsbewilligung eingereicht wird (Art. 28 und Anhang 3 KEV).

Im Rahmen der Projektphase Rahmenbewilligung werden die Grundlagen des Rahmenbewilligungsgesuchs so aufbereitet, dass für den Bericht zur Übereinstimmung des Projektes mit der Rahmenbewilligung (Art. 24 Abs. 2 lit. g KEV) alle Grundlagen bereitgestellt sind. Abbildung 5.3-1 stellt die Zusammenhänge klar, die für die Erstellung dieser Grundlagen zu berücksichtigen sind.

Abbildung 5.3-1: Die Funktion "Bewilligungsmanagement" und ihre Schnittstellen für die Projektphase Rahmenbewilligung



Die gesetzlichen Anforderungen an die Gesuchsunterlagen werden identifiziert und in den Berichten, welche dem Gesuch beiliegen, berücksichtigt. Die unterstützenden Unterlagen werden geprüft und archiviert um die Nachvollziehbarket der Angaben zu gewährleisten (Design Basis Dokumentation). Die Analysen, welche die Basis für die Gesuchsunterlagen bilden, erfüllen die behördlichen Anforderungen und berücksichtigen die projektexternen Einflüsse wie zum Beispiel Standorteigenschaften.

Die Funktion Bewilligungsmanagement begleitet das Gesuch durch die Schritte des Bewilligungsverfahrens und stellt sicher, dass alle zusätzlich verlangten Informationen erarbeitet werden und an die entsprechenden behördlichen Stellen weitergeleitet werden. Es wird auch sichergestellt werden, dass die Gesamtentwicklung des Prozesses sicherheitsorientiert ist. Die Ergebnisse stellen einen Teil der Grundlagen für die Erarbeitung der Nachweise für das Baubewilligungsgesuch dar.

5.3.2 Projektphasen

Eine Einteilung des Gesamtprojektes in bewilligungspflichtige Projektphasen wird durch das Kernenergiegesetz festgelegt, und in der Kernenergieverordnung werden unter anderem Umfang und Inhalt der Gesuchsunterlagen vorgegeben. In den folgenden Abschnitten werden die Projektphasen 1 und 3 mit dem Namen der entsprechenden, am Ende der Phase beantragten, Bewilligung, benannt. Die Phase zwei wird nach der in der Phase beantragten Bewilligung und der Ausführung des Baus benannt. Die Organisation wird so aufgebaut und strukturiert, dass alle Aktivitäten zur Erreichung der entsprechenden Bewilligung gemäss den rechtlichen Anforderungen abgewickelt werden können.

Bewilligungsphasen:

1 **Rahmenbewilligung**

Das Einreichen eines Rahmenbewilligungsgesuchs erfordert gemäss Art. 23 KEV eine Reihe von Gesuchsunterlagen, die Aussagen zur Sicherheit und zur Sicherung der Anlage, zur Umweltverträglichkeit, zur Abstimmung mit der Raumplanung, zur Stilllegung und zur Entsorgung machen.

2 **Baubewilligung und Bauausführung**

Die Phase Baubewilligung und Bauausführung wird gemäss Art. 24 und Anhang 4 KEV in eine Reihe von weiteren Phasen mit Freigaben (die Bau-, Herstellungs- und Montagefreigaben) unterteilt. In dieser Phase werden die Auslegungskonzepte und Auslegungsgrundlagen erarbeitet, die für die Auslegung der Anlage gelten. Die Dokumente für die Bauausführung, die Herstellungs- und Montageunterlagen werden erstellt und beim Bau, der Herstellung und Montage umgesetzt.

3 **Betriebsbewilligung**

Die Anforderungen an die Gesuchsunterlagen für die Betriebsbewilligung sind in Art. 28 und Anhang 3 bzw. 4 KEV festgelegt. Im Wesentlichen handelt es sich um Auslegungsnachweise und Nachweise dafür, dass die Auslegung den Vorgaben aus der Rahmenbewilligung und aus den verschiedenen Baubewilligungsphasen entspricht. Eignung und Fachkunde des leitenden lizenzpflichtigen Strahlenschutz- und übrigen Personals werden nachgewiesen und die erforderlichen organisatorischen Dokumente eingereicht (Art. 28 KEV). Der Personalbestand und die Aus- und Weiterbildungsprogramme für den Dauerbetrieb werden beim Gesuch zur Freigabe der Inbetriebnahme eingereicht werden.

4 **Betrieb**

Die Phase des Betriebes schliesst die Betriebsführung, die Überwachung, die Instandhaltung und alle Aspekte der technischen Betreuung der Anlage ein. Dies schliesst alle Betriebsarten ein, inklusive Notfälle.

5 **Stilllegung**

Die Stilllegung beginnt mit der Nachbetriebsphase. Die Organisation für die Stilllegung wird voraussichtlich zu einem Grossteil aus der Betriebsorganisation hervorgehen. Die anlagenspezifischen Kenntnisse im Bereich Strahlenschutz, Systemtechnik und Bautechnik spielen beim sicheren Abbau und bei der Entsorgung der Komponenten und Materialien eine wichtige Rolle.

Die Entwicklung der Organisation während dieser Phasen orientiert sich nach den erwähnten Bedürfnissen und Abläufen. Die Anzahl, Qualifikation und Organisation des Personals wird die Abwicklung des Projektes unter Erfüllung der gesetzlichen Anforderungen und unter Berücksichtigung der in Kapitel 5.2 erwähnten Grundsätze gewährleisten.

Die Organisation wird darüber hinaus alle für den Bau, Betrieb und Unterhalt wichtigen Funktionen, die nicht in einem direkten Zusammenhang mit der Sicherheit oder der Sicherung der Anlage stehen, einschliessen.

5.3.2.1 Rahmenbewilligung

Die Hauptaufgabe in der Phase Rahmenbewilligung ist die Erstellung der Gesuchsunterlagen und die Begleitung des Bewilligungsverfahrens. Nach Einreichen des Gesuchs beginnt die Vorbereitung zur Erstellung des Baubewilligungsgesuchs und die Festlegung aller Anforderungen an der zu erstellenden Anlage. Deshalb bildet die Funktion Bewilligungsmanagement in dieser Phase einen Schwerpunkt im Projektmanagement.

Es wird ein entsprechendes Gesuch erarbeitet, welches die Anforderungen gemäss Art. 23 KEV erfüllt. Unter anderem wird die Standorteignung nachgewiesen sowie der Zweck des Projektes, die Grundzüge des Projektes und die voraussichtliche Strahlenexposition in der Umgebung der Anlage beschrieben. Die Projektorganisation unter der Leitung eines Gesamtprojektleiters ist mit der notwendigen Fachkompetenz und Erfahrung ausgestattet, um diese Aufgaben entsprechend den Grundsätzen von Kapitel 5.2 abzuwickeln.

In dieser Phase besteht die Projektorganisation hauptsächlich aus Fachgebieten, welche Untersuchungen zur Eignung des möglichen Standortes durchführen und die Aspekte der Sicherheit, Sicherung, Umweltverträglichkeit, und Raumplanung dieses Standortes ermitteln. Die Betrachtung der möglichen Gefährdungen am Standort bildet dabei einen Schwerpunkt; die zukünftigen Programme zum HOF-Engineering werden abgegrenzt, sind aber noch nicht in die Organisation integriert.

Das Projektteam zur Erstellung des Rahmenbewilligungsgesuches setzt sich zusammen aus einem Kernteam, dessen Mitglieder als Projektleiter für die Aktivitäten in den Bereichen Sicherheit und Sicherung, Entsorgung und Stilllegung sowie Umweltverträglichkeit und Raumplanung verantwortlich sind. Das Kernteam betreut ebenfalls generell die Untersuchungen zur Standortbestimmung und möglichen Anlagekonzeptionen. Es wurde sorgfältig zusammengestellt aus Personen, die in den Partnergesellschaften bzw. in verwandten Organisationen durch langjährige Tätigkeit in der Kerntechnik und in der Führung von nuklearen Projekten grosse Erfahrung gesammelt haben.
Das Kernteam wird bei seiner Arbeit durch weitere Experten aus den Partnergesellschaften sowie externen Experten unterstützt, die primär aufgrund ihrer Erfahrung in kerntechnischen Projekten ausgewählt wurden. Sowohl landesinterne als auch internationale Firmen wurden als externe Experten mit Aufgaben in den einschlägigen Fachbereichen beauftragt. Das Kernteam trägt die Verantwortung für die Beauftragung aller dieser Experten, die Koordination derer Arbeit und die Qualitätssicherung der Ergebnisse. Die Gesuchsunterlagen wurden nach den festgelegten Qualitätssicherungsvorschriften erarbeitet.

Durch die Zusammenarbeit mit der BKW in der Firma Resun standen zusätzliche Kenntnisse und Erfahrungen zur Verfügung. Auch wurden Erfahrungen und Kenntnisse der Mitarbeiter der Kernkraftwerke Beznau und Leibstadt bei der Erstellung und Prüfung der Unterlagen gezielt eingesetzt. Eine wichtige Rolle hatten die spezialisierten Ingenieurbüros, welche für die Aufarbeitung der Standorteigenschaften beauftragt wurden (Meteorologie / Klimatologie, Hydrologie, Geografie und Industrie, Grundwasser, Geologie und Seismologie).

Sicherheitsengineering:

Das Sicherheitsengineering ist in dieser ersten Phase ein wichtiger Organisationsbestandteil, welcher erste Sicherheitsbewertungen durchführt und diesbezügliche Grundlagen für die nächste Projektphase schafft.

Hier werden betreffend den Standorteigenschaften erste grundsätzliche Aussagen gemacht. Es werden die zu erfüllenden gesetzlichen Vorgaben und behördlichen Anforderungen, soweit sie für das Rahmenbewilligungsgesuch von Bedeutung sind, bearbeitet und in entsprechenden Berichten dokumentiert. Dies schliesst insbesondere eine erste Bewertung der externen (mit dem Standort zusammenhängenden) Ereignisse mit ein.

Menschliche und organisatorische Faktoren:

Dieser Teil des Bewilligungsmanagements steht für die Erarbeitung des Rahmenbewilligungsgesuchs nicht im Vordergrund. Schwerpunkt des RBG ist die Beschreibung und Bewertung der Standorteignung. Deshalb ist in dieser Phase eine entsprechende Stelle noch nicht Bestandteil der Organisation. Es wurde aber im Bereich Organisation und auch im Bereich MTO externe fachliche Unterstützung bei der Vorbereitung der Angaben zu Personal und Organisation angefordert.

Die Bedeutung einer frühzeitigen Berücksichtigung dieser Disziplin für die Sicherheit und die Bewilligungsfähigkeit eines Kernkraftwerkes, wie sie sich aus HFE- und OFE-Programmen ergeben, ist bereits bekannt. Die Entwicklung entsprechender Programme und die organisatorische Einbettung im Bewilligungsmanagement sind für die nächste Projektphase vorgesehen. Die Umsetzung wird parallel mit den Sicherheitsbewertungen für die unterschiedlichen in Betracht kommenden Technologien zusammen mit dem Sicherheitsengineering geplant.

Qualitätssicherung:

Die Qualitätssicherung stellt in dieser Projektphase sicher, dass die sicherheitsrelevanten Aspekte der für das Rahmenbewilligungsgesuch erarbeiteten Grundlagen fachgerecht aufbereitet und in die nächste Projektphase übermittelt werden können (vgl. auch Kapite 1.5).

Die Entwicklung eines Qualitätsmanagement-Programms gemäss Art. 25, KEV, ist für die nächste Projektphase vorgesehen.

5.3.2.2 Baubewilligung

In dieser Projektphase, bei welcher die Vorbereitung der in der Kernenergieverordnung Art. 24 und 25 verlangten Dokumente und Programme fortgesetzt wird, bildet die Funktion Bewilligungsmanagement weiterhin einen Schwerpunkt im Projektmanagement. Die Projektorganisation wird dann vor allem in den auslegungstechnischen Funktionen vollständig etabliert, sodass alle entsprechenden Fachbereiche (vgl. Anhang 4 KEV) angemessen abgedeckt sind. Die Projektorganisation ist fähig, die deterministischen Sicherheitsanforderungen und die probabilistischen Sicherheitsanalysen zu spezifizieren und die Ergebnisse zu bewerten und beurteilen. Die Projektorganisation kann auch alle sicherheitsrelevanten Aspekte, inkl. HFE und OFE, sowohl in die Bewertungs- und Bewilligungsprozesse als auch in die Auslegungs- und Gestaltungsprozesse (Spezifikationen, Montageüberwachung) einbringen. Weitere

organisatorische Vorkehrungen zum Aufbau eines Qualitätsmanagementsystems werden getroffen.

Im Einklang mit den von der IAEO formulierten Grundsätzen zur Sicherheitskultur (INSAG-4), wird der Projektant bzw. Bewilligungsinhaber und dessen Vertreter, insbesondere die für den späteren Betrieb verantwortliche Leitung, alle Mittel (personell, finanziell und materiell) einsetzen, damit der Sicherheit in allen Aktivitäten die höchste Priorität beigemessen wird und ein Verfahren zu dieser Mittelbereitstellung festlegen. Des Weiteren wird er sich für eine kontinuierliche Weiterentwicklung der Sicherheit einsetzen. In sämtlichen Phasen des Projektes bzw. während der ganzen Lebensdauer der Anlage wird die Gewährleistung der Sicherheit und der Sicherung sowie des Schutzes von Personal und Bevölkerung das wichtigste Ziel sein; als wichtiger Beitrag dazu wird sichergestellt, dass das Personal der beteiligten Organisationen sich strikt an die Prinzipien der Sicherheitskultur (z. B. eine hinterfragende Haltung, die Bewertung des Erfahrungsrückflusses, die Berücksichtigung der wichtigen Aspekte zwischen Mensch, Technik und Organisation) hält resp. diese Prinzipien im Alltag auch umsetzt.
Die Anwendung dieser Prinzipien der Sicherheitskultur wird im Laufe des Projektes sukzessive an den Schwerpunkten der Tätigkeiten angepasst.

Am Anfang der Phase Baubewilligung wird die Projektorganisation mit der Rekrutierung von zusätzlichem erfahrenem technischem Personal gezielt aufgebaut. Es ist in dieser Phase äusserst wichtig, die richtigen Personen in der richtigen Anzahl einzusetzen, um die Rolle als "Intelligent Customer" zu erfüllen. Hier ist gemeint: Der Projektant / Bauherr muss in der Lage sein, die Leistungen der Lieferanten vollständig und korrekt zu spezifizieren und deren Umsetzung zu kontrollieren.

Um dies zu gewährleisten werden in einer erste Phase durch das Sicherheitsengineering wichtige Schnittstellen innerhalb der Projektorganisation und zu den Behörden und Lieferanten aufgebaut. Darüber hinaus werden HFE-/OFE-Programme und ein Qualitätsmanagement-Programm in Absprache mit dem Sicherheitsengineering entwickelt. Freigabeanträge für Konzepte, Auslegungsspezifikationen, Herstellung und Montage folgen entsprechend den Projektfortschritten.

Mit zunehmendem Projektverlauf werden sich immer mehr Fachabteilungen bilden, die sich bald sinnvoll und zweckmässig aus dem Bewilligungsmanagement in eigenständige Organisationseinheiten des Projektmanagements ausgliedern lassen.

Am Anfang der Bauphase wird die Projektorganisation weiter aufgebaut. Sämtliche nukleartechnischen Disziplinen werden berücksichtigt sowie bestimmte Funktionen im Hinblick auf die spätere Inbetriebnahme und den Betrieb. Die Überwachung der Herstellung und Montage auf Grundlage der entsprechenden Spezifikationen bilden einen wichtigen Schwerpunkt. Die gewonnenen Erkenntnisse werden auch für die Instandhaltung und Betreuung der Anlage während des Betriebs eingesetzt. Das Qualitätsmanagement wird in dieser Projektphase eine besonders wichtige Rolle spielen; insbesondere das Management der Schnittstellen zwischen den Lieferanten, der Projektorganisation und den Behörden.

In der Projektorganisation werden sich zunehmend die zukünftigen Abteilungen der Betriebsorganisation (Gesamtorganisation für alle Aspekte des Kraftwerksbetrieb) herauskristallisieren. Sie werden in engem Kontakt mit den Lieferanten die Einhaltung der

abgeschlossenen Werkverträge überwachen und auch die Angelegenheiten und Anforderungen des späteren, verantwortlichen Anlagenbetreibers einbringen. Die im Kapitel 5.3.2.3 erwähnte Abteilung Betrieb ist eine solche Abteilung, welche später für die Betriebsführung vom Hauptkommandoraum, und vor Ort in der Anlage, verantwortlich ist. Auch die Abteilungen für die Instandhaltung, Überwachung und technische Betreuung entstehen in dieser Phase.

5.3.2.3 Betriebsbewilligung

In der Phase Betriebsbewilligung, welche mit der Vorbereitung gemäss Art. 28 KEV verlangten Unterlagen beginnt, werden die Freigabeanträge für die Inbetriebnahme und den Betrieb der Anlage erarbeitet. Unter anderem wurde bereits in der vorangegangenen Projektphase die Abteilung Betrieb aufgebaut die jetzt zur Unterstützung bei z.B. der Erstellung einer Betriebsdokumentation zur Verfügung steht, siehe Art. 28 und Anhang 3 KEV. Technische Spezifikation, Betriebs- und Störfallvorschriften, Testvorschriften und andere Betriebsdokumente können mit den in den früheren Phasen erworbenen Kenntnissen über die Auslegung der Anlage erstellt werden.

5.3.2.4 Betrieb

Die Betriebsorganisation für den Betrieb der Anlage wird die Anforderungen gemäss KEV Art. 30 und die entsprechenden relevanten Verordnungen und behördlichen Richtlinien wie in Kapitel 5.2 beschrieben erfüllen. Weiterhin wird das Qualitätsmanagement-Programm für die Betriebsphase die Anforderungen von Art. 31 KEV, erfüllen.

Während des Betriebs wird gemäss Art. 33 KEV eine systematische Bewertung der Organisation und des Personals durchgeführt. Dazu werden gemäss Art. 34 KEV Organisation und Personal periodisch im Rahmen von umfassenden Sicherheitsüberprüfungen dargestellt und bewertet.

Der Bewilligungsinhaber wird ein Gremium einsetzen, welches Ereignisse und Befunde mit Ursachen im Bereich menschlicher Faktoren analysiert, Massnahmen vorschlägt und deren Umsetzung überwacht (Art. 30 Abs. 3 KEV).

Er wird auch die Entwicklung der Technik, einschliesslich Organisation und Personal, verfolgen und prüfen, inwieweit daraus Erkenntnisse für die Sicherheit und die Sicherung der eigenen Anlage abgeleitet werden können (Art. 36 KEV).

Änderungen an den in Art. 40 Abs. 1 lit. c KEV definierten Unterlagen sind freigabepflichtig.

Bei einem allfälligen Parallelbetrieb[57] des EKKB mit den bestehenden Anlagen KKB 1 und 2 werden Synergien in den Bereichen Personal und Organisation identifiziert und nach entsprechenden erforderlichen behördlichen Freigaben umgesetzt. Das gleiche gilt bei der Stilllegung der Anlagen KKB 1 und 2.

[57] Die NOK ist bestrebt, das bestehende KKB nach Inbetriebnahme des EKKB so rasch wie möglich ausser Betrieb zu nehmen. Ein paralleler Leistungsbetrieb der beiden Anlage ist aus heutiger Sicht möglicherweise erforderlich, um die Versorgungssicherheit für NOK und die am EKKB beteiligten Partner in der ersten Phase nach Inbetriebnahme des EKKB weiterhin gewährleisten zu können.

