

Sicherheitsbericht

Ersatz Kernkraftwerk Mühleberg



Rahmenbewilligungsgesuch Ersatz Kernkraftwerk Mühleberg

Gesuchstellerin: Ersatz Kernkraftwerk Mühleberg 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

Langfristig ist, zur Gewährleistung der Stromversorgungssicherheit, Ersatzkapazität zu schaffen für das bestehende Kernkraftwerk Mühleberg (KKM) der BKW FMB Energie AG sowie für die auslaufenden Bezugsverträge aus dem Ausland. Aus diesem Grund bereitet die Ersatz Kernkraftwerk Mühleberg AG den Bau bzw. den Betrieb einer neuen Kernanlage, EKKM, vor und stellt dazu entsprechend der Forderung des Kernenergiegesetzes ein Gesuch zur Rahmenbewilligung. Als Standort des EKKM ist Niederruntigen vorgesehen, in unmittelbarer Nähe des bestehenden KKM am linken Ufer der Aare.

Als Teil dieses Gesuches müssen Angaben im Bereich der nuklearen Sicherheit eingereicht werden; diese in der Kernenergieverordnung festgelegten Angaben sind im vorliegenden Bericht enthalten. Das primäre Ziel dieses Sicherheitsberichtes ist die Bewertung des Standortes bezüglich seiner Eignung für den Bau und Betrieb einer Kernanlage.

Die für das Rahmenbewilligungsgesuch (RBG) durchgeführten Untersuchungen und vorbereiteten Unterlagen wurden im Auftrag der oben genannten Gesuchstellerin von einem Team hochqualifizierter Fachpersonen erstellt, unterstützt von externen, anerkannten Experten. Die RBG-Dokumente wurden mittels einer sorgfältigen Qualitätssicherung geprüft.

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.

Für das EKKM ist ein Leichtwasserreaktor vorgesehen mit einer elektrischen Leistung von 1'450 MW mit einer Toleranz von rund plus / minus 20%. Verschiedene Reaktortypen, die dem heutigen Stand der Technik entsprechen, wurden für die RBG-Untersuchungen in Betracht gezogen; die Wahl des Reaktortyps bzw. des Anlagenlieferanten wird später im Zuge der Vorbereitung des Baubewilligungsgesuches erfolgen. Eine die untersuchten Reaktortypen weitgehend abdeckende Anlagekonzeption wurde als Basis für die Sicherheitsstudien genommen; für diese Konzeption wurden die Anordnung und die ungefähre Dimensionen der wichtigsten Bauten am Standort ermittelt. Um die Transporte von radioaktiven Stoffen zu minimieren, sind zusätzlich zum Kernkraftwerk noch Anlagen zur Konditionierung und Zwischenlagerung von radioaktiven Materialien am Standort geplant.

Als Hauptkühlsystem dient ein Hybridkühlturm, welcher mit erzwungenem Luftstrom sowie nach dem Prinzip der kombinierten Nass-Trockenkühlung arbeitet. Auf diese Weise lässt sich sichtbarer Dampf weitgehend vermeiden und die Bauhöhe des Kühlturmes entscheidend verringern.

Das Stromnetz ist geeignet, um die vorgesehene Leistung des EKKM aufzunehmen. Der Standort kann gut über die Strasse erschlossen werden.

Für die Projektierung und Auslegung des EKKM werden der neueste Stand von Wissenschaft und Technik sowie nationale und internationale Betriebserfahrungen berücksichtigt.

Standorteigenschaften

Geografische Gegebenheiten am Standort

Die naturräumlichen Verhältnisse, die Bevölkerungsverteilung und die Bodennutzung in der Standortumgebung zeigen keine Besonderheiten, welche zu einer Gefährdung führen könnten. Vorbereitung und Umsetzung von Notfallschutzmassnahmen entsprechend den gültigen Verordnungen sind möglich.

Es befinden sich keine industriellen oder militärischen Anlagen in der Nähe des Standortes, die eine Gefährdung für die Sicherheit der Kernanlage darstellen könnten. Das gleiche gilt für den Verkehr auf Strassen bzw. Bahnlinien. Die beiden Gasleitungen in der Umgebung befinden sich ebenfalls zu weit vom Standort entfernt, um eine Gefährdung bilden zu können.