5.3.2.5 Stilllegung

Die Organisation für die Phase Stilllegung wird gemäss Art. 45 KEV vorbereitet und eingereicht. Dies schliesst einen Nachweis für die Bereitstellung des für die Durchführung und die Überwachung der Stilllegungsarbeiten erforderlichen geeigneten und fachlich ausgewiesenen Personals in genügender Zahl sowie einer geeigneten Organisationsstruktur mit klarer Zuweisung der Verantwortlichkeiten ein.

Es wird auch ein Qualitätsmanagement-Programm zum Stilllegungsprojekt eingereicht. In der Stilllegungsverfügung (Art. 46 KEV) wird die Organisation festgelegt.

5.4 Notfallschutzmassnahmen

Gemäss Art. 5 Abs. 2 des Kernenergiegesetzes sind für den Fall einer Freisetzung gefährlicher Mengen radioaktiver Stoffe Notfallschutzmassnahmen zur Begrenzung des Schadensausmasses vorzubereiten. Konzepte für den Notfallschutz werden, wie in Anhang 4 KEV gefordert, im Sicherheitsbericht zum Baubewilligungsgesuch beschrieben.

Die Betriebsorganisation ist gemäss Art. 30 KEV so zu gestalten, dass die Verantwortung für die Notfallplanung und Notfallbereitschaft durch die Organisation selber wahrgenommen werden kann. Ein Notfallreglement wird als Teil der Gesuchsunterlagen zur Betriebsbewilligung eingereicht werden.

Im Betrieb wird die Notfallplanung systematisch bewertet (Art. 33 KEV).

Bei der Beurteilung der Standorteignung für das Rahmenbewilligungsgesuch wurde die Machbarkeit von Notfallschutzmassnahmen beurteilt. Eine Beschreibung und Bewertung der Standorteigenschaften im Hinblick auf die Machbarkeit von Notfallmassnahmen befindet sich in Kapitel 3.2.

Eine Notfallschutzorganisation wird im Laufe des Projektes aus den vorhandenen Fachabteilungen so auf- und ausgebaut, dass sie stets auf die für die aktuelle Projektphase erforderlichen Kompetenzen zurückgreifen kann.

Referenzen

[1] Kernenergiegesetz KEG, SR 732.1

[2] Kernenergieverordnung KEV, SR 732.11

[3] Strahlenschutzgesetz StSG, SR 814.50

[4] Strahlenschutzverordnung StSV, SR 814.501

[5] Botschaft des Bundesrates 01.022: Botschaft zu den Volksinitiativen: *MoratoriumPlus – Für die Verlängerung des Atomkraftwerk – Baustopps und die Begrenzung des Atomrisikos (MoratoriumPlus)* und *Strom ohne Atom – Für eine Energiewende und die schrittweise Stillegung der Atomkraftwerke (Strom ohne Atom) sowie zu einem Kernenergiegesetz,* 28.02.2001 (BBl 2001 2665)

[6] Gewässerschutzverordnung GSchV, SR 814.201

[7] Unique (Flughafen Zürich AG): *Statistikbericht 2007*, 28.3.2008

[8] Boeing: *Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents Worldwide Operations 1959-2005*, 2006

[9] Büro für Fluguntersuchungen BFU: *Statistik über Flugunfälle von in der Schweiz immatrikulierten Luftfahrzeugen im In- und Ausland sowie von im Ausland immatrikulierten Luftfahrzeugen in der Schweiz*, Berichtsperiode 2006

[10] Interplan Consult GmbH im Auftrag des BAZL: *Entwicklung des Luftverkehrs in der Schweiz bis 2030 – Nachfrageprognose,* 2005

[11] Dotzek, N.: *Tornado- und Downburstklimatologie*, Klimastatusbericht 2004, Deutscher Wetterdienst, 2004, S.171-180

[12] Blüthgen, J., Weischet, W.: *Allgemeine Klimageographie*, 3. Auflage, Verlag de Gruyter, Berlin, 1980

[13] Doswell Ch. A.: *What is a Tornado?,* Internetbeitrag des Cooperative Institute for Mesoscale Meteorological Studies, Norman OK (USA), 2001, http://www.cimms.ou.edu/~doswell/a_tornado/atornado.html

[14] Schmid, W., Schiesser, H.-H., Furger, M., Jenni, M.: *The Origin of Severe Winds in a Tornadic Bow-Echo Storm over Northern Switzerland.*, Monthly Weather Review 128, 2000, S. 192-207

[15] Schiesser, H.-H., Waldvogel, A., Schmid, W., Willemse, S.: *Klimatologie der Stürme und Sturmsysteme anhand von Radar- und Schadendaten*, Vdf Hochschulverlag AG, Zürich, 1997

[16] Piaget A.: *L'évolution orageuse au nord des Alpes et la tornade du Jura vaudois du 26 âout 1971*, Veröffentlichungen der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt, 1976, Nr. 35

[17] Herzog, J.L., Golaz, Ch.: *Le cyclone orageux du 12 juin 1926*, Annalen der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt, 1926, Anhang Nr. 3

[18] Organe consultatif sur les changements climatiques OcCC: *Das Klima ändert – was nun? Der neue UN-Klimabericht (IPCC 2007) und die wichtigsten Ergebnisse aus Sicht der Schweiz*, Bern, 2008 http://www.occc.ch/

[19] Fujita, T. T., Pearson, A. D.: *Results of FPP classification of 1971 and 1972 Tornadoes. Proc. 8th Conf. on Severe Local Storms*, Denver, 1973, S.142-145

[20] Dotzek, N., Hubrig, M., Berz, G.: *TORRO- und Fujita-Skala Beschreibung, angepasst für Mitteleuropa,* 2004, http://www.tordach.org/FT_scales.htm

[21] National Oceanic and Atmospheric Administration NOAA: *U.S. Tornado Climatology*, National Climatic Data Center Asheville, North Carolina, 2008, Updated 10 April 2008. http://lwf.ncdc.noaa.gov/oa/climate/severeweather/tornadoes.html

[22] Naef, F., Schmocker-Fackel, P., Margreth, M., Kienzler, P., Scherrer, S.: *Die Häufung der Hochwasser der letzten Jahre,* 2008, In: Bezzola, G. R., Hegg, C.: *Ereignisanalyse Hochwasser*, Teil 2 – *Analyse von Prozessen, Massnahmen und Gefahrengrundlagen*, Hrsg. Bundesamt für Umwelt BAFU, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Umwelt-Wissen Nr. 0825: 429 S, 2005

[23] Achermann ,K.: *Betriebliche Vorkommnisse und Erfahrungen beim Eisgang vom Februar 1956 auf Aare und Rhein*, Wasser- und Energiewirtschaft, 1959, Nr. 3

[24] Amberg, B.: *Beiträge zur Chronik der Witterung und verwandter Naturerscheinungen mit besonderer Rücksicht auf das Gebiet der Reuss und der angrenzenden Gebiete der Aare und des Rheins*, *I. Teil Erstes bis dreizehntes Jahrhundert,* 1890

[25] Amberg, B.: *Beiträge zur Chronik der Witterung und verwandter Naturerscheinungen mit besonderer Rücksicht auf das Gebiet der Reuss und der angrenzenden Gebiete der Aare und des Rheins, II. Teil Vierzehntes, fünfzehntes und erste Hälfte des sechzehnten Jahrhunderts,* 1892

[26] Amberg, B.: *Beiträge zur Chronik der Witterung und verwandter Naturerscheinungen mit besonderer Rücksicht auf das Gebiet der Reuss und der angrenzenden Gebiete der Aare und des Rheins, III. Zweite Hälfte des sechzehnten und siebzehnten Jahrhunderts bis 1613,* 1897

[27] Banholzer, M.: *Geschichte der Stadt Brugg im 15. und 16. Jahrhundert*, 1961

[28] Banholzer, M., Bieger, P.: *Alt Brugg,* 1984

[29] Baumann, M.: *Geschichte von Windisch,* 1983

[30] Stadtarchiv Brugg: *Die Aare bei Brugg ist überfroren*, Januar 1905

[31] Dobras, W.*: Seegfrörne, die spannende Geschichte der Seegfrörnen von 875 bis heute (1. Aufl.: Wenn der ganze Bodensee zugefroren ist!),* 1992

[32] Härry, A. (1939): *Die Eisverhältnisse bei den Kraftwerken an der Aare und Rhein vom Bielersee abwärts bis Basel im Februar/März 1929*, Sonderabdruck aus der Schweizerische Wasser- und Elektrizitätswirtschaft 9 bis 12 vom September/Dezember 1930

[33] Pfirter, U., Hauber, L.: *Hydrogeol. Karte von Biel 1:100'000*, Karte und Erläuterungen, 1991

[34] Hendricks Franssen, H.J., Scherrer, S.C.: *Freezing of lakes on the Swiss plateau in the period 1901-2006*, International Journal of Climatology, 2007, V. 28, S. 421-433

[35] Hydrologischer Atlas der Schweiz HADES: *Landeshydrologie und –geologie*, Hrsg. 1992

[36] Pfister, C.: *Wetternachhersage–500 Jahre Klimavariationen und Naturkatastrophen,* 1999

[37] Metz, R.: *Geologische Landeskunde,* 1980

[38] Stotzer, W.: Eisgang auf der Aare 1789, Hornerblätter, Vereinigung für Heimatpflege Büren, 1951

[39] Zschokke, T.: *Das Grundeis auf der Aare*, 1855

[40] Baer, M., Deichmann, N., Faeh, D., Kradolfer, U., Mayer-Rosa, D., Ruettener, E., Schler, T., Sellami, S., Smit, P.: *Earthquakes in Switzerland and surrounding regions during 1996*, Eclogae geol. Helv., 1997, V. 90, N. 3, S. 557–567

[41] Bitterli, Th. Et al.: Blatt 1050 Zurzach. – Geol. Atlas Schweiz 1:25'000, Erläut. 102, 2000

[42] Bitterli-Dreher, P. et al.: Blatt 1070 Baden. – Geol. Atlas Schweiz 1:25'000, Erläut. 120, 2007

[43] Diebold, P., Naef, H., Ammann, M.: *Zur Tektonik der zentralen Nordschweiz – Interpretation aufgrund regionaler Seismik, Oberflächengeologie und Tiefbohrungen*, Nagra Technischer Bericht NTB 90-04, 1991

[44] Haldimann, P. et al.: *Fluviatile Erosions- und Akkumulationsformen als Indizien jungpleistozäner und holozäner Bewegungen in der Nordschweiz und angrenzenden Gebieten*, Nagra Technischer Bericht NTB 84-16, 1984

[45] Haldimann, P.: *Indizien für neotektonische Krustenbewegungen in der Nordschweiz*, Eclogae geol. Helv. 80.2, 1987, S. 509-519

[46] HSK: *Review Approach and Comments on "Probabilistic Seismic Hazard Analysis for Swiss Nuclear Power Plant Sites (PEGASOS Project) – Final Report"*, HSK-RT Final Report, (HSK-AN-5364), 2004

[47] Husen, S., Bachmann, C., Deichmann, N.: *Locally Triggered Seismicity in the Central Swiss Alps Following the Large Rainfall Event of August 2005*, Geophys. J. Int. 171, 2007, S. 1126-1134

[48] Kanamori, H., Anderson, D.L.: *Theoretical Basis of Some Empirical Relations in Seismology*, Bull. Seism. Soc. Amer. 65, 1975, S. 1073-1095

[49] Kastrup, U., Deichmann, N., Fröhlich, A., Giardini, D.: *Evidence for an Active Fault Below the Northwestern Alpine Foreland of Switzerland*, Geophys. J. Int. 169, 2007, S.1273-1288

[50] Laubscher, H.P.: *The Eastern Jura: Relations Between Thin-skinned and Basement Tectonics, Local and Regional*, Nagra Technischer Bericht NTB 85-53, Wettingen, 1985, S. 36

[51] Mohammadioun, B., Serva, L.: *Stress Drop, Slip Type, Earthquake Magnitude, and Seismic Hazard*, Bull. Seism. Soc. Amer. 91(4), 2001, S. 694-707

[52] Müller, W.H., Naef, H., Graf, H.: *Geologische Entwicklung der Nordschweiz, Neotektonik und Langzeitszenarien Zürcher Weinland*, Nagra technischer Bericht NTB 99-08, 2002

[53] Nagra: *Die Kernbohrung Beznau*, Nagra Technischer Bericht NTB 84-34, 1984

[54] PEGASOS-1: *Probabilistic Seismic Hazard Analysis for Swiss Nuclear Power Plant Sites (PEGASOS Project)*, Final Report, Text. Nagra, Wettingen, 2004, Volume 1

[55] PEGASOS-2: *Probabilistic Seismic Hazard Analysis for Swiss Nuclear Power Plant Sites (PEGASOS Project)*, Final Report, Results. Nagra, Wettingen, 2004, Volume 2

[56] PEGASOS-4: *Probabilistic Seismic Hazard Analysis for Swiss Nuclear Power Plant Sites (PEGASOS Project)*, Final Report, Elicitation Summaries Seismic Source Characterisation (SP1). Nagra, Wettingen, 2004, Volume 4

[57] Roth, Ph., Pavoni, N., Deichmann, N.: *Seismotectonics of the Eastern Swiss Alps and Evidence for Precipitation-induced Variations of Seismic Activity*. Tectonophysics 207(1), 1992, 183-197

[58] Sprecher, C., Müller, W. H.: *Geophysikalisches Untersuchungsprogramm Nordschweiz: Reflektionsseismik 82*, Nagra tech. Ber. NTB 84-15, 1986

[59] Thouvenot, F., Fréchet, J., Tapponnier, P., Thomas, J-C., Le Brun, B., Ménard, G., Lacassin, R., Jenatton, L., Grasso, J-R., Coutant, O., Paul, A., Hatzfeld, D.: *The Ml-5.3 Epagny (French Alps) earthquake of 15 July 1996: a long-awaited event on the Vuache fault*. Geophys. J. Int. 135, 1998, S. 876–892

[60] Wells, D.L., Coppersmith, K.J. B.: *New Empirical Relationships Among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement*, Bull. Seism. Soc. Amer. 84(4), 1994, S. 974-1002

[61] Spaceguard Survey Report. Nasa Ames Space Science Division, 1992 (vgl. unter http://impact.arc.nasa.gov bzw. http://128.102.38.40/impact/downloads/spacesurvey)

[62] Umweltverträglichkeitsbericht TB-042-RS080023, Dezember 2008

[63] Ein Service des Bundesministeriums der Justiz in Zusammenarbeit mit der juris GmbH: *Übereinkommen zum Schutz der Meeresumwelt des Nordost-Atlantiks*, SR 0.814.293, 22.09.1992

[64] Verordnung über die Einsatzorganisation bei erhöhter Radioaktivität VEOR, SR 520.17

[65] Verordnung über den Notfallschutz in der Umgebung von Kernanlagen, SR 732.33

[66] United States Nuclear Regulatory Commission U.S. NRC NUREG/CR-2300: *A Guide to the Performance of Probabilistic Risk Assessments for Nuclear Power Plants: PRA Procedures Guide*

[67] IAEA Safety Requirements NS-R-3: Site *Evaluation for Nuclear Installations*, 2003

[68] Normdokumentation und Checklisten für Kantone, Regionen, Gemeinden und Betriebe der Zone 1 & 2 um die Kernkraftwerke: *Konzept für den Nofallschutz in der Umgebung der Kernanlagen*, genehmigt 27.11.2007, Januar 2006

[69] Verordnung über die Versorgung der Bevölkerung mit Jodtabletten, SR 814.52

[70] Verordnung über den Schutz vor Störfällen StFV, SR 814.012

[71] Schweizerische Erdgaswirtschaft und SKS Ingenieure AG: *Sicherheit von Erdgashochdruckanlagen*, Rahmenbericht, Revidierte Ausgabe 1997 und die in der Zwischenzeit gewonnenen Erfahrungen aus ähnlichen Projekten und aus Gesprächen mit den zuständigen Behörden, 1997

[72] Basler & Hofmann AG: *Rahmenbericht Flüssiggas-Tankanlagen, zum Kurzbericht und zur Risikoermittlung im Hinblick auf die Störfallvorsorge*, 1992 und Korrigendum vom April 1993

[73] Verein Deutscher Ingenieure VDI: *Ausbreitungsrechnung für die Sicherheitsanalyse nach der Störfallverordnung*, Richtlinie VDI 3783, Blatt 2, Ermittlung der Ausbreitung schwerer Gase im Rahmen der Sicherheitsanalyse, VDI Verlag, Düsseldorf, 1990

[74] CARBURA, SKS Ingenieure AG: *Rahmenbericht über die Sicherheit von Stehtankanlagen für flüssige Treib- und Brennstoffe*, 2004

[75] National Transportation Safety Board NTSB: Aviation accident statistics, Table 5, *Accidents, Fatalities and Rates*, 1987 - 2006, 14 CFR 121, Scheduled and Nonscheduled Service (Airlines), www.ntsb.gov/aviation

[76] National Transportation Safety Board NTSB: Annual Review of Aircraft Accident Data, U.S. General Aviation, Calendar Year 2003, National Transportation Safety Board 01.2007

[77] Boeing: *Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents Worldwide Operations 1959-2006,* 2007

[78] Kaschuba, M.: *Hagel. Entstehung, Verbreitung, Schäden, Abwehr und Vorhersage,* 2006 http://www.marco-kaschuba.com/hagel.pdf

[79] Bader, S.: *Tornados*, Bericht KKW Beznau, Meteoschweiz, 01.10. 2008

[80] Dotzek, N.: *An updated estimate of tornado occurence in Europe,* 2003

[81] Entwurf der HSK-Richtlinie A-05: *Probabilistische Sicherheitsanalyse (PSA): Qualität und Umfang*, Dezember 2008

[82] Kerntechnischer Ausschuss KTA: *Instrumentierung zur Ermittlung der Ausbreitung radioaktiver Stoffe in der Atmosphäre*, Sicherheitstechnische Regel des KTA, KTA 1508

[83] Vischer, D., L.: *Die Geschichte des Hochwasserschutzes in der Schweiz. Von den Anfängen bis ins 19. Jh*, 2003, In: Berichte des BWG, Serie Wasser, Nr. 5.

[84] Geo 7, Hunziker & Zarn und Partner, IUB Bern, Emch und Berger AG: *Extermhochwasser im Einzugsgebiet der Aare – EHW Aare*, Im Auftrag des Tiefbauamts und des Wasserwirtschaftsamtes des Kt. BE, 2008

[85] Petrascheck, A.: *Einfluss der 2. JGK auf die Bestimmung der Wahrscheinlichkeit von Hochwasser der Aare an der Pegelstelle Murgenthal*. Auftraggeber Kt. AG, Abt. Landschaft und Gewässer, 2008

[86] Bezzola, G.R., Hegg, C.: *Ereignisanalyse Hochwasser 2005*, Teil 1, Prozesse, *Schäden und erste Einordnung*. Bundesamt für Umwelt BAFU, Eidg. Forschungsanstalt WLS, Umweltwissen Nr. 0707.215 S, 2007

[87] Flussbau AG SAH: *Hydrologie Aare, Murgenthal – Koblenz, Hochwasserabflüsse*. Im Auftrag des Departements Bau, Verkehr und Umwelt des Kantons Aargau, 14.05.2008

[88] Bundesamt für Umwelt BAFU: *Hydrometrische Jahrbücher, Abflussmessungen, Pegelstände, Stationsdokumentation, Längs- und Querprofile, sowie ältere Unterlagen zu Pegelständen und Hochwassermarken entlang der Aare, Reuss und Limmat*, 2008

[89] Zschokke, T.: *Die Überschwemmungen in der Schweiz im September 1852*, 1855

[90] Klemesz, V.: *Dilettantism in Hydrology: Transition or Destiny?,* Water Resour. Res., 1986, 22 (9S), S.177-188.

[91] Richtlinien des BWG: *Sicherheit der Stauanlagen*, Version 1.1, November 2002

[92] Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich: *Neubau Hydraulisches Kraftwerk Beznau, Modellversuche über die Strömungsverhänltnisse und die Geschiebebewegung im erweiterten Oberwasserkanal und bei der Dotieranlage, sowie über die Änderung des Wehrreglementes zur Verbesserung des Geschwemmseltransportes im Unterwasser der Schiffahrtsschleuse* (Im Auftrag der Nordostschweizerischen Kraftwerke AG, Baden), Juli 1990

[93] Röthlisberger, G.: *Chronik der Unwetterschäden in der Schweiz*, Berichte WSL, 1991, Berichtnummer 330

[94] Pfister, C.: *Überschwemmungen und Niedrigwasser im Einzugsgebiet des Rheins 1500-2000*, 2005 In: Klötzli, F. et al.: *Der Rhein – Lebensader einer Region*, Naturforschende Gesellschaft in Zürich, S. 265-273.

[95] Konzept für die Stilllegung, TB-042-RS080025, Dezember 2008

[96] Nagra: *Vorschlag geologischer Standortgebiete für das SMA- und das HAA-Lager, Geologische Grundlagen*, Textband und Beilagenband, Nagra Technischer Bericht NTB 08-04, 2008

[97] Deichmann, N.: *Structural and rheological implications of lower-crustal earthquakes below northern Switzerland*. Phys. Earth Planet. Int. 69, 270-280, 1992

[98] Fraefel, M.*: Geomorphic response to neotectonic activity in the Jura Mountains and the southern Upper Rhine Graben*, Diss. Univ. Basel, 2008

[99] Graf, H.R.: *Die Deckenschotter der zentralen Nordschweiz*, Diss ETH Nr. 10205, 1993

[100] Jackli, H.: *Rutschung Schlosshalde*, Böttstein, Februar 1966

[101] Cornell, C.A.: *Engineering seismic risk analysis*, Bull. Seism. Soc. Am. 58, 1583-1606, 1968

[102] Cornell, C.A.: A *Probabilistic Analysis of Damage to Structures Under Seismic Loads*, Chapter 27 of Dynamic Waves in Civil Engineering, ed. by D. A. Howells et al., John Wiley & Sons Ltd., London, 1971

[103] United States Nuclear Regulatory Commission U.S. NRC NUREG/CR-6372: *Recommendations for Probalistic Seismic Hazard Analysis: Guidance on Uncertainty and Use of Experts*, 1997

[104] Lacave, C.: *Time Histories for Determination of Site Amplification Factors for magnitude 6 Using One-Dimensional TH-Method*, PEGASOS TP3-TN-0151, 2002

[105] Koller, M.: *PEGASOS Soil Profiles for Supporting Computations*, PEGASOS TP3-TN-0166, 2002

[106] Te Kamp, L.: *Spannungen auf der Mandacherstörung*, Report No 10-09, Itasca Consultants GmbH, Gelsenkirchen (D), 2009

[107] Giardini, D., Wiemer, S., Fäh, D., Deichmann, N., Sellami, S., Jenni, S., the Hazard Team of the Swiss Seismological Service: *Seismic Hazard Assessment 2004*. Swiss Seismol. Serv., ETH Zürich (81 p.), 2004

[108] Interoil: *Projekt OPAL-Phase 2, Standortuntersuchungen in Beznau*, Bericht IO08-TA0016 für die Nordostschweizerische Kraftwerke AG, 2009

[109] Thury, M. et al.: *Geology and Hydrogeology of the Crystalline Basement of Northern Switzerland*, Nagra NTB 93-01, 1994

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.2-1: Lage und Erschliessung des Standortes 6

Abbildung 2.2-2: Bestehende Anlagen auf der Insel Beznau (Ansicht aus Süden)..... 8

Abbildung 2.2-3: Bestehende Anlagen auf der Insel Beznau (Ansicht aus Norden) 9

Abbildung 2.2-4: Anordnung der bestehenden Anlagen auf der Insel Beznau 10

Abbildung 2.2-5: Layout mit Bauflächen..... 12

Abbildung 2.3-1: Anordnung der generischen Anlage am Standort Beznau 21

Abbildung 2.3-2: Visualisierung der Anlage EKKB auf der Insel Beznau (Ansicht aus dem Westen) 22

Abbildung 2.3-3: Visualisierung der Anlage EKKB auf der Insel Beznau (Ansicht aus dem Norden) 23

Abbildung 3.2-1: Geografische Lage des Standorts Beznau 44

Abbildung 3.2-2: Geografie der näheren Umgebung des Standorts 45

Abbildung 3.2-3: Verteilung der Gemeinden um den Standort 52

Abbildung 3.2-4: Bevölkerungszahlen in den Gefahrensektoren 54

Abbildung 3.2-5: Notfallschutzzone 1 für die Kernkraftwerke Beznau und Leibstadt..... 55

Abbildung 3.2-6: Gefahrensektoren 1 und 4 der Notfallschutzzone 2 55

Abbildung 3.2-7: Gefahrensektoren 2 und 5 der Notfallschutzzone 2 56

Abbildung 3.2-8: Gefahrensektor 3 der Notfallschutzzone 2 56

Abbildung 3.2-9: Bevölkerungszahlen in den Kreissektoren 57

Abbildung 3.2-10: Bevölkerungsentwicklung in Kanton Aargau und in Baden-Württemberg..... 62

Abbildung 3.2-11: Transiente Bevölkerung in den Kreissektoren 65

Abbildung 3.2-12: Bodennutzung in der näheren Umgebung des Standorts..... 68

Abbildung 3.2-13: Bodenutzung innerhalb der Notfallschutzzone 2 in der Schweiz 69

Abbildung 3.2-14: Darstellung der Bodennutzung innerhalb der Notfallschutzzone 2 inkl. Bundesrepublik Deutschland 70

Abbildung 3.3-1: Übersichtsplan industrielle Gefährdungen 106

Abbildung 3.3-2: Überdruck ausserhalb der DRM-Station nach Explosion eines stöchiometrischen Gas-Luft-Gemisches im Gasraum (480 m^3) der Station ... 117

Abbildung 3.3-3: Distanz der unteren Explosionsgrenze in Abhängigkeit von der plötzlich freigesetzten Menge ([72]) 120

Abbildung 3.3-4: Gefährdungen durch Transportwege 122

Abbildung 3.3-5: Flugphasen und prozentualer Anteil an den Unfällen 1996-2005. Hier wurde die Grafik aus [8] verwendet. 133

Abbildung 3.4-1: GEV-Verteilung der Temperatur für Basel 1981-2007, Buchs 1984-2007 und Beznau 1987-2007 basierend auf tiefsten (links) und höchsten (rechts) Stundenmitteln pro Monat der Temperatur [°C] 149

Abbildung 3.4-2: Normierte Verteilung der Feuchtkugel-Temperatur in der Periode 1987-2007 für Basel (blau) und Buchs (grün) 152

Abbildung 3.4-3: Normierte Verteilung der relativen Feuchte in der Periode 1987-2007 für Basel und Buchs sowie in der Periode 2002-2006 für Leibstadt 153

Abbildung 3.4-4: Verteilung der Vereisungsgefahr in Funktion der Tageszeit 155

Abbildung 3.4-5: Normierte Verteilung des atmosphärischen Drucks in der Periode 1987-2007 für Basel und Buchs 157

Abbildung 3.4-6: GEV-Verteilung der Böenspitzen für Basel 1981-2007 16 m, Buchs 1984-2007 10 m, Leibstadt 1987-2007 10 m und 110 m und PSI 1992-2007 70 m ü.B. [m/s] 160

Abbildung 3.4-7: GEV-Verteilung des maximalen 10-min. Mittels der Windgeschwindigkeit für Beznau 1987-2007 10 m und 70 m, Leibstadt 1987-2007 10 m und 110 m und PSI 1992-2007 70 m ü.B. [m/s]. 161

Abbildung 3.4-8: GEV-Verteilung für das maximale Stundenmittel der Windgeschwindigkeit für Basel 1981-2007 16 m und Buchs 1984-2007 10 m, Beznau 1987-2008 10 m und 70 m, Leibstadt 1987-2007 10 m und 110 m und PSI 1992-2007 70 m ü.B. [m/s] 162

Abbildung 3.4-9: Zeitreihe der monatlichen Böenspitze PSI 70 m ü.M. ab 01/1992 mit den Niveaus der 50-, 100- und 200-jährigen Ereignisse 168

Abbildung 3.4-10: Windrose der Hauptwindrichtung Basel 1981-2007 (ganzes Jahr) 169

Abbildung 3.4-11: Windrose der Hauptwindrichtung Buchs 1984-2007 (ganzes Jahr) 169

Abbildung 3.4-12: Windrose der Hauptwindrichtung Beznau 1987-2007 10 m ü.B. 170

Abbildung 3.4-13: Windrose der Hauptwindrichtung Beznau 1987-2007 70 m ü.B. (ganzes Jahr) 170

Abbildung 3.4-14: Windrose der Hauptwindrichtung PSI 1992-2007 70 m ü.B. (ganzes Jahr)... 171

Abbildung 3.4-15: Jährliche Windrichtungsverteilung für Basel, Buchs und Beznau 10 und 70 m ü.B. und Leibstadt 10 und 70 m ü.B. 172

Abbildung 3.4-16: Lage der Messmasten der Standorte Beznau (links) und PSI (rechts) 173

Abbildung 3.4-17: GEV-Verteilung der stündlichen Niederschlagsmengen [mm] für Basel 1981-2007, Buchs 1984-2007, Beznau 1987-2007 und Leibstadt 1987-2007 177

Abbildung 3.4-18: GEV-Verteilung der täglichen Niederschlagsmengen [mm] für Basel 1865-1980, Basel 1981-2007, Buchs 1984-2007, Beznau 1987-2007 und Leibstadt 1987-2007 178

Abbildung 3.4-19: GEV-Verteilung der 5-tägigen Niederschlagsmengen [mm] für Basel 1865-1980, Basel 1981-2007, Buchs 1984-2007, Beznau 1987-2007 und Leibstadt 1987-2007 179

Abbildung 3.4-20: Höchste vorgekommene Gesamtschneehöhe pro Jahr in Basel 1931–2007 und Buchs 1984–2007. 183

Abbildung 3.4-21: Registrierte Tornados (T) in der Schweiz. Mit W sind registrierte Tornados über Wasserflächen festgehalten, welche im Volkmund oft als "Wasserhosen" bezeichnet werden [79]. 192

Abbildung 3.4-22: Tornadoaktivität in der Schweiz; das blaue Dreieck umfasst die Fläche mit > 95% der Schweizer Tornado-Beobachtungen (Daten von , Karte von) 194

Abbildung 3.4-23: Die in der Nordschweiz von Tornados betroffene Region 195

Abbildung 3.4-24: Jährliche Blitzdichteverteilung jeden Jahres von 2000-2007. Der schwarze Kreis lokalisiert Beznau 198

Abbildung 3.4-25: Monatliche Blitzdichteverteilung der blitzarmen Saison von November bis April. Der schwarze Kreis lokalisiert Beznau 199

Abbildung 3.4-26: Monatliche Blitzdichteverteilung der blitzreichen Saison von Mai bis Oktober. Der schwarze Kreis lokalisiert Beznau 200

Abbildung 3.4-27: Mittlere Temperatur in Beznau von 1865-2007 206

Abbildung 3.4-28: Mittlere Temperatur in Basel (oben) und Bern (unten) während dem betrachteten Zeitraum von ca. 150 Jahren. 208

Abbildung 3.4-29: Mittleres Tagesminimum (links) und –maximum (rechts) in Basel (oben) und Bern (unten). 209

Abbildung 3.4-30: Jahressumme des Niederschlags in Basel (oben) und Bern (unten) während der letzten 150 Jahre. 210

Abbildung 3.4-31: Zukunftsszenarien Temperatur (Alpennordseite) 213

Abbildung 3.4-32: Zukunftsszenarien Temperatur, DJF, Daten ab 1865 214

Abbildung 3.4-33: Charakteristischer Wert für den Staudruck für Beznau gemäss SIA-Norm 261 220

Abbildung 3.4-34: Beispiel eines Standortvergleiches zwischen Buchs und Beznau. 224

Abbildung 3.4-35: Beispiel einer Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (pdf) und einer kumulativen Verteilungsfunktion (cdf) 225

Abbildung 3.4-36: Beispiel einer GEV mit hinterlegtem Histogramm der Blockmaxima, welche in die Statistik eingeflossen sind. 226

Abbildung 3.4-37: Bestimmung des 100-jährigen Ereignisses aus einer GEV mit Blockmax von 1 Jahr. 228

Abbildung 3.4-38: Windrose der Hauptwindrichtung Basel 1981-2007 pro Monat (Jan-Mar, Apr- Jun, Jul-Sep, Okt-Dez)..... 239

Abbildung 3.4-39: Windrose der Hauptwindrichtung Buchs 1984-2007 pro Monat (Jan-Mar, Apr-Jun, Jul-Sep, Okt-Dez)..... 240

Abbildung 3.4-40: Windrose der Hauptwindrichtung Beznau 1987-2007 10 m ü.B. pro Monat (Jan-Mar, Apr-Jun, Jul-Sep, Okt-Dez) 241

Abbildung 3.4-41: Windrose der Hauptwindrichtung Beznau 1987-2007 70 m ü.B. pro Monat (Jan-Mar, Apr-Jun, Jul-Sep, Okt-Dez) 242

Abbildung 3.4-42: Windrose der Hauptwindrichtung PSI 1992-2007 70 m ü.B. pro Monat (Jan-Mar, Apr-Jun, Jul-Sep, Okt-Dez) 243

Abbildung 3.5-1: Oberflächenwasser; Stauwehrstandorte der grösseren ober – und unterliegenden Wasserkraftwerke..... 261

Abbildung 3.5-2: Das Einzugsgebiet der Aare 263

Abbildung 3.5-3: Potentielle Austrittsstellen und Überflutungsbereiche zwischen Hagneckkanal, Bielersee und Solothurn bei extremen Hochwasserereignissen..... 264

Abbildung 3.5-4: Die Steinerne Strassenbrücke über die Aare in Brugg mit den drei Hochwassermarken von 1852, 1881 und 1876 [88]..... 265

Abbildung 3.5-5: Historische Hochwasser an der Aare seit ca. 1200, Charakterisierung der einzelnen Hochwasser anhand der Schilderungen in den untersuchten Quellen 266

Abbildung 3.5-6: Jahreshochwasser am Pegel Aare-Döttingen, Stilli und Untersiggenthal (BAFU) ergänzt mit rekonstruierten Hochwasserabflüssen basierend auf Pegelablesungen resp. Hochwassermarken..... 268

Abbildung 3.5-7: Frequenzdiagramm der Jahreshochwasser am Pegel Aare-Brugg, Reuss-Mellingen und Limmat-Baden ergänzt mit rekonstruierten Hochwasserabflüssen basierend auf Pegelablesungen resp. Hochwassermarken..... 269

Abbildung 3.5-8: Das Frequenzdiagramm der Jahreshochwasser der Aare in Untersiggenthal (1904–2007) ergänzt mit den rekonstruierten Hochwasserabflüssen aus historischen Daten (orange) und den Abflüssen aus den Szenarien (violett)..... 272

Abbildung 3.5-9: Die Dauerkurven des Abflusses der Aare in Untersiggenthal vor und nach der JGK II und als Mittel (1904-2007)..... 275

Abbildung 3.5-10: Die Dauerkurven des Abflusses der Aare in Untersiggenthal in trockenen Jahren (1921,1949 und 2003) und in nassen Jahren (1970 und 1999)..... 276

Abbildung 3.5-11: Die Monatsmittel des Abflusses der Station Aare-Untersiggenthal von 1904-2007 (1904-1934: Döttingen, 1935-1974: Stilli) und ihr Schwankungsbereich 277
Abbildung 3.5-12: Frequenzdiagramm der Jahresabflussminima der Aare-Untersiggenthal 278
Abbildung 3.5-13: Die Häufigkeit von Perioden mit Niedrigwasserführung (Abflüsse < 300 m^3/s) unterschiedlicher Dauer der Aare in Untersiggenthal von 1904-2007 . 278
Abbildung 3.5-14: Die Abflussjahre 1912, 1979 und 1994, die bezüglich Dauerkurve einem mittleren Jahr entsprechen 279
Abbildung 3.5-15: Verlauf der Hochwasserwelle bei $HQ_{10'000}$ 284
Abbildung 3.5-16: Maximal auftretende Wassertiefe im Bereich der Insel Beznau 285
Abbildung 3.5-17: Abfluss der Limmat vor Wasserschloss nach einem Bruch des KW Wettingen 286
Abbildung 3.5-18: Maximale Wassertiefe Bruch KW Wettingen 287
Abbildung 3.5-19: Maximale Wassertiefe sequentieller Bruch KRA und KWWB 288
Abbildung 3.5-20: Maximale Wassertiefe kombinierter Bruch KRA, KWWB, KWW 289
Abbildung 3.5-21: Verlauf der Hochwasserwelle des Überlastfall-Beispiels ($HQ_{10'000}$ × 1.2) 291
Abbildung 3.5-22: maximale Wassertiefe bei einem Abfluss von 5040m^3/s 292
Abbildung 3.5-23: Dauerkurve der Wassertemperaturen der Aare in Untersiggenthal für kühle Jahre (1970, 1987) und warme Jahre (1976, 2000 und 2003) mit der mittleren Dauerkurve (Auswertungsperiode: 1963-2007) 294
Abbildung 3.5-24: Entwicklung der Jahresmittel-Temperatur der Aare in Untersiggenthal (Periode: 1963–2007) 295
Abbildung 3.5-25: Fotografien aus dem Stadtarchiv Brugg, Januar 1905: Die Aare bei Brugg ist überfroren [30] 296
Abbildung 3.5-26: Anzahl Jahre mit gefrorenen grossen Seen oder Flüssen in der Schweiz und Angaben zu sehr kalten Wintern (9.-21. Jahrhundert) sowie Seegfrörni Zürich- und Bodensee 303
Abbildung 3.5-27: Gefrieren von Schweizer Mittellandseen im Vergleich zur Aare im Bereich des Wasserschlosses 305
Abbildung 3.5-28: Mittelwerte der Winterabflüsse der Messstation Aare-Untersiggenthal 306
Abbildung 3.5-29: Anzahl Frosttage der Stationen Bern und Basel im Winterhalbjahr (01.10. Vorjahr bis 31.03.) 307
Abbildung 3.5-30: Anzahl Tage mit Mitteltemperaturen < -10 °C der Stationen Bern und Basel im Winterhalbjahr (01.10. Vorjahr bis 31.03.) 307
Abbildung 3.5-31: Summe der negativen Tagesmittelwerte mit Trend und 3-Monats-Mittel des Abflusses 308