Der Standort liegt nicht in unmittelbarer Nähe von grossen Flughäfen, jedoch befinden sich verschiedene Regionalflughäfen und Flugfelder in einem Umkreis von 50 km. Die Gefährdung eines unfallbedingten Absturzes von grossen (kommerziellen) und kleineren Flugzeugen sowie von Militärflugzeugen wurde deshalb rechnerisch ermittelt: Sie ist insgesamt tief und stellt die Standorteignung nicht in Frage. Die Anforderungen an die Auslegung des EKKM beinhalten sowohl den Aufprall als auch die Folgen eines Flugzeugabsturzes wie Treibstoffbrand und Trümmereinwirkung.

Meteorologie

Die meteorologischen Bedingungen am Standort sind gut dokumentiert und bewertet. Das Klima entspricht den typischen europäischen atlantischen Verhältnissen und ist generell geeignet für den Bau und Betrieb einer Kernanlage.

Die möglichen meteorologisch bedingten Gefährdungen z.B. durch Blitzschlag, extreme Winde und Tornados wurden untersucht: Sie stellen die Eignung des Standortes nicht in Frage. Bei der Auslegung des EKKM werden die möglichen Auswirkungen solcher externen Ereignisse berücksichtigt.

Hydrologie

Die Schwankungsbreiten der Flusswassertemperaturen und -pegel liegen im üblichen Rahmen für mitteleuropäische Bedingungen. Niedrige Wasserpegelstände können, insbesondere im Winter, auftreten; die Auslegung der Kühlsysteme des EKKM kann jedoch sicherstellen, dass die Kühlung des EKKM dadurch nicht beeinträchtigt wird.

Die mögliche Gefährdung durch Überflutung als Folge von Staumauerbrüchen sowie als Folge eines 10'000-jährlichen Hochwassers wurde analysiert. Die Pegelstände eines Hochwasserereignisses werden von den Pegeln aus Staumauerbruchereignissen deutlich übertroffen. Die Anlagekonzeption sieht durch eine geeignete Terrassendimensionierung vor, dass sie alle für die Sicherheit relevanten hydrologischen Ereignisse beherrscht. Eine sichere Abschaltung des Reaktors ist jederzeit gewährleistet.

Geologie und Seismologie

Geologie, Baugrund und seismische Gefährdung können dank einer überdurchschnittlich guten geologisch-geotechnischen Datenbasis sowie dank der weltweit aufwendigsten Erdbebengefährdungsanalyse (PEGASOS-Studie) zuverlässig beurteilt werden. Günstige Baugrundeigenschaften und -tragfähigkeit sowie eine geringe seismische Gefährdung belegen die Eignung des Standorts.

Alle sicherheitsrelevanten Bauten und Einrichtungen des EKKM werden gegen die möglichen Auswirkungen eines Erdbebenereignisses bzw. dessen möglichen Folgeereignisse ausgelegt, sodass die entsprechenden Störfälle beherrscht werden können.

Weitere externe Ereignisse

Das Gefährdungspotential von sämtlichen möglichen extern ausgelösten Ereignissen wurde untersucht. Abgesehen von den oben erwähnten Gefährdungen wurden Ereignisse wie Trockenheit, Vereisung, Blitzschlag, Waldbrand, biologische Ereignisse usw. eruiert; auch mögliche Kombinationen von Gefährdungen wie z.B. aussergewöhnliche Sommer- und Winterbedingungen (Kombination von hohen resp. tiefen Temperaturen mit beispielsweise Trockenheit resp. Vereisung) wurden untersucht. Die Untersuchungen zeigen, dass durch eine geeignete Konzeption bzw. Auslegung der Anlage ausreichende Schutzmassnahmen gegen die für den Standort relevanten Ereignisse getroffen werden können.

Gesamtbeurteilung Standorteignung

Die Standorteignung wird durch folgende günstige Standorteigenschaften begründet:

- stabile meteorologische Verhältnisse
- ausreichende Wassermengen für Kühlzwecke
- gute Erschliessungsmöglichkeit
- gute Anbindung an das schweizerische Hochspannungsnetz
- stabile geologische Formationen und guter Baugrund
- seismisch ruhige Zone
- dünn besiedelte Umgebung mit hauptsächlich landwirtschaftlicher Nutzung
- keine industriellen Anlagen in der Umgebung, entsprechende Gefährdung ausgeschlossen.