Abbildung 3.5-32: Frostgradtage mit Trend, gleitendem Durchschnitt und Winterminimaltemperatur 309
Abbildung 3.5-33: Dauer minimale Frostgradtage mit Trend, gleitendem Durchschnitt und Winterminimaltemperatur 310
Abbildung 3.6-1: Isohypsen der Felsoberfläche, Raum Beznau 313
Abbildung 3.6-2: Situation1:5000, Isohypsen des Grundwasserspiegels Juli 2008 316
Abbildung 3.6-3: Infiltrations- / Vorflutverhältnisse 317
Abbildung 3.6-4: Ganglinien des Grundwasserspiegels in ausgewählten Pumpwerken, 1975-2007 320
Abbildung 3.6-5: Situation mit Lage der Grundwasserfassungen im Unteren Aaretal (Stand Juni 2008) 323
Abbildung 3.6-6: Situation mit Lage der Temperaturmessstellen und Chemie-Messstellen im Umfeld des KKB 325
Abbildung 3.6-7: Chemische Beschaffenheit des Aarewassers bei Felsenau, Teil 1 327
Abbildung 3.6-8: Chemische Beschaffenheit des Aarewassers bei Felsenau, Teil 2 328
Abbildung 3.6-9: Chemische Provinzen, Karbonathärte und Sauerstoffgehalt 329
Abbildung 3.6-10: Chemische Beschaffenheit des Grundwassers im Pumpwerk Beznau, Teil 1 331
Abbildung 3.6-11: Chemische Beschaffenheit des Grundwassers im Pumpwerk Beznau, Teil 2 332
Abbildung 3.6-12: Ganglinien der Temperatur in den Aaremessstellen T 22 und Untersiggenthal, 1984-2007 334
Abbildung 3.6-13: Situation mit Lage der Temperaturmessstellen im Umfeld des KKB 337
Abbildung 3.6-14: Angaben zu den Temperaturamplituden und zur Temperaturverzögerung. 338
Abbildung 3.6-15: Ganglinien der Fluss- und Grundwassertemperatur in ausgewählten Messstellen 1968-2007 339
Abbildung 3.6-16: Querprofil bestehender Gebäude 344
Abbildung 3.6-17: Querprofil EKKB 345
Abbildung 3.6-18: Ausschnitt aus der Grundwasserkarte des Kantons Aargau 349
Abbildung 3.6-19: Isohypsen der Felsoberfläche / Untergrenze Schotter 354
Abbildung 3.6-20: Verteilung der Durchlässigkeitswerte im Modell 356
Abbildung 3.6-21: Hydraulische Ergebnisse der Modellanalyse 358
Abbildung 3.6-22: Grundwassermächtigkeit bei Mittelwasser gemäss Modell im Bereich der Beznau-Insel 359

Abbildung 3.6-23: Isohypsen der Grundwasseroberfläche bei Mittelwasser gemäss Modell (schwarz) im Vergleich zur Grundwasserkarte (blau) 360

Abbildung 3.6-24: Situation 1:5000 mit Lage des Nano-Brunnens (HB), des Notbrunnens (NB), der Versuchsbrunnen VB1 und VB2 sowie von Beobachtungsstellen .. 361

Abbildung 3.6-25: 10-tägiger Pumpversuch im Notstandsbrunnen Februar 1988 (Q = 240 l/s), Vergleich zwischen gemessenen und simulierten Ganglinien der Grundwasserspiegel 363

Abbildung 3.6-26: Isohypsen der Grundwasseroberfläche bei Niederwasser 365

Abbildung 3.6-27: Isohypsen der Grundwasseroberfläche bei Mittelwasser und Notstandsbetrieb nach 30 Tagen (500 l/s) 367

Abbildung 3.6-28: Ganglinien der Grundwasserspiegel in den Notstandsbrunnen (Projekt-Zustand MW) 368

Abbildung 3.6-29: Isohypsen der Grundwasseroberfläche bei Niederwasser und Notstandsbetrieb nach 30 Tagen (500 l/s) 370

Abbildung 3.6-30: Isohypsen der Grundwasseroberfläche bei Mittelwasser und Wegfallen der Stauhaltung (schwarz) im Vergleich zur Grundwasserkarte (blau) 372

Abbildung 3.6-31: Isohypsen der Grundwasseroberfläche bei Mittelwasser und Wegfallen der Stauhaltung; Pumpbetrieb im bestehenden und im neuen Notstandsbrunnen: gesamt 500 l/s (Zustand nach 30 Tagen) 373

Abbildung 3.6-32: Chemische Beschaffenheit des Grundwassers im PW Unterwald, Döttingen, Teil 1 379

Abbildung 3.6-33: Chemische Beschaffenheit des Grundwassers im PW Unterwald, Döttingen, Teil 2 380

Abbildung 3.6-34: Chemische Beschaffenheit des Grundwassers im PW Beim Schulhaus, Böttstein, Teil 1 381

Abbildung 3.6-35: Chemische Beschaffenheit des Grundwassers im PW Beim Schulhaus, Böttstein, Teil 2 382

Abbildung 3.6-36: Chemische Beschaffenheit des Grundwassers im Brunnen 1001, Kleindöttingen, Teil 1 383

Abbildung 3.6-37: Chemische Beschaffenheit des Grundwassers im Brunnen 1001, Kleindöttingen, Teil 2 384

Abbildung 3.6-38: Ganglinien der Temperatur in der Aare, Messstelle T22, Oberwasserkanal, 1968-2007 385

Abbildung 3.6-39: Ganglinien der Temperatur in der Aare, Messstelle T4, unterhalb des KKB, 1976-2007 385

Abbildung 3.6-40: Ganglinien der Temperatur im Beobachtungsrohr 518, 1968-2007 386

Abbildung 3.6-41: Ganglinien der Temperatur im PW Unterwald, Döttingen (11.16), 1976-2007 386
Abbildung 3.6-42: Ganglinien der Temperatur im Beobachtungsrohr 553T, 1968-2007 387
Abbildung 3.6-43: Ganglinien der Temperatur im Beobachtungsrohr 555H, 1968-2007..... 387
Abbildung 3.6-44: Ganglinien der Temperatur im Beobachtungsrohr 558, 1968-2007 388
Abbildung 3.6-45: Ganglinien der Temperatur im Brunnen 1001, Kleindöttingen, 1968-2007.. 388
Abbildung 3.6-46: Ganglinien der Temperatur im PW beim Schulhaus, Kleindöttingen (11.08), 1968-2007 389
Abbildung 3.7-1: Geomorphologie des unteren Aaretals 392
Abbildung 3.7-2: Bohrprofil der Bohrung Beznau (vereinfachte Version aus [53]) 394
Abbildung 3.7-3: Die Mandacher Überschiebung westlich des Aaretals (aus [96], ergänzt)..... 397
Abbildung 3.7-4: Übersicht über vorhandene Bohrungen und die im Rahmen des OPAL-Projekts durchgeführten Feldarbeiten 400
Abbildung 3.7-5: Neuinterpretation der Felsisohypsen im Gebiet Beznau, aus vorhandenen Daten und Ergebnissen des OPAL-Standortuntersuchungsprogramms. 402
Abbildung 3.7-6: Felsisohypsen-Karte Beznau aus dem Jahr 1984 [44] 407
Abbildung 3.7-7: Isohypsenkarte Top Lias mit dem Verlauf der Mandacher Überschiebung südlich der Insel Beznau aus vorhandenen Daten und Ergebnissen des OPAL-Standortuntersuchungsprogramms. 408
Abbildung 3.7-8: Ausschnitt aus der Grundwasserkarte des Kantons Aargau 410
Abbildung 3.7-9: Tektonische Übersichtskarte (aus [96], ergänzt) 411
Abbildung 3.7-10: Sockelstrukturen (aus Nagra NTB 08-04 [96]) 413
Abbildung 3.7-11: Digitales Geländemodell des Gebietes Unterwald 415
Abbildung 3.7-12: Rezente vertikale Krustenbewegungen (aus [52]) 416
Abbildung 3.7-13: Orientierung des rezenten Spannungsfeldes (aus [96]) 418
Abbildung 3.7-14: Seismizität und Herdtiefenverteilung (aus [96]) 420
Abbildung 3.7-15: Geologisches Profil durch das Bauareal mit dem Verlauf der Lockergesteinsschichten und der Lage der Felsoberfläche 421
Abbildung 3.7-16: Schematischer Aufbau des Baugrundes mit Schichtmächtigkeiten 422
Abbildung 3.7-17: Normierter Schubmodul der Schotterproben Beznau als Funktion der Schubdehnung 425
Abbildung 3.7-18: Dämpfungsverhältnis der Schotterproben Beznau als Funktion der Schubdehnung 426
Abbildung 3.7-19: Grundwassermessstellen und Isohypsen Grundwasserspiegel (11.07.2008) 427

Abbildung 3.7-20: Seismische Gefährdungskarte des Schweizerischen Erdbebendienstes. 430

Abbildung 3.7-21: Gefährdungskurve für Beznau, Horizontalkomponente für Fels, Oberfläche, PGA. 437

Abbildung 3.7-22: Gefährdungsspektrum ('Uniform Hazard Spectrum') für Beznau, Horizontalkomponente, Fels für eine jährliche Überschreitungswahrscheinlichkeit von 10^{-4} und 5% (der kritischen) Dämpfung. 437

Abbildung 3.7-23: PGA-Mittelwerte für harten Fels (3000 m/s) bei einer jährlichen Überschreitungswahrscheinlichkeit von 10^{-4} im zentralen und östlichen Teil der USA (berechnet auf der Basis einer USGS-Gefährdungskarte). 439

Abbildung 3.7-24: Ausschnitt aus der PEGASOS Quellencharakterisierung-Datenbasis in der Umgebung von Beznau ('Seismotektonisches Modell')..... 442

Abbildung 3.7-25: Architektur des Untergrundes im Bereich der Insel Beznau auf einem Ausschnitt der reflexionsseismischen Sektion 82NX40 (N: links)..... 445

Abbildung 3.7-26: Herdtiefenverteilungen für Magnitude 5 in der Nordschweiz. Entwickelt von den vier SP1 (Quellencharakterisierungs-) Expertengruppen..... 447

Abbildung 3.7-27: Die 10 wichtigsten Beiträge von Einzelquellen zum Mittelwert der Gefährdung in Beznau gemäss dem Quellenmodell der Expertengruppe EG1a. (Horizontalkomponente, Oberfläche, Fels, PGA). Zu beachten sind insbesondere die Gefährdungsbeiträge der alternativ modelierten 'host zones' E3A und E3B (vgl. Abbildung 3.7-29 und Abbildung 3.7-30). 448

Abbildung 3.7-28: Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Maximalmagnituden für Quellenzonen in der Nordschweiz. 450

Abbildung 3.7-29: Beispiel eines Quellenzonierungsmodells der Expertengruppe EG1a. 451

Abbildung 3.7-30: Quellenzonierungsmodelle der Expertengruppe EG1a dargestellt als gewichtete Äste eines 'Logic Trees'. 452

Abbildung 3.7-31: Scherwellen-Geschwindigkeitsmodelle 1-3 am Standort KKB nach Einschätzung der vier PEGASOS SP3 (Standorteffekt-) Experten in schwarz [105]..... 454

Abbildung 3.7-32: Provisorischer Vergleich der für den KKB- (rote Kurve) und den EKKB-Standort (blaue Kurve) berechneten mittleren Amplifikationsfunktionen. 455

Abbildung 3.7-33: Beiträge zur seismischen Gefährdung am Standort Beznau (Fels) nach Magnitude, Distanz und ϵ für eine Horizontalbeschleunigungsamplitude von 0.05g und eine Frequenz von 0.5 Hz 457

Abbildung 3.7-34: Beiträge zur seismischen Gefährdung am Standort Beznau (Fels) nach Magnitude, Distanz und ϵ für eine Horizontalbeschleunigungsamplitude von 0.7g und eine Frequenz von 100 Hz (PGA)..... 457

Abbildung 3.7-35: Zur Reaktivierung von Störungen im Grundgebirge: Seismische Linie 83-NF-55 im Bereich CMP 700 aus dem NTB 08-04. 459

Abbildung 3.7-36: Nagra Linie 82NX40, uninterpretiert und interpretiert. 461

Abbildung 3.7-37: Nagra-Linie 82NF50, uninterpretiert (oben) und interpretiert (unten)..... 462

Abbildung 3.7-38: Im numerischen Modell berücksichtigte geologische Formationen mit ihren Materialkennwerten..... 463

Abbildung 3.7-39: Netzstruktur der deformierbaren Elemente (Ausschnitt) 463

Abbildung 3.7-40: Verschiebungsvektoren in der Umgebung der Überschiebungsfläche zur Zeit des Versagens der Überschiebungsfläche (oben) und weit im Post-Failure-Bereich (unten) für den Rechenfall mit 10° Reibungswinkel..... 464

Abbildung 3.7-41: Verlauf der integralen gemittelten Scherspannung auf der Überschiebungsfläche als Funktion der Modellverkürzung für den Rechenfall mit 10° Reibungswinkel (links) und 15° Reibungswinkel (rechts). 464

Abbildung 3.7-42: Beschleunigungsantwortspektren der am Standort Beznau (Felsinstrumentierung) seit 1969 registrierten Erdbeben. Horizontalkomponente, 5% kritische Dämpfung 467

Abbildung 3.8-1: Hochspannungsleitungen um Beznau, Ist- Zustand 476

Abbildung 3.8-2: Auswertung der Nichtverfügbarkeitsstatistik für den Standort Beznau zwischen dem 01.01.1998 und dem 10.01.2008 478

Abbildung 5.3-1: Die Funktion "Bewilligungsmanagement" und ihre Schnittstellen für die Projektphase Rahmenbewilligung 504

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.3-1: Dimensionen der wichtigsten Bauten der generischen Anlage 16

Tabelle 2.4-1: Überblick über externe Ereignisse, welche zu externen Störfällen oder Einwirkungen führen können 35

Tabelle 2.4-2: Externe Ereignisse und Folgeereignisse (hier werden nur Ereignisse mit identifizierten Folgeereignissen aufgeführt) 37

Tabelle 3.2-1 : Bevölkerung der Gemeinden in Zone 1 51

Tabelle 3.2-2: Bevölkerungsverteilung im Umkreis von 20 km 58

Tabelle 3.2-3: Durchschnittliche Bevölkerungsdichten in der Umgebung Beznau (inkl. deutsches Gebiet) 59

Tabelle 3.2-4: Ballungszentren im Umkreis von 20 km 60

Tabelle 3.2-5: Übrige transiente Bevölkerung innerhalb von 20 km in der Schweiz 64

Tabelle 3.2-6: Übrige transiente Bevölkerung innerhalb von 20 km in Deutschland 64

Tabelle 3.2-7: Übrige transiente Bevölkerung innerhalb von 20 km nach Sektoren 65

Tabelle 3.2-8: Aktuelle Bevölkerungszahlen der Gemeinden im Umkreis von 20 km 73

Tabelle 3.2-9: Bevölkerungsentwicklung der Gemeinden im Umkreis von 20 km 80

Tabelle 3.2-10: Arbeitsstätten und Beschäftigte innerhalb von 20 km 87

Tabelle 3.2-11: Bodennutzung im Umkreis von 10 km (ha) 93

Tabelle 3.2-12: Bodennutzung im Umkreis von 20 km (ha) 96

Tabelle 3.3-1: Für den Standort EKKB potentiell gefährliche Industriebetriebe im näheren Umkreis bis zu 2 km, welche der Störfallverordnung unterliegen... 107

Tabelle 3.3-2: Für den Standort EKKB potentiell gefährliche Industriebetriebe im weiteren Umkreis (2-8 km), welche der Störfallverordnung unterliegen..... 108

Tabelle 3.3-3: Für den Standort EKKB ungefährliche Industriebetriebe im Umkreis von bis zu 8 km, welche der Störfallverordnung unterliegen. 109

Tabelle 3.3-4: Relative Dichte, Dichte und Zündtemperatur von Erdgas, Propan und Luft bei Normalbedingungen 113

Tabelle 3.3-5: Versagensraten einer 28"/70-bar Leitung mit einer Wandstärke von 5.6 mm 115

Tabelle 3.3-6: Berechnete Feuerballradien für 46 t und 20 t freigesetztes Flüssig-Propangas 121

Tabelle 3.3-7: Absturzhäufigkeiten von zivilen Flugzeugen, Militärflugzeugen und Helikoptern 127

Tabelle 3.3-8: Betrachtete Flug-Korridore und Anzahl Flüge 131

Tabelle 3.3-9: Flugbewegungen im Jahr 2007 135
Tabelle 3.3-10: Inputdaten und Ergebnisse für das Modell ohne gekröpften Nordanflug.... 136
Tabelle 3.3-11: Inputdaten und Ergebnisse für das Modell mit gekröpftem Nordanflug 136
Tabelle 3.4-1: Verwendete Stationen und Parameter 141
Tabelle 3.4-2: Höchste Stundenwerte der Windgeschwindigkeit pro Monat. Stundenwertbildung zu unterschiedlichen Zeitabschnitten am Beispiel des Standortes Beznau 10 m ü.B. für den Zeitraum von 1988-2007 (Einheit: [m/s]) 142
Tabelle 3.4-3 : Abweichungen Basel-Buchs, 1984-2005 143
Tabelle 3.4-4: Abweichung der Temperatur pro Monat, Basel-Buchs, 1984-2005 144
Tabelle 3.4-5: Abweichung der Feuchtkugel-Temperatur pro Monat. Basel-Buchs, 1984-2005 144
Tabelle 3.4-6: Abweichungen Basel-Beznau, 1987-2005 145
Tabelle 3.4-7: Abweichungen Buchs-Beznau, 1987-2005 145
Tabelle 3.4-8: Abweichungen Buchs-Leibstadt, 2002-2006 145
Tabelle 3.4-9: Abweichungen PSI-Beznau, 1992-2005 145
Tabelle 3.4-10: Historische Maxima der Temperaturen 146
Tabelle 3.4-11: Historische Minima der Temperaturen 146
Tabelle 3.4-12: Basel 1865-1980 max / min Temperatur [°C] 147
Tabelle 3.4-13: Basel 1981-2007 max / min 10-Minuten Mittel Temperatur [°C] 147
Tabelle 3.4-14: Beznau 10 m ü. B. 1987-2007 max / min 10-Minuten Mittel Temperatur [°C] 147
Tabelle 3.4-15: Beznau 70 m ü. B. 1987-2007 min / max 10-Minuten Mittel Temperatur [°C] 147
Tabelle 3.4-16: Leibstadt Sensor 1 110 m ü. B. 1987-2007 max / min 10-Minuten Mittel Temperatur [°C] 147
Tabelle 3.4-17: Basel 1981-2007 tiefster / höchster stündlicher Mittelwert Temperatur [°C] 148
Tabelle 3.4-18: Buchs 1984-2007 tiefster / höchster stündlicher Mittelwert Temperatur [°C] 148
Tabelle 3.4-19: Beznau 10 m ü. B. 1987-2007 tiefster / höchster stündlicher Mittelwert Temperatur [°C] 148
Tabelle 3.4-20: Beznau 70 m ü. B. 1987-2007 tiefster / höchster stündlicher Mittelwert Temperatur [°C] 148
Tabelle 3.4-21: Leibstadt Sensor 11987-2007 tiefster / höchster stündlicher Mittelwert Temperatur [°C] 148

Tabelle 3.4-22: Parameter der GEV-Verteilung 150
Tabelle 3.4-23: Erwartete tiefste (obere Tabelle) / höchste (untere Tabelle) Stundenmittel der Temperatur [°C] für Basel, Buchs und Beznau für verschiedene Wiederkehrperioden. In eckigen Klammern ist das 95% Konfidenzintervall angegeben. 151
Tabelle 3.4-24: Anzahl Stunden pro Monat der Gefahr für Vereisung [h] 155
Tabelle 3.4-25: Prozentualer Anteil der Gefahr für Vereisung pro Monat [%] 155
Tabelle 3.4-26: Prozentualer zeitlicher Jahresanteil der Gefahr der Vereisung [%] 155
Tabelle 3.4-27: Historischer Maximal- / Minimal-Druck 156
Tabelle 3.4-28: Historische maximale Windböen 158
Tabelle 3.4-29: Monatliche maximale Windböen Basel 1981-2007 16 m ü.B., Buchs 1984-2007 10 m ü.B., Leibstadt 1987-2007 10 und 110 m ü.B. und PSI 1992-2007 70 m ü.B. in [m/s] 158
Tabelle 3.4-30: Höchste Stundenmittelwerte der Windgeschwindigkeit Basel 1981-2007 16 m ü.B., Buchs 1984-2007 10 m ü.B., Beznau 1987-2007 10 m und 70 m ü.B., Leibstadt 1987-2007 10 und 110 m ü.B. und PSI 1992-2007 70 m ü.B. in [m/s] 159
Tabelle 3.4-31: Parameter der GEV-Verteilung 161
Tabelle 3.4-32: Parameter der GEV-Verteilung 162
Tabelle 3.4-33: Parameter der GEV-Verteilung 163
Tabelle 3.4-34: Erwartete maximale Böenspitzen in Basel, Buchs, Leibstadt und beim PSI für verschiedene Wiederkehrperioden und der zu erwartende Winddruck ρ_W. (KI = Konfidenzintervall) 164
Tabelle 3.4-35: Erwartetes maximales 10-min. Mittel Beznau 10 m und 70 m, Leibstadt 10 m und 110 m und PSI 70 m ü.B. für verschiedene Wiederkehrperioden und der zu erwartende Winddruck ρ_W. (KI = Konfidenzintervall) 165
Tabelle 3.4-36: Erwartetes maximales Stunden-Mittel Basel 10 m, Buchs 10 m, Beznau 10 m und 70 m, Leibstadt 10 m und 110 m und PSI 70 m ü.B. für verschiedene Wiederkehrperioden und der zu erwartende Winddruck. (KI = Konfidenzintervall) 166
Tabelle 3.4-37: Wahrscheinlichkeit, dass ein Extremereignis eintritt 168
Tabelle 3.4-38: Historische stündliche Maximum-Niederschlagsmenge [mm] 174
Tabelle 3.4-39: Höchste Tages-Niederschlagsmengen [mm] 174
Tabelle 3.4-40: Höchste 5 Tages-Niederschlagsmenge [mm] 174
Tabelle 3.4-41: min. / max. monatliche Niederschlagsmenge [mm] 175
Tabelle 3.4-42: Mittlere monatliche Niederschlagsmenge [mm] 175

Tabelle 3.4-43: Mittlere Anzahl Stunden pro Monat mit einer Niederschlagsmenge ≥ 0.1mm [h] ... 176

Tabelle 3.4-44: Mittlere Anzahl Tage pro Monat mit einer Niederschlagsmenge ≥ 1.0 mm [Tage] ... 176

Tabelle 3.4-45: Parameter der GEV-Verteilung ... 178

Tabelle 3.4-46: Parameter der GEV-Verteilung ... 179

Tabelle 3.4-47: Parameter der GEV-Verteilung ... 180

Tabelle 3.4-48: Erwartete maximale Niederschlagssumme [mm] für Basel, Buchs und Beznau für verschiedene Wiederkehrperioden. Die Ableitung der 1000- und 10'000 jährigen Niederschlagssumme ist als Folge der Kürze der Datenreihe mit signifikanten Unsicherheiten begleitet. ... 180

Tabelle 3.4-49: Erwartete Niederschlagsmenge in Basel, Buchs, Beznau und Leibstadt für verschiedene Wiederkehrperioden für das 5-Minuten-Mittel [mm] für verschiedene Verhältnisse 5 min/1 Stunde ... 182

Tabelle 3.4-50: Historische Gesamtschneehöhen ... 183

Tabelle 3.4-51: Erwartete Gesamtschneehöhe und Schneelasten für Basel für verschiedene Wiederkehrperioden. (KI = Konfidenzintervall). Für die mittlere Raumlast von Schnee wurde gemäss (SIA Norm 261: 2003) 3 kN/m^3 angenommen ... 183

Tabelle 3.4-52: Anzahl Hageljahre (Hageljahr = 1 Mal Hagel im Jahr) in der Umgebung von Beznau im Zeitraum von 1961-2004 ... 184

Tabelle 3.4-53: Die Fallgeschwindigkeit und Aufprallenergie von Hagelkörner in Abhängigkeit von der Korngrösse [78][... 185

Tabelle 3.4-54: Mittlere stündliche solare Einstrahlung [W/m^2], Buchs 1984-2007 ... 186

Tabelle 3.4-55: Die Fujita-Skala zur Beschreibung der Stärke von Tornados auf der Basis von Schäden ... 188

Tabelle 3.4-56: Die TORRO-Skala zur Beschreibung der Stärke europäischer Tornados auf der Basis von Windgeschwindigkeiten ... 189

Tabelle 3.4-57: Tornadobeobachtungen in der Schweiz ab 1890-2008 ... 193

Tabelle 3.4-58: Historische Beobachtungen von Tornados in der Beznau Region und abgeschätzte Winddrücke pW ... 197

Tabelle 3.4-59: Historische schwere Sturmereignisse in der Schweiz und abgeschätzte Winddrücke pW ... 197

Tabelle 3.4-60: Blitzdichte im Gebiet rund um Beznau für verschieden grosse Flächen rund um den Standort ... 201

Tabelle 3.4-61: Häufigkeit der Ausbreitungskategorien A-F. Gezählt wurde jede Stunde von 2/1987 bis 12/2007. ... 203

Tabelle 3.4-62: Anzahl Stunden pro Monat je Ausbreitungsklasse zwischen 2/1987 bis 12/2007. 203
Tabelle 3.4-63: Mittlere Anzahl Stunden pro Monat je Ausbreitungsklasse am Tag (6-18 UTC) 204
Tabelle 3.4-64: Mittlere Anzahl Stunden pro Monat je Ausbreitungsklasse in der Nacht (18-6 UTC) 204
Tabelle 3.4-65: Beznau 10 m ü.B. 1865-2008 höchstes / tiefstes Monatsmittel der Temperatur [°C]..... 207
Tabelle 3.4-66: Beznau 10 m ü.B. 1865-2008 Mittelwert und Standardabweichung der Monatswerte [°C] 207
Tabelle 3.4-67: Erwärmung in den verschiedenen Landesteilen der Schweiz im 20. Jahrhundert..... 207
Tabelle 3.4-68: Globales Szenario. Mittlere Klimaerwärmung gegenüber 1990; angegeben ist der Median und in Klammern das 95% Konfidenzintervall aller Modellläufe 211
Tabelle 3.4-69: Regionales Szenario für die Zunahme der mittleren Temperatur gegenüber 1990 für die Alpennordseite der Schweiz. Angegeben ist der Median und in Klammern das 95% Konfidenzintervall aller Modellläufe. 211
Tabelle 3.4-70: Regionales Szenario für die relative Zunahme des Jahresniederschlags in % gegenüber 1990 für die Alpennordseite der Schweiz. Angegeben ist der Median und in Klammer das 95% Konfidenzintervall. Dabei bedeuten die Vorzeichen eine Abnahme (-) bzw. eine Zunahme (+) 212
Tabelle 3.4-71: Ausgewertete sicherheitsrelevante Parameter..... 221
Tabelle 3.4-72: Basel 1865-1980 höchster / tiefster Tages-Mittelwert Temperatur [°C]..... 229
Tabelle 3.4-73: Basel 1981-2007 höchster / tiefster Tages-Mittelwert Temperatur [°C]..... 229
Tabelle 3.4-74: Buchs 1984-2007 höchster / tiefster Tages-Mittelwert Temperatur [°C]..... 229
Tabelle 3.4-75: Beznau 10 m ü.B. 1987-2007 höchster / tiefster Tages-Mittelwert Temperatur [°C]..... 230
Tabelle 3.4-76: Beznau 70 m ü.B. 1987-2007 höchster / tiefster Tages-Mittelwert Temperatur [°C]..... 230
Tabelle 3.4-77: Leibstadt Sensor 1 10 m.ü.B 1987-2007 höchster / tiefster Tages-Mittelwert Temperatur [°C]..... 230
Tabelle 3.4-78: Basel 1865-1980 höchste / tiefste monatliche Mittelwerte Temperatur [°C] 230
Tabelle 3.4-79: Basel 1981-2007 höchste / tiefste monatliche Mittelwerte Temperatur [°C] 230
Tabelle 3.4-80: Buchs 1984-2007 höchste / tiefste monatliche Mittelwerte Temperatur [°C]230
Tabelle 3.4-81: Beznau 10 m ü.B. 1987-2007 höchste / tiefste monatliche Mittelwerte Temperatur [°C]..... 231

Tabelle 3.4-82: Beznau 70 m ü.B. 1987-2007 höchste / tiefste monatliche Mittelwerte Temperatur [°C] 231
Tabelle 3.4-83: Leibstadt Sensor 1 10 m.ü.B. 1987-2007 höchste / tiefste monatliche Mittelwerte Temperatur [°C]..... 231
Tabelle 3.4-84: Basel 1981-2007 Mittelwert und Standardabweichung pro Monat [°C] 231
Tabelle 3.4-85: Buchs 1984-2007 Mittelwert und Standardabweichung pro Monat [°C] 231
Tabelle 3.4-86: Beznau 10 m ü.B. 1987-2007 Mittelwert und Standardabweichung pro Monat [°C]..... 231
Tabelle 3.4-87: Beznau 70 m ü.B. 1987-2007 Mittelwert und Standardabweichung pro Monat [°C]..... 232
Tabelle 3.4-88: Leibstadt Sensor 1 10 m ü.B. 1987-2007 Mittelwert und Standardabweichung pro Monat [°C]..... 232
Tabelle 3.4-89: Basel 1865-1980 mittlere monatliche Tagesmaxima [°C]..... 232
Tabelle 3.4-90: Basel 1981-2007 mittlere monatliche Tagesmaxima [°C]..... 232
Tabelle 3.4-91: Buchs 1984-2007 mittlere monatliche Tagesmaxima [°C]..... 232
Tabelle 3.4-92: Beznau 10 m ü.B. 1987-2007 mittlere monatliche Tagesmaxima [°C] 232
Tabelle 3.4-93: Beznau 70 m ü.B. 1987-2007 mittlere monatliche Tagesmaxima [°C] 233
Tabelle 3.4-94: Leibstadt Sensor 1 10 m.ü.B. 1987-2007 mittlere monatliche Tagesmaxima [°C] 233
Tabelle 3.4-95: Basel 1865-1980 mittlere monatliche Tagesminima [°C]..... 233
Tabelle 3.4-96: Basel 1981-2007 mittlere monatliche Tagesminima [°C]..... 233
Tabelle 3.4-97: Buchs 1984-2007 mittlere monatliche Tagesminima [°C]..... 233
Tabelle 3.4-98: Beznau 10 m ü.B. 1987-2007 mittlere monatliche Tagesminima [°C]..... 233
Tabelle 3.4-99: Beznau 70 m.ü.B. 1987-2007 mittlere monatliche Tagesminima [°C]..... 234
Tabelle 3.4-100: Leibstadt Sensor 1 10 m.ü.B. 1987-2007 mittlere monatliche Tagesminima [°C] 234
Tabelle 3.4-101: Basel 1865-1980 mittlere Monatsmaxima [°C] 234
Tabelle 3.4-102: Basel 1981-2007 mittlere Monatsmaxima [°C] 234
Tabelle 3.4-103: Buchs 1984-2007 mittlere Monatsmaxima [°C] 234
Tabelle 3.4-104: Beznau 10 m ü.B. 1987-2007 mittlere Monatsmaxima [°C]..... 234
Tabelle 3.4-105: Beznau 70 m ü.B. 1987-2007 mittlere Monatsmaxima [°C]..... 235
Tabelle 3.4-106: Leibstadt Sensor 1 10 m.ü.B. 1987-2007 mittlere Monatsmaxima [°C]..... 235
Tabelle 3.4-107: Basel 1865-1980 mittlere Monatsminima [°C]..... 235
Tabelle 3.4-108: Basel 1981-2007 mittlere Monatsminima [°C]..... 235

Tabelle 3.4-109: Buchs 1984-2007 mittlere Monatsminima [°C] 235
Tabelle 3.4-110: Beznau 10 m ü.B. 1987-2007 mittlere Monatsminima [°C] 235
Tabelle 3.4-111: Beznau 70 m ü.B. 1987-2007 mittlere Monatsminima [°C] 236
Tabelle 3.4-112: Leibstadt 1 Sensor 1 10 m ü.B. 1987-2007 mittlere Monatsminima [°C] 236
Tabelle 3.4-113: Basel 1981-2007 mittlere Monatswerte und Standardabweichung gerechnet aus Stundenwerten 16 m ü.B. [m/s] 236
Tabelle 3.4-114: Buchs 1984-2007 mittlere Monatswerte und Standardabweichung gerechnet aus Stundenwerten 10 m ü.B. [m/s] 236
Tabelle 3.4-115: Beznau 1987-2007 mittlere Monatswerte und Standardabweichung gerechnet aus Stundenwerten 10 m ü.B. [m/s] 236
Tabelle 3.4-116: Beznau 1987-2007 mittlere Monatswerte und Standardabweichung gerechnet aus Stundenwerten 70 m ü.B. [m/s] 237
Tabelle 3.4-117: Leibstadt 1987-2007 mittlere Monatswerte und Standardabweichung gerechnet aus Stundenwerten 10 m ü.B. [m/s] 237
Tabelle 3.4-118: Leibstadt 1987-2007 mittlere Monatswerte und Standardabweichung gerechnet aus Stundenwerten 110 m ü.B. [m/s] 237
Tabelle 3.4-119: PSI 1992-2007 mittlere Monatswerte und Standardabweichung gerechnet aus Stundenwerten 70 m ü.B. [m/s] 237
Tabelle 3.4-120: Basel 1981-2007 mittlere Monatsmaxima und Standardabweichung gerechnet aus Stundenmaxima 10 m ü.B. [m/s] 238
Tabelle 3.4-121: Buchs 1984-2007 mittlere Monatsmaxima und Standardabweichung gerechnet aus Stundenmaxima 10 m ü.B. [m/s] 238
Tabelle 3.4-122: Leibstadt 1987-2007 mittlere Monatsmaxima und Standardabweichung gerechnet aus Stundenmaxima 10 m ü.B. [m/s] 238
Tabelle 3.4-123: Leibstadt 1987-2007 mittlere Monatsmaxima und Standardabweichung gerechnet aus Stundenmaxima 110 m ü.B. [m/s] 238
Tabelle 3.4-124: PSI 1992-2007 mittlere Monatsmaxima und Standardabweichung gerechnet aus Stundenmaxima 70 m ü.B. [m/s] 238
Tabelle 3.4-125: Kein Niederschlag; Ausbreitungsklasse A 244
Tabelle 3.4-126: Kein Niederschlag; Ausbreitungsklasse B 245
Tabelle 3.4-127: Kein Niederschlag; Ausbreitungsklasse C 245
Tabelle 3.4-128: Kein Niederschlag; Ausbreitungsklasse D 246
Tabelle 3.4-129: Kein Niederschlag; Ausbreitungsklasse E 246
Tabelle 3.4-130: Kein Niederschlag; Ausbreitungsklasse F 247
Tabelle 3.4-131: Niederschlag bis 0.5 mm; Ausbreitungsklasse A 247

Tabelle 3.4-132: Niederschlag bis 0.5 mm; Ausbreitungsklasse B ... 248
Tabelle 3.4-133: Niederschlag bis 0.5 mm; Ausbreitungsklasse C ... 248
Tabelle 3.4-134: Niederschlag bis 0.5 mm; Ausbreitungsklasse D ... 249
Tabelle 3.4-135: Niederschlag bis 0.5 mm; Ausbreitungsklasse E ... 249
Tabelle 3.4-136: Niederschlag bis 0.5 mm; Ausbreitungsklasse F ... 250
Tabelle 3.4-137: Niederschlag: mehr als 0.5 mm und bis 3 mm; Ausbreitungsklasse A ... 250
Tabelle 3.4-138: Niederschlag: mehr als 0.5 mm und bis 3 mm; Ausbreitungsklasse B ... 251
Tabelle 3.4-139: Niederschlag: mehr als 0.5 mm und bis 3 mm; Ausbreitungsklasse C ... 251
Tabelle 3.4-140: Niederschlag: mehr als 0.5 mm und bis 3 mm; Ausbreitungsklasse D ... 252
Tabelle 3.4-141: Niederschlag: mehr als 0.5 mm und bis 3 mm; Ausbreitungsklasse E ... 252
Tabelle 3.4-142: Niederschlag: mehr als 0.5 mm und bis 3 mm; Ausbreitungsklasse F ... 253
Tabelle 3.4-143: Niederschlag > 3 mm; Ausbreitungsklasse A ... 253
Tabelle 3.4-144: Niederschlag > 3 mm; Ausbreitungsklasse B ... 254
Tabelle 3.4-145: Niederschlag > 3 mm; Ausbreitungsklasse C ... 254
Tabelle 3.4-146: Niederschlag > 3 mm; Ausbreitungsklasse D ... 255
Tabelle 3.4-147: Niederschlag > 3 mm; Ausbreitungsklasse E ... 255
Tabelle 3.4-148: Niederschlag > 3 mm; Ausbreitungsklasse F ... 256
Tabelle 3.5-1: Kriterien zur Klassifizierung der Hochwasser der Aare in Untersiggenthal anhand von Schilderungen in historischen Quellen und dem Vergleich von Hochwassermarken ... 266
Tabelle 3.5-2: Pegelstationen und Einzugsgebiete ... 267
Tabelle 3.5-3: Hochwasserabflüsse unterschiedlicher Jährlichkeit am Pegel Aare-Brugg, Reuss-Mellingen und Limmat-Baden ... 270
Tabelle 3.5-4: Extremhochwasserszenarien für die Aare-Untersiggenthal ... 271
Tabelle 3.5-5: Hochwasserabflüsse unterschiedlicher Jährlichkeit für die Aare in Untersiggenthal ... 273
Tabelle 3.5-6: Übersicht über die flussaufwärts gelegenen Wehre grösserer Stauhaltungen ... 283
Tabelle 3.6-1: Trink- und Brauchwasserfassungen im Unteren Aaretal ... 319
Tabelle 3.6-2: Grundwasserfassungen auf der Beznau-Insel ... 321
Tabelle 3.6-3: Angaben zu den Entnahmemengen aus den Pumpwerken 1998-2007 ... 322
Tabelle 3.6-4: Angaben über die Verminderung der Durchflusskapazität ... 347
Tabelle 3.6-5: Grundwasserspiegel ... 352

Tabelle 3.6-6: Vergleich der Niederwasserstände, gemessen bzw. modelliert 364
Tabelle 3.7-1: Geotechnische Kennwerte des Baugrundes im ungestörten Zustand 424
Tabelle 3.7-2: Zusammenstellung Wellengeschwindigkeiten 426
Tabelle 3.8-1: Nichtverfügbarkeitsstatistik 478