Die Gefährdung durch externe Ereignisse stellt die Standorteignung nicht in Frage. Diese Gefährdung lässt sich nach heutigem Stand der Wissenschaft und Technik durch anlagekonzeptionelle, bauliche, auslegungstechnische, organisatorische oder andere Massnahmen beherrschen.

Die anlageintern ausgelösten Ereignisse, die auslegungsspezifisch sind, werden erst im Rahmen der Wahl des Reaktortyps genau untersucht und im Baubewilligungsverfahren dargelegt.

Strahlenschutzaspekte

Die Auswahl der Kernanlage erfolgt u.a. unter dem Aspekt der Dosisminimierung bzw. der Optimierung der Strahlenbelastung. Der Sicherheitsbericht behandelt ausschliesslich die Belastung durch ionisierende Strahlung.

Der Strahlenschutz und die voraussichtliche Strahlenexposition in der Umgebung der Anlage bei Normalbetrieb und bei Betriebsstörungen werden die Anforderungen der Kernenergieverordnung erfüllen. Um die Strahlenexposition der Bevölkerung bei Störfällen mit Ursprung innerhalb oder ausserhalb der Anlage unterhalb der gesetzlich festgelegten Grenzwerte zu halten, werden geeignete passive und aktive Schutzmassnahmen getroffen.

Da das EKKM in unmittelbarer Nähe der bestehenden Kernanlage KKM errichtet wird, können aus radiologischer Sicht beide 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 Gesuches zur Baubewilligung werden die in der Strahlenschutzverordnung verlangten radiologischen Störfallanalysen durchgeführt, um die Einhaltung aller relevanten radiologischen Störfallgrenzwerte nachzuweisen.

Personelle, organisatorische und menschliche Aspekte

Die wichtigen personellen und organisatorischen Grundsätze bzw. die geplante Organisationsentwicklung im Projekt EKKM wurden für die verschiedenen Projektphasen ermittelt. Von der Projektierung bis zur Stilllegung sind adäquate, umfassende und vollständige Sicherheitsbetrachtungen vorgesehen; dabei stehen das nukleartechnische Engineering, die menschlichen und organisatorischen Faktoren (Human and Organizational Factors, HOF) und das Qualitätsmanagement zentral.

Das nukleartechnische und das HOF-Engineering werden von Anfang an ganzheitlich betrachtet: Die neue Kernanlage wird als soziotechnisches System ganzheitlich bewertet. Das Zusammenwirken von Mensch, Technik und Organisation wird so gestaltet, dass die Projekt- und Betriebsabläufe reibungslos und zeitgerecht ablaufen und die gesetzlichen Forderungen an die nukleare Sicherheit erfüllt sind. Personalbestand, -ausbildung und -einsatz werden sicherstellen, dass das Projekt mit fachlicher und methodischer Kompetenz abgewickelt werden kann.

Fazit

Der Sicherheitsbericht zeigt, dass am Standort Niederrurten eine Kernanlage sicher gebaut und betrieben werden kann und dass die gesetzlichen Vorgaben dazu eingehalten werden können.

Inhalt

1	Einleitung	1
1.1	Gegenstand des Gesuches zur Rahmenbewilligung	1
1.2	Aufbau und Inhalt des Sicherheitsberichtes	3
1.3	Erfahrung der Gesuchstellerin	3
2	Das Projekt EKKM	5
2.1	Zweck	5
2.2	Grundzüge des Projektes	5
2.2.1	Stromproduktionsanlage	5
2.2.2	Anlagen zur Konditionierung und Zwischenlagerung	8
2.3	Beschreibung der Anlage	11
2.3.1	Übersicht des Standortes	11
2.3.2	Anlagekonzeption	15
2.3.3	Die wichtigsten Gebäude und ihre Dimensionen	15
2.3.4	Anordnung der Bauwerke	19
2.3.5	Erschliessung und Baulogistik	21
2.3.6	Bestehendes KKW Mühleberg (KKM)	26
2.4	Kühlung	27
2.4.1	Einleitung	27
2.4.2	Hauptkühlung	28
2.4.3	Hilfskühlung	31
2.4.4	Notkühlung	33
2.4.5	Extreme Wetterbedingungen, Klimaerwärmung	34
2.4.6	Zusammenfassung	35
2.4.7	Parallelbetrieb KKM – EKKM	35
2.5	Erfüllung der gesetzlichen und behördlichen Anforderungen	36
2.5.1	Schutzmassnahmen, Sicherheitsebenen und Auslegungsgrundsätze	37
2.5.2	Regelwerk bzgl. Normalbetrieb und Störfällen	38
2.5.3	Störfallanalysen	39