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzungen	Erklärung
ABK	Ausbreitungskategorie
AEW	AEW Energie AG (früher Aargauische Elektrizitätswerke AG)
APE	Annual Probability of Exceedance
AWE	Automatische Wiedereinschaltung
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BAV	Bundesamt für Verkehr
BAZL	Bundesamt für Zivilluftfahrt
BBL	Bundesblatt
BFE	Bundesamt für Energie
BKW	Bernische Kraftwerke AG
BLEVE	Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion
BWG	Bundesamt für Wasser und Geologie
CDF	Core Damage Frequency
CKW	Centralschweizerische Kraftwerke AG
DK	Dauerkurve
DMK	Dosis-Massnahmenkonzept (VEOR)
DTM	Digital Trip Module
DTM-AV	Digitales Terrainmodell der Amtlichen Vermessung
EKKB	Ersatz Kernkraftwerk Beznau
EPR	European Pressurized (Water) Reactor
ESBWR	Economic Simplified Boiling Water Reactor
ESTI	Eidgenössisches Starkstrominspektorat
ETH	Eidgenössische Technische Hochschule
EUR	European Utility Requirements
FBR	Full Bore Rupture
GEV	generalisierte Extremwertverteilung (Generalized Extreme Value Distribution)
GM	Ground Motion
HFE	Human Factors Engineering

Abkürzungen	Erklärung
HQ	Hochwasser Abflussmenge
HSK	Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanalagen
IAEO	Internationales Atomenergie Organisation
ICRP	International Commission for Radiological Protection
ISO	International Standards Organization
JGK	Jura-Gewässer-Korrektion
KEG	Kernenergiegesetz
KEV	Kernenergieverordnung
KKB	Kernkraftwerk Beznau
KKG	Kernkraftwerk Gösgen
KKL	Kernkraftwerk Leibstadt
KRA	Kraftwerk Rupperswil-Auenstein
KW	Kraftwerk
KWWB	Kraftwerk Wildegg-Brugg
LNG	Liquefied Natural Gas (Flüssigerdgas)
m ü.B.	Meter über Boden
m ü.M.	Meter über Meer
MASW	Multi Channel Acquisition of Surface Waves
mSv	milli Sievert
MTO	Mensch, Technik, Organisation
MW	Megawatt
MWe	Megawatt elektrisch
MWth	Megawatt thermisch
Nagra	Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle
NAZ	Nationale Alarmzentrale
NEI	Nuclear Energy Institute
NNE	North-Norh-East
NOK	Nordostschweizerische Kraftwerke AG
OBE	Operating Basis Earthquake
OcCC	Organe consultatif sur les changements climatiques

Abkürzungen	Erklärung
OFE	Organisational Factors Engineering
OPAL	OSIRIS-PEGASOS-Beznau-Leibstadt (Projekt OPAL).
OSPAR	Abkürzung für das Übereinkommen zum Schutz der Meeresumwelt des Nordost-Atlantiks
PEGASOS	Neubestimmung der Erdbebengefährdung an den Kernkraftwerkstandorten der Schweiz (Projekt PEGASOS)
PGA	Peak Ground Acceleration
PQ	Pegel-Abfluss (Beziehung)
PRP	Pegasos Refinement Project
PSA	Probabilistic Safety Analysis
PSHA	Probabilistic Seismic Hazard Analysis
PSI	Paul Scherrer Institut
PW	Pumpwerk
QBDR	Quellenbezogener Dosisrichtwert
REFUNA	Regionale Fernwärme Unteres Aaretal
RNS	Regionale Netzleitstelle
s. l.	senso lato
s. str.	senso stricto
SAR	Safety Analysis Report
SBB	Schweizerische Bundesbahnen
SP	Sub-Project
SR	Schweizerisches Recht
SSE	Safe Shutdown Earthquake
SSHAC	Senior Seismic Hazard Analysis Committee
SSW	South-South-West
Std.	Standard Deviation / Standardabweichung
SÜL	Sachplan Übertragungsleitungen
SWW	South-West-West
TRAWO	Erdgasleitung von Zuzgen bis Winterthur
UCPTE	Union for the Coordination of Production and Transmission of Electricity
UEW	Unbefugte Einwirkung (Dritter)

Abkürzungen	Erklärung
USGS	United States Geological Survey
U.S.NRC	United States Nuclear Regulatory Commission
UVEK	Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
VAPK	Verordnung vom 9. Juni 2006 über die Anforderungen an das Personal von Kernanlagen
VB	Versuchsbrunnen
VDI	Verein deutscher Ingenieure
VEOR	Verordnung über die Einsatzorganisation bei erhöhter Radioaktivität
WENRA	Western European Nuclear Regulators Association
ZWIBEZ	Zwischenlager für radioaktive Abfälle Beznau
ZWILAG	Zwischenlager Würenlingen AG

Glossar

Begriff	Beschreibung
Abgabe	Kontrollierte Freisetzung von radioaktiven Stoffen an die Umwelt, hauptsächlich als Gase und Aerosole über den Abluftpfad und als Flüssigkeiten über den Abwasserpfad. Die Einbringung radioaktiver Abfälle in ein Endlager gilt nicht als Abgabe an die Umwelt.
Abgabehöhe	Höhe über Grund einer Quelle radioaktiver Abgaben, z.B. Kaminhöhe.
Abgabelimite	Die zulässigen Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umwelt werden primär für den Zeitraum eines Jahres als Jahresabgabelimiten, zusätzlich aber auch für kürzere Perioden als Kurzzeitabgabelimiten festgelegt.
Abminderung	Die magnituden- und frequenzabhängige Abnahme der von einem Erdbeben ausgestrahlten seismischen Energie mit der Entfernung vom Erdbebenherd.
Abschiebung	Steilstehende Verwerfung, bei der zwei Gesteinspakete auseinander geschoben werden (Volumenzunahme).
Aerosol	Dispersion von flüssigen oder festen Teilchen (= Partikel) in einem Gas, üblicherweise in Luft. Bei Normalbetrieb gibt ein Werk geringe Mengen radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser und der Abluft an die Umwelt ab. Zu den luftgetragenen Abgaben zählen radioaktive Edelgase und radioaktives Jod, die aus der Kernspaltung entstehen, sowie radioaktive Aerosole, die sich primär aus der Aktivierung von Konstruktionsmaterialien ergeben.
Aktiv	Bezeichnung einer Komponente, die zur Erfüllung ihrer Sicherheitsfunktion bewegte Teile benötigt.
Aktive Störung	Eine tektonische Störung, an der heute noch Erdbeben ausgelöst werden können.
Aktivität	Die Anzahl der Kernzerfälle pro Zeiteinheit. Die SI-Mass einheit der Aktivität ist das Becquerel (Bq). 1 Bq entspricht einem Kernzerfall pro Sekunde. Eine veraltete Mass einheit für die Aktivität ist das Curie (Ci). Es gilt: 1 Ci = $3{,}7 \cdot 10^{10}$ Bq.
Aleatorische Unsicherheit	Diejenige Komponente der Unsicherheit, welche die relative Häufigkeit zukünftiger Ereignisse beschreibt, die von einem zufälligen physikalischen Prozess bestimmt werden. Genauer unterscheidet man deterministische physikalische Prozesse, die mit ausreichend genauer Information im Prinzip vorhersagbar wären (Würfelwurf, Wettervorhersage), und nichtdeterministische Prozesse, die prinzipiell nicht vorhersagbar sind (radioaktiver Zerfall).
Alpenvorland	Das Gebiet nördlich der Alpenfront, das den Jura und das Molasse-Becken einschliesst.

Begriff	Beschreibung
Anhydritgruppe	Eine zur mittleren Trias gehörende Gesteinsschicht, die mehrheitlich aus sich plastisch verformenden Sedimenten (wie Anhydrit) besteht.
Antiklinale	Eine durch Faltung erzeugte konvexe Aufwölbung geschichteter Gesteine oder der nach oben gerichtete Teil einer Falte.
Arbeitsstätte	Arbeitsstandort mit festgelegter Menge von Beschäftigten.
Ausbisslinie	Schnitt zwischen einer geologischen Grenzfläche (z.B. Schichtgrenze, Verwerfungsfläche) und der Erdoberfläche.
Auslegung	Prozess bei welchem die Auslegungsanforderungen festgelegt und umgesetzt werden, um die Anforderungen an die Herstellung, Montage und Inbetriebnahme festlegen zu können. Der Begriff wird auch für die Produkte des Prozesses, in Form von Zeichnungen, Spezifikationen, Nachweisen und dergleichen angewendet.
Auswirkung (von Ereignissen)	Konsequenz eines Ereignisses, welches bei der Anlageauslegung oder beim Störfallnachweis berücksichtigt werden muss. Folgeereignise sind eine Untermenge der Auswirkungen und lösen wiederum eigene Auswirkungen aus.
Baubewilligung	Eine Bewilligung des Eidgenössischen Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation für die Errichtung einer Kernanlage. Die Baubewilligung legt fest: den Bewilligungsinhaber, den Standort, die geplante Reaktorleistung oder Kapazität der Anlage, die wesentlichen Elemente der technischen Verwirklichung, die Grundzüge des Notfallschutzes und diejenigen Bauten und Anlageteile, die erst nach Freigabe durch die Aufsichtsbehörden ausgeführt beziehungsweise eingebaut werden dürfen.
Beherrschung (von Störfällen)	Störfälle werden beherrscht, falls keine unzulässigen, radiologischen Auswirkungen in der Umgebung der Anlage entstehen.
Bestimmtheitsmass	Quadrat des Korrelationskoeffizienten. Wert zwischen 0 und 1; (1: gute Korrelation, 0: keine Korrelation)
Betriebsbewilligung	Eine Bewilligung des Departements, eine Kernanlage zu betreiben. Die Betriebsbewilligung legt fest: den Bewilligungsinhaber; die zulässige Reaktorleistung oder Kapazität der Anlage; die Limiten für die Abgabe von radioaktiven Stoffen an die Umwelt; die Massnahmen zur Überwachung der Umgebung; die Sicherheits-, Sicherungs- und Notfallschutzmassnahmen, die der Bewilligungsinhaber während des Betriebs zu treffen hat; die Stufen der Inbetriebnahme, deren Beginn einer vorgängigen Freigabe durch die Aufsichtsbehörden bedarf.
Betriebsstörung	Abweichung vom Normalbetrieb, die ausser einer allfälligen Reaktorschnellabschaltung kein Eingreifen von Sicherheitssystemen erfordert. Beispiele sind der Ausfall einzelner Kühlmittel- oder Speisewasser-Pumpen, Lastabwurf auf Eigenbedarf.
Bewilligungsmanagement	Eine Funktion der Organisation welche alle Tätigkeiten in Zusammenhang mit der Sicherheit der Anlage koordiniert.

Begriff	Beschreibung
Bilanzierung	Besondere Form der Überwachung, bei welcher alle an die Umwelt innerhalb einer vorgegebene Zeitspanne abgegebenen Aktivitätsmengen gemessen, zusammengezählt und der Aufsichtsbehörde eingereicht werden.
Blattverschiebung	Vertikale Verwerfung, bei der zwei Gesteinspakete horizontal aneinander geschoben werden (*engl. strike-slip*).
Block, Kraftwerksblock	Das Reaktorgebäude und Maschinenhaus inklusiv aller Bauten, welche mit diesen baulich zusammenhängen.
Blocktransformator	Transformatoren, welche die produzierte elektrische Leistung von der Spannung der Generatorklemme auf die Netzspannung erhöhen.
Bodeninfiltration	Eindringen von Niederschlägen in den Boden.
Bodennutzung	Nutzungsart des Bodens. Schliesst die Kategorien Landwirtschaft (Acker, Wiese), Wald, und Überbauungen ein.
Bodenstrahlung	Äussere Bestrahlung von Personen durch auf dem Boden abgelagerte radioaktive Stoffe.
Bodenverflüssigung	Die Reduktion der Viskosität des Bodens als Folge von Erschütterungen.
Bohrlochgeophysik	Im Bohrloch durchgeführte Messungen zur Bestimmung von physikalischen Parametern (wie Dichte oder Tonanteil) der erbohrten Gesteinsschichten.
Botschaft	Erläuterung zu einem Gesetz. Gilt als verbindliche Interpretationsgrundlage für die Anforderungen des Gesetzes.
Brennelemente	Komponenten, welche den Kernbrennstoff in einer für den Betrieb bzw. Störfallbeherrschung geeigneten Konfiguration halten.
Bruttoleistung, MWe	Die an der Generatorklemme abgegebene elektrische Leistung in Megawatt
Chemierisikokataster	Elektronische Karte des Kantons (im AGIS System) mit Darstellung der Industriebetriebe, welche der Störfallverordnung unterstehen.
Cross-Hole Messung	Eine Bohrloch-Mesung zur Bestimmung der Ausbreitungsgeschwindigkeit der seismischen Wellen, bei der seismische Wellen in einer Bohrung angeregt und in einer oder zwei linear angeordneten Nachbarbohrungen in der gleichen Tiefe aufgenommen werden.
Deaggregation	Zerlegung der seismischen Gesamtgefährdung in ihre Beiträge aus verschiedenen Magnituden- und Distanzbereichen.
Deckgebirge	Das Paket von Sedimentgesteinen, das dem erdgeschichtlich älteren Grundgebirge aufgelagert ist.

Begriff	Beschreibung
Decollement-Überschiebung	Eine flache Verwerfung, die in einem sich plastisch verformenden Sediment entsteht und bei der ein Gesteinsblock durch seitlichen Druck über einen anderen Gesteinsblock geschoben wird.
Diffusionskategorie	Einer Aufteilung der verschiedenen Turbulenzzustände der unteren Atmosphäre in Klassen.
Direktstrahlung	Ionisierende Strahlung direkt aus der Kernanlage.
Diskriminierung	Die Unterscheidung von Messergebnissen oder von Untersuchungsgegenständen.
Diversität	Die Benutzung von Komponenten unterschiedlicher Auslegung, Konfiguration oder Hersteller für die gleiche Funktion.
Dogger	Mittlere Stufe der Jura-Periode (-181 bis -150 Mio. Jahre).
Dosis	Mass für die Beurteilung der Wirkung ionisierender Strahlung. In der Regel ist die effektive Dosis gemeint in Sievert (Sv).
Dosis-Massnahmenkonzept	Das Dosismassnahmenkonzept gibt den Rahmen für die Anordnung von Schutzmassnahmen mit dem Ziel, das gesundheitliche Risiko der Bevölkerung nach einem Ereignis mit erhöhter Aktivität klein zu halten. Es schliesst Aufenthalt im Haus, im Keller/Schutzraum und Evakuierung ein.
Dotieranlage	Eine Turbine und entsprechende Bauwerke im Stauwehr, welche zur Sicherstellung der erforderlichen Restwassermenge im Aarelauf dient.
Down-Hole Messung	Eine Bohrloch-Mesung zur Bestimmung der Ausbreitungsgeschwindigkeit der seismischen Wellen, bei der seismische Wellen an der Erdoberfläche angeregt und in der Bohrung aufgenomen werden.
Druckwasserreaktor	Ein Leichtwasserreaktor bei welchem das Kühlmittel im Reaktor aufgeheizt wird, ohne zu sieden. Dampf für die Turbine wird in einem Dampferzeuger (Wärmetauscher) produziert.
Einrichtung	Eine Komponente oder Teilkomponente.
Einwirkung	Ein Einfluss der Umgebung, welcher bei der Auslegung der Anlage berücksichtigt werden muss, welcher aber zu keinem Störfall führt.
Einzelfehler	Ein Einzelfehler ist entweder der Ausfall einer aktiven oder passiven technischen Komponente oder ein Operateurfehler. Der Einzelfehler ist dort zu unterstellen, wo dieser die Verfügbarkeit der zur Störfallbeherrschung erforderlichen Sicherheitssysteme am meisten einschränkt.
Elektromagnetische Interferenzen	Auch als Elektromagnetische Beeinflussung (EMB), engl. Electromagnetic Interference (EMI), bezeichnet. Die Einwirkung elektromagnetischer Grössen auf elektrotechnische/elektronische Einrichtungen, aktive und inaktive Leiter, fremde leitfähige Teile oder Lebewesen durch funktionsbedingt erforderliche oder durch unerwünschte (parasitäre) Kopplungen.

Begriff	Beschreibung
Emmissionsüberwachung	Kontrollmassnahme im Sinne von Art. 81 StSV zur Bilanzierung der in die Umgebung abgegebenen radioaktiven Stoffe.
Entsorgung	Konditionierung, Zwischenlagerung und Lagerung der radioaktiven Abfälle in einem geologischen Tiefenlager.
Epistemische Unsicherheit	Diejenige Komponente der Gesamtunsicherheit, die auf die unvollständige Kenntnis eines Phänomens oder Tatbestandes zurückzuführen ist. Im Gegensatz zur aleatorischen Komponente (siehe oben) kann sie im Prinzip durch das Sammeln von zusätzlichen Daten und Informationen reduziert werden.
Epizenter	Die vertikale Projektion des Erdbebenherdes an die Erdoberfläche.
Erdbebenherd = Hypozenter	Der Punkt im Untergrund, wo ein Erdbeben entsteht.
Ereignis	Fehlerhafter Ablauf im Betrieb einer Anlage oder bei Transporten, der die Sicherheit beeinträchtigen kann (Anhang 1 KEV). Diese Definition wird für anlageinterne Betriebsereignisse angewendet.
Exfiltration	Austreten von Grundwasser an die Terrainoberfläche oder in ein Oberflächengewässer.
Extremwertbetrachtung	Die Analyse von Standorteigenschaften (z.B. Meteorologie) mit dem Ziel die Einwirkung aufgrund äusserlicher Zustände (z.B. Temperatur) mit verschiedenen Periodizitäten (z.B. 100-jährig) zu bestimmen.
Extremwertverteilung	Wahrscheinlichkeitsverteilung von Extremereignissen.
Faltenjura	Ein Ausläufer des Alpenbogens, welcher sich von der Lägern im Osten bis südlich von Genf erstreckt. Es bildet den stark gefalteten Teil des Juragebirges. Auch Kettenjura genannt.
Fels	Seismologisch: Der Bereich des Untergrundes mit Scherwellen-Ausbreitungsgeschwindigkeiten über einem vordefinierten Referenzwert.
Fernschubhypothese	Ein breit abgestütztes Konzept für die jüngste Phase der Krustenverkürzung im Alpenvorland, bei der typischerweise Decollement-Überschiebungen entstehen. Besagt, dass das Juragebirge durch Fernschub aus den Alpen aufgefaltet wurde. Übertragen wird der Schub durch den mesozoisch/tertiären Sedimentstapel der im mittelländischen Molassebecken von seiner Unterlage abgeschert wurde. Der Abscherhorizont liegt in der unteren Trias, im Bereich duktil verformbarer Evaporite der sog. Anhydritgruppe.
Festpotenzialrand	Lage des Grundwasserspiegels am Rand des Modelliergebietes beim Bearbeiten eines numerischen Grundwassermodells.
Feuchtkugeltemperatur	Die tiefste Temperatur, die sich durch Verdunstungskühlung erreichen lässt.
Flussbettverlagerung	Verschiebung eines Flussverlaufs durch Erosion und Sedimentation

Begriff	Beschreibung
Folgeereignis	Konsequenz eines ersten Ereignisses, welches auch als Ereignis kategorisiert werden kann (z.B. Überflutung als Folge eines Erdbebens, Brand als Folge eines Flugzeugabsturzes).
Fraktile	Punkte einer nach Rang oder Grösse der Einzelwerte sortierten statistischen Verteilung.
Freifeld	Die Lage, in der keinerlei Reflexionen auftreten; für ein seismisches Instrument ist dies die Erdoberfläche.
Ganglinie	Graphische Darstellung von Messwerten in ihrer zeitlichen Reihenfolge. Dabei befindet sich die Zeit stets auf der X-Achse, der Messwert auf der Y-Achse des Koordinatensystems. Man trifft den Begriff der Ganglinie allerdings am häufigsten im Zusammenhang mit hydrologischen Messwerten an (vgl. Hydrograph): Wasserstand oder Durchfluss an einem Pegel, Hochwasser (Wasserstand beim Durchgang einer Hochwasserwelle, beeinflusst durch Niederschlag oder Schneeschmelze), Grundwasser, Abfluss, Geschwindigkeit, aber auch Sedimentfracht des Wassers.
Gefährdung	Eine Gefährdung als technischer Begriff bedeutet die Möglichkeit, dass eine Person, räumlich und/oder zeitlich mit einer Gefahrenquelle zusammentreffen kann. Das Wirksamwerden der Gefahr führt zu einem Schaden, z. B. zu einer Verletzung, Erkrankung oder zum Tod. Gemäss Definition im ISO/IEC Guide 51 ist Gefährdung eine potentielle Schadensquelle. Für die Anlage ist die Gefährdung die Auswirkung eines Ereignisses, welche eine Überschreitung der entsprechenden Limiten zur Folge haben könnte.
Gefährdungsspezifikation	Eine Unterlage, welche eine Auslegungsgrundlage für die Gesamtanlage darstellt und beim Gesuch zur Baubewilligung eingereicht wird (Anhang 4 KEV). Diese Spezifikation setzt die Standorteigenschaften so um, dass die auslösenden Ereignisse und deren Auswirkungen für die Anlageauslegung und Störfallanalysen berücksichtigt werden können.
Gefahrensektor	Sektoren der Gefahrenzone 2 welche jeweils Kreissegmenten von 120° entsprechen. 6 Sektoren werden definiert, was zu einer Überlappung der Sektoren führt.
Gekröpfter Nordanflug	Anflugroute zum Flughafen Zürich-Kloten, welche aus der nordwestlichen Richtung über eine abrupte Kurve Richtung Landepiste führt. Zurzeit nicht bewilligt.
Gesamtanlage	Alle Kernanlagen am Standort zu einem bestimmten Zeitpunkt. Dies kann der Gegenwart oder einem geplanten zukünftigen Zustand entsprechen.
Grabenstruktur	Eine in einem Extensionsregime entstehende Struktur, die durch mindestens zwei Abschiebungen abgegrenzt ist.