2.6	Notfallschutz	40
2.6.1	Ausgangslage	40
2.6.2	Betriebliche Notfallorganisation	41
2.6.3	Anlageninterner Notfallschutz	42
2.6.4	Anlagenexterner Notfallschutz	42
2.6.5	Zusammenfassende Beurteilung	45
2.7	Klassierung von Systemen, Strukturen und Komponenten	46
2.8	Qualitätsmanagement (QM)	47
2.8.1	QM für Standorteignung und Rahmenbewilligungsgesuch	47
2.8.2	QM für Projektierung, Bau, Betrieb und Stilllegung	48
3	Standorteigenschaften	49
3.1	Geografie und Bevölkerung	49
3.1.1	Geografie	49
3.1.2	Bevölkerung	51
3.1.3	Bodennutzung	68
3.2	Verkehrswege, industrielle Anlagen	77
3.2.1	Industrieanlagen	77
3.2.2	Militärische Anlagen	79
3.2.3	Auswirkungen von Störfällen an Erdgashochdruckanlagen	79
3.2.4	Verkehrswege	82
3.2.5	Auswirkungen von Störfällen bei Flüssig-Propangas-Transporten auf Strasse und Schiene	83
3.2.6	Benzintransporte	86
3.2.7	Chlortransporte	87
3.3	Meteorologie	89
3.3.1	Meteorologische Daten	89
3.3.2	Methodik	92
3.3.3	Lokale Meteorologie am Standort Mühleberg	93
3.3.4	Windverhältnisse	94

3.3.5	Lufttemperaturen und relative Feuchtigkeit	104
3.3.6	Vereisung	109
3.3.7	Niederschlag	110
3.3.8	Schnee	116
3.3.9	Blitze	117
3.3.10	Hagel	118
3.3.11	Erwartete Weiterentwicklung, Klimaerwärmung	118
3.3.12	Ausbreitungsklassen für den Standort Mühleberg	120
3.3.13	Bewertung	135
3.4	Hydrologische Ereignisse	137
3.4.1	Einführung	137
3.4.2	Hochwasser	138
3.4.3	Überflutungsereignisse im Einzugsgebiet	146
3.4.4	Weitere Hydrologische Aspekte	155
3.4.5	Zusammenfassung, Bedeutung für Standorteignung und Auslegung der Anlage	161
3.5	Geologie, Baugrund, Seismologie	163
3.5.1	Geologie	163
3.5.2	Baugrund	185
3.5.3	Seismologie und standortspezifische Erdbebengefährdung	195
3.5.4	Bewertung der Standorteignung	241
3.6	Gefährdungspotential	245
3.6.1	Anlageintern ausgelöste Ereignisse	245
3.6.2	Evaluation möglicher extern ausgelöster Ereignisse	245
3.6.3	Kombination von Gefährdungen	280
3.6.4	Wechselwirkung EKKM - KKM	281
3.6.5	Gefährdung durch Brände	282
3.6.6	Gesamtbeurteilung der externen Ereignisse	283
3.6.7	Schutz gegen unbefugte Einwirkungen	283
3.7	Netzanbindung, Stromversorgung	285

3.7.1	Netztopologie / Unterstation Mühleberg Ost	285
3.7.2	Ableitung der elektrischen Energie aus dem EKKM	286
3.7.3	Netzstabilität	288
3.7.4	Stromversorgung	292
3.7.5	Notstromversorgung	292
3.7.6	Bewertung der Netzanbindung und Stromversorgung	293
4	Strahlenschutz und Strahlenexposition	295
4.1	Gesetzliche Anforderungen und Grundsätze zum Strahlenschutz	295
4.1.1	Grundsätzliches zur Strahlenexposition durch die Anlage EKKM	295
4.1.2	Gesetzliche Grundlagen	295
4.1.3	Rechtfertigung und Optimierung der Strahlenexposition	297
4.1.4	Grundsätze zur Begrenzung der Strahlenexposition	298
4.2	Strahlenexposition in der Umgebung der Anlage	304
4.2.1	Einhaltung der maximal zulässigen Strahlenexposition in der Umgebung der Anlage	304
4.2.2	Strahlenexposition durch Abgaben radioaktiver Stoffe	305
4.2.3	Strahlenexposition durch Direktstrahlung	305
4.2.4	Strahlenexposition durch Freisetzungen bei Betriebsstörungen und Störfällen	306
4.2.5	Kontrolle der betrieblichen Abgaben	306
4.2.6	Einhaltung der Immissionsgrenzwerte	307
5	Personal und Organisation, Menschliche und Organisatorische Faktoren	308
5.1	Einleitung	308
5.2	Grundsätze zu Personal und Organisation	308
5.3	Organisationsentwicklung im Projekt EKKM	310
5.4	Menschliche und Organisatorische Faktoren, Grundlagen und Ziele	313
5.5	Überblick des HOF-Vorhabens	314
5.6	Grundsätze des HOF-Vorhabens	315
5.7	Wirkungsbereich des HOF-Vorhabens	315
5.8	Umsetzung des HOF-Vorhabens	318

5.9	Das HOF-Vorhaben bei der Projektierung der Anlage	319
5.9.1	Ziele	319
5.9.2	Etappen	320
5.10	Das HOF-Vorhaben beim Bau der Anlage	327
5.10.1	Ziele	327
5.10.2	Etappen	328
5.11	Das HOF-Vorhaben in der Betriebsphase der Anlage	331
5.11.1	Ziele	331
5.11.2	Etappen	332
5.12	Das HOF-Vorhaben in der Stilllegungsphase der Anlage	333
	Referenzen	336
	Tabellenverzeichnis	344
	Abbildungsverzeichnis	350
	Abkürzungsverzeichnis	356

1 Einleitung

1.1 Gegenstand des Gesuches zur Rahmenbewilligung

In Europa und in der Schweiz zeichnet sich eine Lücke bei der Stromversorgung ab. In der Schweiz entsteht um 2030 – nach der Stilllegung der Kernkraftwerke (KKW) in Beznau und Mühleberg und nach dem Auslaufen von langfristigen Bezugsverträgen aus französischen KKW – ohne zusätzliche resp. neue Kraftwerkskapazitäten eine Lücke, welche rund der Hälfte des heutigen schweizerischen Stromverbrauchs von knapp 60 TWh entspricht. Diese Prognose wurde in verschiedenen Studien, z.B. des Bundesamtes für Energie (BFE), dargelegt.

Die Strategie für eine sichere, zuverlässige, umweltschonende und wirtschaftliche Energieversorgung der Schweiz basiert auf vier Säulen. Als erstes ist die Effizienz des gesamten Energiesystems – also für alle Energiearten – zu steigern. Effizienzmassnahmen können dazu führen, dass fossile Energieträger durch elektrische Energie substituiert werden z.B. durch den Einsatz von Wärmepumpen. Die zweite Säule zielt auf eine massive Steigerung der Produktion aus neuen erneuerbaren Energien (NEE, wie Wind, Sonne oder Biomasse) und kleinen Wasserkraftwerken ab. Weil die ersten beiden Säulen den notwendigen Strombedarf nicht verringern resp. bei Weitem nicht bereitstellen können, sind als dritte Säule auch grosse Kraftwerke erforderlich. Wie die Energie- und Klimaschutz-Strategie der ETH zeigt, ist primär eine Reduktion von CO₂ und anderen klimarelevanten Gasen anzustreben. Neue grosse Kraftwerke sollen deshalb möglichst CO₂-frei betrieben werden können. Den Anforderungen nach bedeutender Grundlastproduktion und klimaschonendem Betrieb genügen im Zeitraum ab etwa 2020 einzig Kernkraftwerke. Die vierte Säule fördert die Partnerschaft im Energiebereich mit dem Ausland, namentlich bezüglich Austausch und Handel.