Begriff	Beschreibung
Grundwasser	DIN 4049 definiert: Unterirdisches Wasser, das die Hohlräume der Erdrinde zusammenhängend ausfüllt und dessen Bewegung ausschliess lich oder nahezu ausschliess lich von der Schwerkraft und den durch die Bewegung selbst ausgelösten Reibungskräften bestimmt wird.
Grundwasserdargebot	Menge des verfügbaren Grundwassers
Grundwasser-durchlässigkeit	Hydraulische Durchlässigkeit des Grundwasserleiters
Grundwasserspiegel	Tiefe in der man bei einer Bohrung auf Grundwasser stösst. Ausgleichsfläche zwischen dem Druck des Grundwassers und dem Druck der Atmosphäre.
Grundzüge des Projektes	Als Grundzüge des Projektes gelten die ungefähre Grösse und Lage der wichtigsten Bauten, sowie insbesondere bei Kernreaktoren, das Reaktorsystem, die Leistungsklasse und das Hauptkühlsystem. Bei Lagern für Kernmaterialien oder radioaktiven Abfällen sind es die Kategorien des Lagergutes und die maximale Lagerkapazität.
Häufigkeit	Anzahl aufgetretene Fälle in einem gegebenen Zeitraum.
Hauptkühlmittel	Das Kühlmittel (in einem Leichtwasserreaktor ist dies Wasser), welches durch den Kern strömt und die durch die Kernspaltung produzierte Wärme abführt.
Hauptkühlsystem	Das Kühlwassersystem, welches der Kühlung des Turbinenkondensators dient.
Herzynisch	Gebirgsbildungsära vom Devon bis gegen Ende des Perm z.B. die Bildung des Schwarzwaldes.
Hochwasser	Zustand in einem Gewässer, bei dem der Wasserstand oder der Abfluss einen bestimmten (Schwellen-)Wert erreicht oder überschritten hat.
Holozän	Letzter Stufe des Quartärs (-0,01 Mio. Jahre bis heute). Die Nacheiszeit.
Horizontalfilterbrunnen	Grundwasserentnahmestelle, bei welcher das Grundwasser aus mehreren horizontal verlaufenden Filterrohren abgepumpt und über einen vertikalen Sammelschacht an die Oberfläche gefördert wird.
Host Zone	Die seismische Quellenzone, in der sich der Standort befindet, für den die Gefährdung berechnet wird.
Human and Organisational Factors (HOF = HFE + OFE)	Schliesst alle Aspekten der Schnittstelle zwischen Mensch und Technik ein. Ist die Summe von allen Aktivitäten in HFE und OFE.
Human Factors Engineering (HFE)	HFE stellt sicher, dass alle Gesichtspunkte einer Arbeitssituation berücksichtigt werden, damit die für das Personal notwendigen Arbeitsmittel und die notwendigen Arbeitsbedingungen bereit gestellt werden können.

Begriff	Beschreibung
Hybridkühlturm	Ein Kühlturm, welcher sowohl mit Verdunstungskühlung als auch mit Trockenkühlung funktioniert. Die erwärmte Luft aus dem Trockenteil dient der Reduktion der relativen Feuchte der abgegebenen Luft und damit der Reduktion der Kühlturmschwadenbildung.
Immersion	Äussere, von allen Seiten wirkende Strahlenexposition von Personen, die sich in einer radioaktiven Wolke befinden.
Immissionsüberwachung	Messtechnischer Nachweis des Einwirkens radioaktiver Stoffe durch Direktstrahlung auf die Umgebung.
Infiltration	Übertreten von Wasser aus Oberflächengewässern oder von der Terrainoberfläche in den Untergrund.
Ingestion	Aufnahme von radioaktiven Stoffen in den Körper über den Verdauungstrakt.
Inhalation	Aufnahme radioaktiver Stoffe durch Einatmen.
Intraplate region	Eine Region innerhalb eine Platte, die typischerweise eine geringere tektonische Aktivität aufweist als die Regionen an deren Peripherie.
Ionisierende Strahlung	Strahlen, deren Energie zur Herauslösung von Elektronen aus der Elektronenhülle ausreicht (Ionisation).
Isohypsen	Tiefenlinien; Verbindungslinien zwischen Punkten einer Fläche im Untergrund, welche die gleiche Tiefe unter, bzw. Höhe über dem Meeresspiegel haben.
Jahresabgabelimite	Ein, aus dem quellenbezogenen Dosisrichtwert nach dem Modell der HSK-Richtlinie R-41 abgeleiteter, maximaler Aktivitätswert für die, über Abluft oder Abwasser, in die Umwelt abgegebene Stoffmenge eines Nuklids oder Nuklidgemischs.
Jahreshochwasser	Hochwasser werden zumeist als Ereignisse mit Wiederkehrintervallen angegeben. Beispielhaft ist das 100-jährliche Hochwasser (HW100) ein Ereignis, das statistisch gesehen in 100 Jahren einmal auftritt. Das heiss t nicht, dass nach einem Jahrhunderthochwasser hundert Jahre kein Ereignis dieser Gröss e folgt. Ein Ereignis kann durchaus einem anderen folgen.
Jura	Mittlere Periode des Erdmittelalters (Mesozoikum)

Begriff	Beschreibung
Jura-Gewässerkorrektion	Nach langen Beratungen und Vorbereitungen führten die Kantone Bern, Freiburg, Waadt, Neuenburg und Solothurn in den Jahren 1868 bis 1878 gemeinsam die 1. Juragewässerkorrektion durch. Sie umfasste im Wesentlichen folgende Arbeiten: • Ableitung der Aare durch den neu gegrabenen Hagneckkanal von Aarberg aus direkt in den Bielersee: Nutzung von Bieler-, Neuenburger- und Murtensee als gemeinsames Rückhaltebecken • Begradigung, Kanalisierung und Vertiefung der Zihl und der Broye zwischen den drei Seen • Abflusssteigerung aus dem Bielersee durch den Bau des Nidau-Büren-Kanals • Absenkung aller drei Seespiegel um durchschnittlich 2.5 m • Bau eines einfachen Regulierwehres in Nidau • Erstellung weitläufiger Binnenkanalnetze zur Entsumpfung grosser Landstriche 1939 wurde das Regulierwehr Port mit der Schiffsschleuse in Betrieb genommen. Eigentlich war das bereits eine Massnahme der 2. Juragewässerkorrektion. Die restlichen Arbeiten für die 2. Juragewässerkorrektion wurden erst in den Jahren 1962 bis 1973 ausgeführt: • Erstellung des Kraftwerkes Flumenthal als Regulierwehr • Korrektion der Aare zwischen Büren a. A. und Flumental samt Entfernung des sogenannten Emmeriegels • Verbreiterung, Vertiefung und Uferausbau des Broye-, Zihl- und Nidau-Büren-Kanals sowie des Aarelaufes Büren-Flumenthal
Kern	Die Brennelemente, die Steuerelemente und die Kerninstrumentierung.
Kernanlage	Einrichtungen zur Nutzung von Kernenergie, zur Gewinnung, Herstellung, Verwendung, Bearbeitung oder Lagerung von Kernmaterialien sowie zur Entsorgung von radioaktiven Abfällen im Sinne von Art. 2 Abs. 1 lit. c KEG. Kernanlagen umfassen alle Bauten, Anlagen und Bestandteile, die technisch dem Verwendungszweck der Kernanlage dienen oder für welche die nukleare Sicherheit und die Sicherung von Bedeutung sind.
Kernkühlung	Kühlung der Brennelemente mit dem Ziel die produzierte Wärme (aus Kernspaltung oder Restwärme) so abzuführen, dass alle Grenzwerte und Limiten eingehalten werden.
Kernreaktor	Ein Reaktor und alle andere Einrichtungen, welche zum Normalbetrieb und zur Beherrschung von Betriebsstörungen und Störfällen dazugehören. Dies schliesst auch die reaktoreigenen Einrichtungen zur Lagerung, Konditionierung und Handhabung von radioaktiven Abfällen ein.
Keuper	Letzte Stufe der Trias (-229 bis -204 Mio. Jahre)

Begriff	Beschreibung
Klassifizierung	Die Einteilung von Dokumenten, Daten und Informationen in Kategorien, welche deren Handhabung und Anwendung bestimmen (z.B. vertraulich, geheim).
Klima	Langjähriger Durchschnitt des Zustands der Atmosphäre an einem Ort. Statistik über das Wetter einer Zeitperiode.
Klimatologie	Wissenschaft, die sich mit dem Klima beschäftigt.
Kolk	Eintiefung der Sohle durch Ausstrudelung und Wühlarbeit des Wassers in Verbindung mit Feststoffen (z.B. unterhalb von Wasserabstürzen).
Kondensatorabsaugung	System zur Entfernung nicht kondensierbarer Gase aus dem Dampfraum des Kondensators.
Konditionierung	Gesamtheit der Operationen, mit welchen radioaktive Abfälle für die Zwischenlagerung oder für die Lagerung in einem geologischen Tiefenlager vorbereitet werden; insbesondere die mechanische Verkleinerung, die Dekontamination, die Verpressung, die Verbrennung, die Einbettung in Abfallmatrizen und die Verpackung.
Kontrollierte Zone	Eine kontrollierte Zone ist ein Bereich welche zur Begrenzung und Kontrolle der Strahlenexposition errichtet wird. Die entsprechenden Kriterien für die Bestimmung von kontrollierten Zonen werden in der Strahlenschutzverordnung festgelegt.
Konventionelle Sicherheit	Schutz von Personen gegen nicht nukleare Gefährdungen.
Kreissektor	Der Kreis um den Standort mit 20 km Radius, inklusiv der konzentrischen Kreise mit Radien von 5, 10 und 15 km, wird in radiale Sektoren von 30° unterteilt. Die Bevölkerung in jedem Sektor wird bestimmt.
Kriging-Verfahren	Unter Kriging (oder auch: Krigen) versteht man ein geostatistisches Verfahren, mit dem man Werte an Orten, für die keine Probe vorliegt, durch umliegende Messwerte interpolieren oder auch annähern kann.
Kristallin	Grundgebirge unter den Sedimenten der Nordwestschweiz. Sie sind aus Graniten und Gneise und entstanden im Erdaltertum (Palaeozoikum) oder früher.
Kühlwassereinlauf	Bauwerk zur Einführung des Kühlwassers vom Fluss in das entsprechende Pumpenhaus.
Kühlwassersystem	Ein System zur Abführung von Wärme. In einem Kernkraftwerk gibt es eine grosse Anzahl von Kühlwassersystemen mit unterschiedlicher Sicherheitsrelevanz.
Kühlwasserzufuhr	Das Vorhandensein von Kühlwasser und die Bauten zu deren Erfassung (z.B. Fluss mit Einlaufbauwerk, Grundwasser mit Horizontalfilterbrunnen).

Begriff	Beschreibung
Langzeitausbreitungs-faktor	Die Ausbreitung radioaktiver Stoffe wird mit Hilfe von orts- und zeitabhängigen Ausbreitungsfaktoren, welche als Verhältnis zwischen örtlicher Nuklidkonzentration in der Luft (CL) und Abgaberate definiert sind, beschrieben.
Langzeitwashoutfaktor	Proportionalitätsfaktor für eine nasse Ablagerung (Washout) auf Boden und Pflanzen.
Leakage-Faktor	Fiktive Fliessweglänge für den Grundwasserfluss im Grundwasserleiter, wenn ein Teil des Grundwassers in eine angrenzende, geringer durchlässige Gesteinsschicht entweicht.
Leichtwasserreaktor	Ein Kernreaktor mit Leichtwasser als Moderator und Kühlmittel.
Lias	Älteste Stufe des Juras (-204 bis -181 Mio. Jahre).
Limnigraph	Registriergerät zur Aufzeichnung von Wasserständen im zeitlichen Verlauf. Erfolgt zunehmend digital.
Lockergestein	Meist noch nicht komplett verfestigte Gesteine des Quartärs, die - komplett oder partiell - den Soil bilden.
Logic Tree	Entscheidungsbaum: Eine spezielle baumartige Darstellungsform, die bei jeder Verzweigung die Verzweigungsmöglichkeiten (Äste) mit Wahrscheinlichkeiten versieht.
Magnitude	Ein Mass für die bei einem Erdbeben freigesetzte Energie und damit für dessen Stärke.
Medianwert	Zentralwert einer Verteilung (0.5er Fraktil), der die Verteilung in zwei gleich grosse Teile trennt.
Megawatt	Einheit der Leistung. Eine Million Watt bzw. Tausend Kilowatt.
Mergel	Ein Sedimentgestein, das etwa zur Hälfte aus Ton und Kalk besteht.
Mesozoikum	Erdmittelalter (-245 bis -65 Mio. Jahre). Schliesst die Periode Trias, Jura und Kreide ein.
Meteorologie	Wissenschaft, die sich mit der Dynamik der Atmosphäre und des dadurch hervorgerufenen Wetters beschäftigt.
Mittelwasser	Als Mittelwasser (abgekürzt MW) bezeichnet man in der Nautik (Seefahrt), Ozeanographie und Hydrologie die über längere Zeit gemittelte Höhe des Wasserspiegels (Wasserstand) an einem ausgewählten Punkt eines Gewässers. Für eine verlässliche Berechnung muss der Pegelstand dieses Messpunktes über einige Jahre bis Jahrzehnte beobachtet oder automatisch registriert werden, was heute mit digitalisierten Schreibpegeln erfolgt.
Mittelwert	Die Summe der einzelnen Messwerte geteilt durch ihre Anzahl (arithmetischer Mittelwert).

Begriff	Beschreibung
Nachwärmeabfuhr	Die Abführung und Abgabe an einer Wärmesenke, der Restwärme aus dem Reaktorkern oder aus gelagerten, bestrahlten Brennelementen.
Nahbereich um Standort	Der Bereich um den Standort welcher betrachtet wird um die Standorteigenschaft beschreiben und bewerten zu können. Der Umfang ist abhängig von den zu betrachtenden Eigenschaften.
Nebenkühlwasser	Ein Kühlwassersystem, welches Wärme aus geschlossenen Kühlkreisläufen an eine Wärmesenke führt.
Neotektonik	Junge tektonische Bewegungen nicht näher bestimmten Alters, die bis in die Gegenwart aktiv sein können.
Nettoleistung, MWe	Die an das externe Starkstromnetz abgegebene elektrische Leistung in Megawatt.
Netzknoten	Schaltanlage an der Schnittstelle zwischen zwei oder mehr Hochspannungsleitungen.
Niedrigwasser (auch Niederwasser)	Bei Binnengewässern ist Niedrigwasser primär die Folge eines meteorologisch bedingten Niederschlags- bzw. Wassermangels. Durch Niedrigwasser können erhebliche Einschränkungen der Binnenschifffahrt resultieren. Des Weiteren kann die Produktion von Betrieben, die auf Entnahme von Kühl- oder Betriebswasser angewiesen sind, eingeschränkt werden. Bei gleichbleibender Einleitung von Schadstoffen kommt es durch das fehlende Verdünnungswasser zu erhöhten Schadstoffkonzentrationen. Da häufig gleichzeitig auftretende langsame Fliess bewegungen und hohe Temperaturen einen zu geringen Sauerstoffgehalt im Wasser hervorrufen können, besteht erhöhte Gefahr eines Fischsterbens. Ufersicherungen und Bauwerke auf Holzpfählen verrotten, wenn sie durch zu niedrigen Wasserstand dem Einfluss von Sauerstoff ausgesetzt sind. Niedrigwasser kann durch menschliche Eingriffe sowohl verschärfend (Wasserentnahmen) als auch abmildernd (Niedrigwasseraufhöhung) beeinflusst werden. Neben dieser Definition wird Niedrigwasser auch anhand von Schwellenwerten definiert, die je nach Gesichtspunkt (Ökologie, Bewässerung, Schifffahrt usw.) unterschiedlich angesetzt werden.
Normalbetrieb	Anlagezustand innerhalb spezifizierter Betriebsgrenzen und gemäss geltender Vorschriften.
Notfallschutz	Alle Massnahmen zur Beherrschung oder Linderung auslegungsunterschätzender Störfälle.
Notfallschutzzone	Zwei Zonen werden im Rahmen der Baubewilligung um jede Kernanlage festgelegt. Die Zone 1 umfasst das Gebiet um eine Kernanlage bei dem bei einem schweren Unfall eine Gefahr für die Bevölkerung entstehen kann, die rasche Schutzmassnahmen erfordert. Die Zone 2 schliesst an die Zone 1 an und umfasst ein Gebiet mit einem Radius von etwa 20 km. Sie wird in Sektoren eingeteilt.