Das bestehende Kernkraftwerk Mühleberg (KKM) der BKW FMB Energie AG (BKW) am Standort Mühleberg im Kanton Bern ist langfristig zu ersetzen. Ausserdem ist für die auslaufenden Bezugsverträge aus Kernkraftwerken in Frankreich Ersatz zu schaffen. Um diese Ersatzkapazität zur unterbrechungsfreien Gewährleistung der Versorgungssicherheit rechtzeitig bereitzustellen, wird die Errichtung eines neuen Kernkraftwerks am Standort Niederruntigen, in unmittelbarer Nähe zum KKM am linken Ufer der Aare, beabsichtigt. Bei diesem Ersatzkernkraftwerk, hier als EKKM bezeichnet, handelt es sich um einen modernen Leichtwasserreaktor, der in Bezug auf Technologie auf bewährten Technologien der bestehenden neueren Schweizer Kernkraftwerken basiert.

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.

Für den Bau resp. den Betrieb einer Kernanlage ist gemäss Kernenergiegesetz KEG [1] eine Rahmenbewilligung des Bundesrates¹ erforderlich. Zur Einleitung des Bewilligungsverfahrens ist ein Gesuch mit den notwendigen Unterlagen² einzureichen; diese Gesuchsunterlagen sind in der

¹ Art. 12 Abs. 1 KEG [1]

² Art. 42 KEG [1]

Kernenergieverordnung KEV¹ definiert. Somit werden die folgenden Berichte mit dem Rahmenbewilligungsgesuch (RBG) für das EKKM eingereicht:

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

In den Berichten zum RBG ist die Eignung des Standortes Niederruntigen für die Errichtung und den Betrieb einer Kernanlage zentraler Bestandteil. Der Standort zeichnet sich aus durch die folgenden Eigenschaften:

- Gute Anbindung an das schweizerische Hochspannungsnetz
- Ausreichende Menge Kühlwasser von der Aare vorhanden
- Dünn besiedeltes Gebiet mit hauptsächlich landwirtschaftlicher Nutzung
- Keine industriellen Anlagen in der Umgebung, entsprechende Gefährdungen sind ausgeschlossen
- Schwer erreichbare Lage für Flugverkehr, eine Gefährdung durch zufälligen Flugabsturz ist sehr gering
- Guter Baugrund mit geringer seismischer Aktivität
- Stabile meteorologische Verhältnisse.

In den vorgenannten Berichten werden diese Standorteigenschaften ausführlich beschrieben und es wird dargelegt, dass mit diesem Standort resp. mit der geplanten Auslegungskonzeption das Risikopotential des neuen Kernkraftwerkes auf ein Minimum reduziert werden kann.

Die Konzeption der neuen Kernanlage wird ebenfalls einen wichtigen Beitrag zur Reduzierung des Risikopotentials liefern. Obwohl diese Konzeption resp. die Technologie des Reaktors im Moment noch nicht definitiv bekannt ist, sind derzeit einige wichtige Merkmale bereits erkennbar:

- Basis für die Auslegung ist die bestehende, langjährig bewährte LWR-Technologie
- Fortschrittliche Sicherheitsvorrichtungen, z.B. in Form einer Vorrichtung zur Umschliessung der Kernschmelze zur Milderung der Folgen eines schweren Unfalls
- Für einen sicheren Betrieb während der ganzen Lebensdauer der Anlage werden Strukturen und Komponenten von sehr hoher Qualität und Systeme mit hoher Redundanz² und Diversität³ eingesetzt
- Fortschrittliche Mensch-Maschine-Schnittstelle

¹ Art. 23 KEV [2]

² Für eine Funktion sind zusätzlich gleiche oder vergleichbare Komponenten vorhanden, die normalerweise nicht benötigt werden.

³ Für die gleiche Funktion werden mehrere Komponenten unterschiedlicher Auslegung, Konfiguration oder Hersteller benutzt.

1.2 Aufbau und Inhalt des Sicherheitsberichtes

Der vorliegende Bericht ist der nach KEV [2] erforderliche Sicherheitsbericht¹, in dem die Eigenschaften des Standortes Niederruntigen, der Zweck und die Grundzüge des Projektes zur Errichtung resp. zum Betrieb des EKKM, die voraussichtliche Strahlenexposition in der Umgebung des EKKM sowie die wichtigen personellen und organisatorischen Angaben bezüglich des Projektes festgehalten sind.

Der Aufbau dieses Sicherheitsberichtes entspricht den genannten thematischen Anforderungen.

Im Kapitel 2 werden Zweck und Grundzüge des Projektes beschrieben und ein Überblick gegeben über den Standort Niederruntigen sowie über die Konzeption der Anlage. Die Beschreibung der Konzeption beinhaltet die Netzanbindung, die Kühlung und die ungefähre Anordnung der Bauwerke; ebenfalls werden die Lagerung von radioaktiven Abfällen und Brennelementen sowie die Grundlagen des Notfallschutzes angesprochen.

Im Kapitel 3 werden die Eigenschaften des Standortes Niederruntigen speziell zu den Themen Geografie und Bevölkerung, Verkehrswege und industrielle Anlagen, Meteorologie, Hydrologie sowie Geologie und Erdbebengefährdung beschrieben. In diesem Kapitel wird auch das Gefährdungspotential behandelt.

Im Kapitel 4 wird der Strahlenschutz resp. die Strahlenexposition in der Umgebung der Anlage behandelt.

Im Kapitel 5 werden die Grundsätze und geplante Massnahmen zur Berücksichtigung der menschlichen und organisatorischen Faktoren (Human and Organizational Factors, HOF) sowie zur Projektorganisation und Organisationsentwicklung dargelegt.

1.3 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 Ersatzkernkraftwerke Beznau (EKKB) und Mühleberg (EKKM) zum Ziel hat.

Die Gesuchstellerin, die Bau- und Betriebsgesellschaft Ersatz Kernkraftwerk Mühleberg AG mit Sitz in Mühleberg, Kanton Bern ist eine gemeinsame Tochtergesellschaft der BKW, der NOK sowie der CKW.

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

BKW ist alleinige Besitzerin und Betreiberin des Kernkraftwerks Mühleberg mit einem Siedewasserreaktor, NOK ist alleinige Besitzerin und Betreiberin des Kernkraftwerks Beznau mit zwei Druckwasserreaktoren. Das Kernkraftwerk Beznau ist seit 1969, das Kernkraftwerk Mühleberg seit 1972 in Betrieb, beide haben seither ein sehr gutes Sicherheits- und Betriebsverhalten

¹ Art. 23 Bst. a KEV [2]

gezeigt. Die Kernanlagen wurden kontinuierlich nachgerüstet, um mit der Entwicklung des Standes der 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.

Des Weiteren sind die NOK und CKW auch am Kernkraftwerk Gösgen beteiligt.

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

2 Das Projekt EKKM

2.1 Zweck

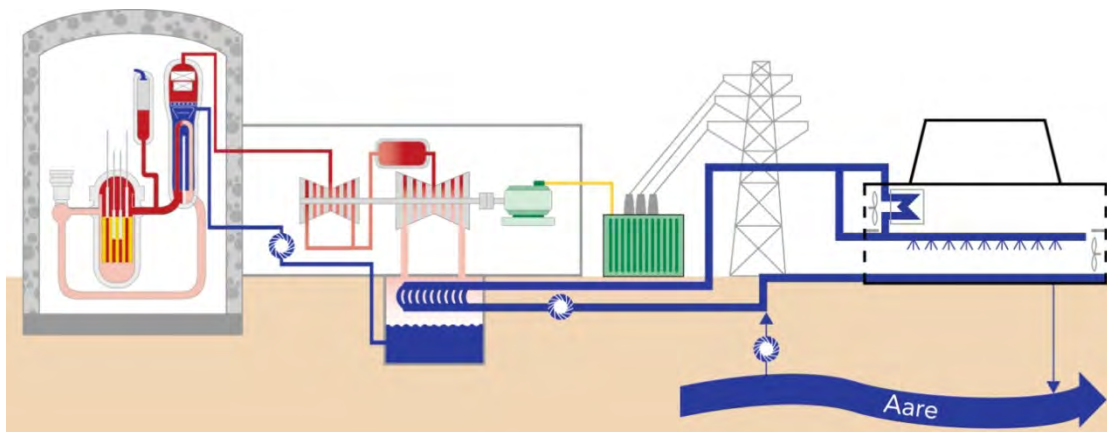
Der Zweck der Anlage ist die Nutzung der Kernenergie zur Stromproduktion unter Einschluss des Umganges mit nuklearen Gütern sowie der Konditionierung und Zwischenlagerung von radioaktiven Abfällen aus der eigenen Anlage oder aus anderen schweizerischen Kernanlagen. Optionaler Zweck ist die Bereitstellung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