Begriff	Beschreibung
Notstand	Ein Störfall, welcher als Folge von einer UEW ausgelöst wird. Es wird angenommen dass alle Einrichtungen, welche nicht gegen UEW ausgelegt wurden, zur Beherrschung des Störfalls nicht verfügbar sind.
Notstandsbrunnen	Ein gesicherter Grundwasserbrunnen, der Wasser für Kühlzwecke im Fall eines Notstands liefert.
Nukleare Sicherheit	Ein Zustand bei dem alle nuklearen Schutzziele erreicht werden oder erreicht werden können.
Oberwasserkanal	Kanal der gestautes Aarewasser zum hydraulischen Kraftwerk Beznau führt.
Opalinuston	Eine zum unteren Dogger gehörende Gesteinsschicht, die aus sehr homogenem und wasserundurchlässigem Ton besteht.
Organisational Factors Engineering (OFE)	OFE stellt sicher, dass eine geeignete Arbeitsumfeld (Organisation, Prozessen, Ressourcen usw.) vorhanden ist.
Ortdosisleistung	Die Dosisleistung (auch "Dosisrate" genannt) gibt die Erhöhung der Dosis je Zeiteinheit an: Ortsdosisleistung = Dosis/Zeit (in mSv/h) an einem Ort.
Passiv	Bezeichnung einer Komponente, die für das Funktionieren keine bewegte Teile benötigt, sondern lediglich eine Änderung ihres Belastungszustandes erfährt.
Pegelmessung	Ein Pegel wird durch eine Pegellatte und drei Höhenfestpunkte definiert, mit deren Hilfe die Höhenlage der Pegellatte (Pegelnullpunkt) über Normalnull bezogen wird. Gemessen wird der Wasserstand am Pegel heutzutage mit Hilfe von Schwimmern, Drucksonden, Druckluftwaagen, Radar- und Ultraschallgeräten. Die Messungen werden auf Pegelbögen, einem Bandschreiber und/oder in digitalen Datensammlern im Pegelhäuschen registriert.
Pegelstand	Ein Pegel ist ein Messgerät zur Feststellung des Wasserstandes in Flüssen, Meeren und anderen Gerinnen. Umgangssprachlich wird "Pegel" auch fälschlicherweise als Synonym für den Wasserstand selbst verwendet. Am Pegel wird der Pegelstand gemessen, aus dem sich der Wasserstand (Wasserhöhe zu einem bestimmtem Punkt im Bezugsprofil des Gewässers) ableiten lässt. Auch in der Hydrographie ist verbreitet, die Messstelle als "Pegel" zu bezeichnen, man unterscheidet jedoch zwischen oberirdischen Pegeln und Grundwassermessstellen.
Permokabontrog	Eine ost-west gerichtete Grabenstruktur im Grundgebirge, welche während dem Perm und Karbon mit Sedimenten gefüllt wurde. Sie liegt unter dem Jura bzw. Mittelland und erstreckt sich von Frankreich im Westen bis zur Ostschweiz im Osten.
Piezometer	In eine Bohrung eingebautes Rohr zur Messung der Grundwasserspiegellage.

Begriff	Beschreibung
Plattentektonik	Die globale Theorie für die grossräumigen Bewegungsvorgänge in der Erdkruste und im obersten Teil des Erdmantels, die in starre Platten unterteilt werden.
Pliozän	Letzte Stufe des Tertiärs (-2 bis -5 Mio. Jahre). Zeitperiode der Auffaltung der Juraketten.
Porosität	Summe der (für das Grundwasser verfügbaren) Hohlräume eines Grundwasserleiters im Verhältnis zum Gesamtvolumen.
Probabilistik	Die Anwendung von probabilistischen Sicherheitsanalysen zur Bestimmung der Kernschadenshäufigkeit und der Häufigkeit von Feisetzungen von radioaktiven Stoffen.
Produktionsleistung	Die an externe Netze abgegebene elektrische Leistung.
Quality Plan	Ein projektspezifischer Plan, der die qualitätssichernden Massnahmen festgelegt, die zur Erfüllung aller Anforderungen an das Endprodukt notwendig sind.
Quartär	Geologische Periode der Erdneuzeit (Kaenozoikum). Vor -2 Mio. Jahre bis heute.
Quellenbezogener Dosisrichtwert	Die durch Emissionen und Direktstrahlung von Betrieben eines Standorts resultierende effektive Dosis für die am meisten betroffenen Personengruppen.
Quellenzone	Eine für die Berechnung der seismischen Gefährdung seismotektonisch abgegrenzte Region, in der die seismischen Auftretensparameter einheitlich sind.
Quellterm	Menge und Zeitverhalten der Freisetzung radioaktiver Stoffe.
Radioaktive Abfälle	Radioaktive Stoffe oder radioaktiv kontaminierte Materialien, die nicht weiter verwendet werden (KEG).
Radioaktive Stoffe	Stoffe, die Radionuklide enthalten, deren Aktivität die in Anhang 3, Spalte 9 StSV festgesetzten Freigrenzen übersteigen.
Radiologischer Störfallnachweis	Nachweis, dass die radiologischen Grenzwerte, Richtwerte oder Limiten eingehalten werden (können).
Rahmenbewilligung	Bewilligung des Bundesrates, welche die grundsätzlichen, politisch bedeutsamen Fragen (z.B. Standort) entscheidet. Sie ist die Voraussetzung für die weiteren Bewilligungen. Die Rahmenbewilligung legt den Bewilligungsinhaber, den Standort, den Zweck der Anlage, die Grundzüge des Projektes und die maximal zulässige Strahlenexposition für Personen in der Umgebung der Anlage fest.
Randbruchsystem	Bruchsystem das den Rand eines Sedimenttrogs bildet (hier Permokarbontrog).

Begriff	Beschreibung
Reaktivitätskontrolle	Sicherheitstechnisches Schutzziel für Kernanlagen. Die Reaktivität wird während dem Normalbetrieb so kontrolliert, dass alle Limiten eingehalten werden. Falls erforderlich, muss die Abschaltung und Unterkritikalität des Reaktors gewährleistet sein. Ein Kritikalitätsstörfall bei der Brennelementlagerung oder Handhabung muss mit ausreichender Sicherheit ausgeschlossen werden können.
Reaktor	Teil eines Kernreaktors, welcher den Reaktordruckbehälter, die Einbauten, die Brennelemente, die Steuerelemente und die Kerninstrumentierung umfasst.
Reaktortyp	Ein Kernreaktor, der von einem Lieferanten und mit einer bestimmten Leistungsklasse angeboten wird (z.B. AP1000; AP 600; ESBWR; EPR, SWR1000)
Rechtfertigung	Eine Tätigkeit, bei der Menschen oder die Umwelt ionisierenden Strahlen ausgesetzt sind (Strahlenexposition), darf nur ausgeübt werden, wenn sie sich mit den damit verbundenen Vorteilen und Gefahren rechtfertigen lässt.
Redundanz	Vorhandensein von mehr funktionsbereiten Ausrüstungen, als zur Erfüllung der vorgesehenen Sicherheitsfunktion notwendig ist.
Reflexionsbild	Das allgemeine, von den Störsignalen und/oder der Reflektivität des Untergrundes geprägte Aussehen eines reflexionsseismischen Abschnittes.
Reflexionsseismik	Messverfahren mit dem, von der Erdoberfläche aus, Schichtgrenzen in der Erdkruste durch die Messung von reflektierten akustischen Signalen bestimmt werden.
Rheologie	Die Wissenschaft, die sich mit dem Verformungs- und Fliessverhalten von Materie beschäftigt.
Schaltanlage	Anlage zur Aus-, Ein- und Umschaltung von Starkstromschienen.
Schaltfeld	Teilbereich einer Schaltanlage.
Schockbetrieb	Kurzintervalliger intermittierender Pumpbetrieb in einem Grundwasserbrunnen mit dem Ziel die Brunnenergiebigkeit zu verbessern oder zu halten.
Schutzziele	Die Schutzziele für Kernanlagen sind die Kontrolle der Reaktivität, die Kühlung der Kernmaterialien und der radioaktiven Abfälle, der Einschluss der radioaktiven Stoffe und die Begrenzung der Strahlenexposition.
Seiche	Stehende Welle (rhythmische Schwingung) des Wassers in Seen oder Buchten. Sie entstehen, wenn Beckenränder Wellen reflektieren, deren Wellenlänge in Resonanz mit dem Becken liegt.
Seismik	Messverfahren mit dem, im Bohrloch oder an der Erdoberfläche, Schichtgrenzen in der Erdkruste durch die Messung von reflektierten oder refraktierten akustischen Signalen bestimmt werden.

Begriff	Beschreibung
senso lato	(s.l.) im weiteren Sinn
senso stricto	(s.str.) im engeren Sinn
Sicherheitsengineering	Das Sicherheitsengineering bewertet die technische Sicherheit einer Anlage/Technologie auf der Basis behördlich vorgegebener Akzeptanzkriterien und Akzeptanzlimiten.
Sicherheitserdbeben	Das Erdbeben bei dem der Nachweis erbracht werden muss, dass alle Sicherheitsfunktionen beziehungsweise die Integrität der Ausrüstungen während und nach dem Ereignis gewährleistet sind.
Sicherheitskultur	Eine sicherheitsgerichtete Grundhaltung auf allen Hierarchiestufen. Sie umfasst die übergeordnete Verantwortung des Managements zur Formulierung und Umsetzung einer sicherheitsgerichteten Unternehmensphilosophie, zur Schaffung einer geeigneten Organisationsstruktur sowie zur Bereitstellung der notwendigen personellen und technischen Mittel. Die zweite Komponente beinhaltet die Einstellung und das Verhalten des Personals aller Hierarchiestufen sowie die Kommunikation zwischen diesen.
Sicherheitssystem	Ein System mit mechanischen Ausrüstungen der Sicherheitsklassen SK 1 bis 4 und oder elektrischen Ausrüstungen welche 1E-klassiert sind (vgl. Anhang 4 KEV).
Sicherung	Der Schutz von Kernanlagen gegen unbefugtes Einwirkungen durch Menschen, deren Absicht es ist, Störungen und Schäden zu verursachen bzw. Kernmaterialien zu entwenden.
Siedewasserreaktor	Ein Leichtwasserreaktor bei welchem das Kühlmittel im Reaktor zum Sieden gebracht wird. Der Dampf für die Turbine wird direkt aus dem Reaktor genommen.
Soil	Der oberflächennahe Bereich zwischen Fels und Erdoberfläche, der eine Verstärkung der ankommenden Erdbebenwellen verursacht.
Soil Motion	Ausmass der Erdbebenerschütterungen an der Erdoberfläche; sie enthält den Standorteffekt.
Spannungsabfall	Die während eines Erdbebens auf der Bruchfläche abgebaute tektonische Spannung.
Standardkernkraftwerk	Ein Kernkraftwerk bei dem der Kraftwerksblock als ganzes ausgelegt und lizenziert wird. Es wird mit der gleichen Konfiguration für mehrere Standorte und Kunden angeboten.
Standort	Geografisches Gebiet für die Errichtung einer Kernanlage. Das Gebiet schliesst alle Bauten und Einrichtungen ein, die für den Betrieb der Kernanlage (bei Normalbetrieb, bei Betriebsstörungen und für die Beherrschung von Störfällen) erforderlich sind.
Standorteffekt	Die frequenzabhängige Verstärkung (oder selten Schwächung) der Erdbebenerschütterungen durch die Beschaffenheit des oberflächennahen, lokalen Untergrundes (Soil), relativ zu einem Standort auf dem Fels.

Begriff	Beschreibung
Standorteigenschaft	Merkmal eines Standortes und dessen Umgebung, das für die nukleare Sicherheit relevant sein kann. Es wird bei der Beschreibung von externen Ereignissen und für die Ableitung von für die Auslegung relevanten Einwirkungen berücksichtigt.
Standorteignung	Die Gesamtheit der Merkmale eines Standorts die zeigen, dass eine Kernanlage gebaut und betrieben werden kann - mit Erfüllung aller, für die nukleare Sicherheit relevanten rechtlichen Anforderungen.
Stauwehr Beznau	Wehranlagen inklusiv Dotieranlage.
Steuerelemente	Komponenten, die die Regelung der Kernleistung und der Schnellabschaltung der Kernspaltung dienen.
Stichtagsmessung	Messung der Grundwasserspiegellage(n) an einem bestimmten Datum.
Störfallanalysen	Untersuchung des Verhaltens der Kernanlage bei Störfällen mit Hilfe analytischer Methoden.
Störfallvorschrift	Die Betriebs- und Störfallvorschriften regeln den sicheren Anlagebetrieb, insbesondere im Normalbetrieb und bei Störfällen nach Artikel 8 der KEV.
Strahlenexposition	Die Einwirkung von ionisierenden Strahlen auf den menschlichen Körper.
Strahlenschutz	Der Schutz von Mensch und Umwelt gegen die schädliche Einwirkung von ionisierenden Strahlen.
Stromproduktion	Die Herstellung von elektrischer Energie.
Stromversorgung	Die Versorgung der Kraftwerkskomponenten mit Starkstrom, entweder vom externen Netz, vom Turbogenerator, von Batterien oder von Dieselgeneratoren.
Sturmböe	Windböe bei einem Sturm.
Subcrop	Das Auskeilen eines Gesteinspakets unter einem darüberliegenden, nicht parallelen Gesteinspaket.
Synklinale	Eine durch Faltung erzeugte konkave Einbuchtung (Mulde) geschichteter Gesteine oder der nach unten gerichtete Teil einer Falte.
Systemingenieur	Ein Ingenieur, der für alle Aspekte der Systemauslegung, Konfiguration, Prüfung und Instandhaltung zuständig ist.
Tafeljura	Teil des Jura zwischen dem Faltenjura und dem Schwarzwald. Die Gesteinschichten sind in der Regel um gegen 2-4° gegen Südosten geneigt.
Taupunkttemperatur	Temperatur bei der es zur Kondensation kommt.
Technische Spezifikation	Die Technische Spezifikation enthält Vorschriften für den Betrieb der nuklearen Anlage und ihrer Sicherheitssysteme einschliesslich der technischen Abschaltkriterien.

Begriff	Beschreibung
Thermische Leistung, MWth	Die im Reaktor produzierte thermische Leistung in Megawatt-thermisch.
Tornado	Ein kleinräumiger Luftwirbel in der Erdatmosphäre, der sich durchgehend vom Boden bis zur Wolkenuntergrenze erstreckt.
Transiente Bevölkerung	Personen, die nicht zur Wohnbevölkerung der Gemeinden gehören, sich aber aus anderen Gründen in der Gemeinde aufhalten (z.B. in Arbeitsstätte, Schule, Spitälern, Hotels usw.).
Trias	Älteste Periode des Erdmittelalters (Mesozoikum).
Überschiebung	Flache Verwerfung, bei der ein Gesteinspaket über ein anderes geschoben wird (Volumenabnahme).
Umgebungsüberwachung	Überwachung der Ortsdosisleistung und Radioaktivität (Luft, Wasser, Boden, Pflanzen, Fische usw.) in der Umgebung einer Kernanlage.
Uniform Hazard Spectrum	Gefährdungskonsistentes Spektrum: Darstellung der seismischen Gefährdung als Funktion der Frequenz für eine gegebene jährliche Überschreitenswahrscheinlichkeit.
Unterschreitungs-wahrscheinlichkeit	Wahrscheinlichkeit des Eintreffens eines Ereignisses unterhalb eines Schwellenwerts.
Unterwerk	Eine Schaltanlage mit Transformatoren, welche eine Verbindung der elektrischen Spannungsebenen bewirkt.
Vereisung	Eisbildung aus der Luft an Strukturen und Komponenten; Eisbildung auf Oberflächengewässern.
Verschiebung	Die Bewegung eines Gesteinspakets relativ zu einem anderen an einer Verwerfung.
Verwerfung = Störung	Tektonische Schwächezone in der Erdkruste, an der Bewegungen stattfinden oder stattgefunden haben.
Vorfaltenzone	Teil des Juragebirges zwischen Tafeljura im Norden (Gebiet von alpiner Fernschubtektonik nicht erfasst) und Faltenjura im Süden (Auswirkungen der Fernschubtektonik an Erdoberfläche sichtbar); in der Vorfaltenzone ist nur der tiefere Untergrund durch Fernschubtektonik schwach deformiert.
Wärmeentnahme	Die gezielte Abgabe thermischer Energie aus einem System bzw. einer Anlage.
Wasserschloss	Als das Wasserschloss der Schweiz wird die Gegend im Dreieck von Brugg, Turgi und Klingnau bezeichnet, in welchem sich die drei Flüsse Aare, Reuss und Limmat beim Gebenstorfer Ortsteil Vogelsang kurz hintereinander vereinigen und als Aare bei Koblenz in den Rhein fliess en.
Wehrkraftwerk	Ein Kleinkraftwerk im Stauwehr Beznau das aus Dotierturbine und Generator besteht.

Begriff	Beschreibung
Wetter	Kurzfristiger Zustand der Atmosphäre an einem Ort.
Wichtigste Bauten	Die wichtigsten Bauten einer Kernanlage die technisch dem Verwendungszweck dienen oder für welche die nukleare Sicherheit und die Sicherung von Bedeutung sind. Im RBG sind diese Bauten generisch für das vorgesehene Reaktorsystem beschrieben, aber die verschiedenen Reaktortypen innerhalb eines Systems können unterschiedliche Bauten aufweisen.
Wiederkehrperiode	Reziproker Wert der relativen Häufigkeit eines Ereignisses bestimmter Grösse (Jährlichkeit).
Windböe	Heftige Luftbewegung von kurzer Dauer (Windstoss).
Windrichtungsklasse	Einteilung der Windrichtungen in verschiedene Klassen. Die Auflösung der Windrichtungsmessung wird gröber. Beispiel: 36 Klassen ergeben die Abstufungen 0° bis 10°, 10° bis 20° …, 350° bis 360°.
Windrose	Polare Darstellung der Windrichtung.
Windstärkeklasse	Einteilung der Windgeschwindigkeiten in verschiedene Klassen. Die Auflösung der Windgeschwindigkeitsmessung wird gröber. Beispiel: Klassen von 0 bis 3 m/s, 3 bis 6 m/s, 6 bis 9 m/s, >9 m/s.
x-hundertjährige Ereignis	Ereignisse werden zumeist mit Wiederkehrsintervallen angegeben. Beispielhaft ist das 100-jährliche Hochwasser (HW100), ein Ereignis, das statistisch gesehen in 100 Jahren einmal auftritt. Das heiss t nicht, dass nach einem hundertjährigen Ereignis hundert Jahre kein Ereignis dieser Gröss e folgt. Ein Ereignis kann durchaus einem anderen folgen.
Zweck	Als Zweck der Anlage (oder Projektes gemäss KEV) gilt bei Kernreaktoren die hauptsächliche Nutzungsform der gewonnenen Energie, d.h. Elektrizität oder allenfalls Fernwärme. Zweck eines Lagers für radioaktive Abfälle ist die Zwischen- oder die geologische Tiefenlagerung.
Zwischenlagerung	Lagerung geeigneter konditionierter und verpackter radioaktiver Abfälle unter kontrollierten Bedingungen bis zur Beseitigung. "Geeignet konditioniert" heisst, dass die zwischenzulagernden Abfälle wenn möglich endlagergerecht konditioniert sein müssen.
Zyklon	Tropischer Wirbelsturm im indischen Ozean. In anderen Regionen gelten andere Bezeichnungen: Hurrikan (Amerika), Taifun (Südost-Asien).
Zyklus (Zyklen)	Eine Betriebsperiode zwischen zwei nachfolgenden Brennstoffwechseln.

Resun AG, eine gemeinsame Planungsgesellschaft der Axpo-Konzerngesellschaften Nordostschweizerische Kraftwerke AG und Centralschweizerische Kraftwerke AG sowie der BKW FMB Energie AG

1 Sicherheitsbericht
2 Sicherungsbericht
3 Umweltverträglichkeitsbericht
4 Bericht über die Abstimmung mit der Raumplanung
5 Konzept für die Stilllegung
6 Nachweis für die Entsorgung der anfallenden radioaktiven Abfälle