2.2 Grundzüge des Projektes

2.2.1 Stromproduktionsanlage

Die neue Anlage verfügt über einen Leichtwasserreaktor (LWR), d.h. es ist eine Druck- oder Siedewasseranlage (siehe Abbildung 2.2-1 und Abbildung 2.2-2), und der Reaktor wird mit Wasser (H_2O ; Leichtwasser) gekühlt und moderiert. Die neue Anlage entspricht dem Stand von Wissenschaft und Technik, wie dies im Kernenergiegesetz KEG¹ gefordert wird und erfüllt die nuklearen Schutzmassnahmen nach national (siehe Kernenergiegesetz KEG²) und international anerkannten Grundsätzen.

Abbildung 2.2-1: Schema Kernkraftwerk mit Druckwasserreaktor



Der genaue Reaktortyp wird zusammen mit den übrigen Hauptmerkmalen der Anlage im Zuge der Vorbereitung des Baubewilligungsverfahrens ausgewählt. Im Fokus stehen Anlagentypen resp. Reaktorsysteme, die international bereits in der Betriebs- oder Realisierungsphase sind oder deren Genehmigung durch die entsprechenden Behörden bereits fortgeschritten ist. Auf den Einsatz von Prototypen wird bewusst verzichtet.

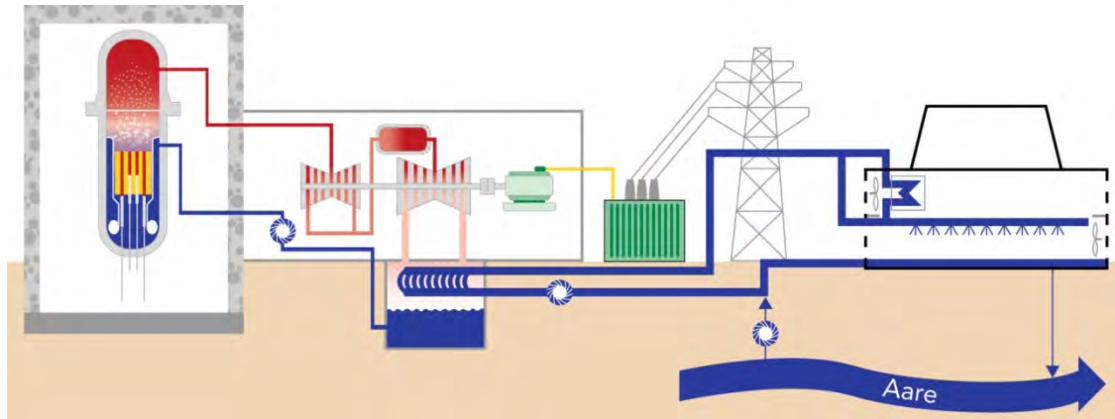
Die in diesem Dokument erwähnten oder beschriebenen Reaktortypen sind beispielhafte Varianten, die dem heutigen Stand der Technik möglicher Kernreaktoren entsprechen. Diese stellen jedoch keinen Vorentscheid zur Wahl des Reaktortyps oder des Anlagenlieferanten dar.

¹ Art. 4 Abs. 3 Bst. a KEG [1]

² Art. 5 Abs. 1 KEG [1]

Die Wahl erfolgt im Zuge der Vorbereitung des Baubewilligungsgesuches nach den geltenden gesetzlichen Anforderungen für die Beschaffung von Kernanlagen.

Abbildung 2.2-2: Funktionsschema eines Kernkraftwerkes mit Siedewasserreaktor



Die Leistungsklasse ist durch die an das elektrische Netz abgegebene Leistung (Nettoleistung) gekennzeichnet. Diese wird 1450 MW, mit einer Toleranz von rund plus / minus 20 Prozent, betragen.

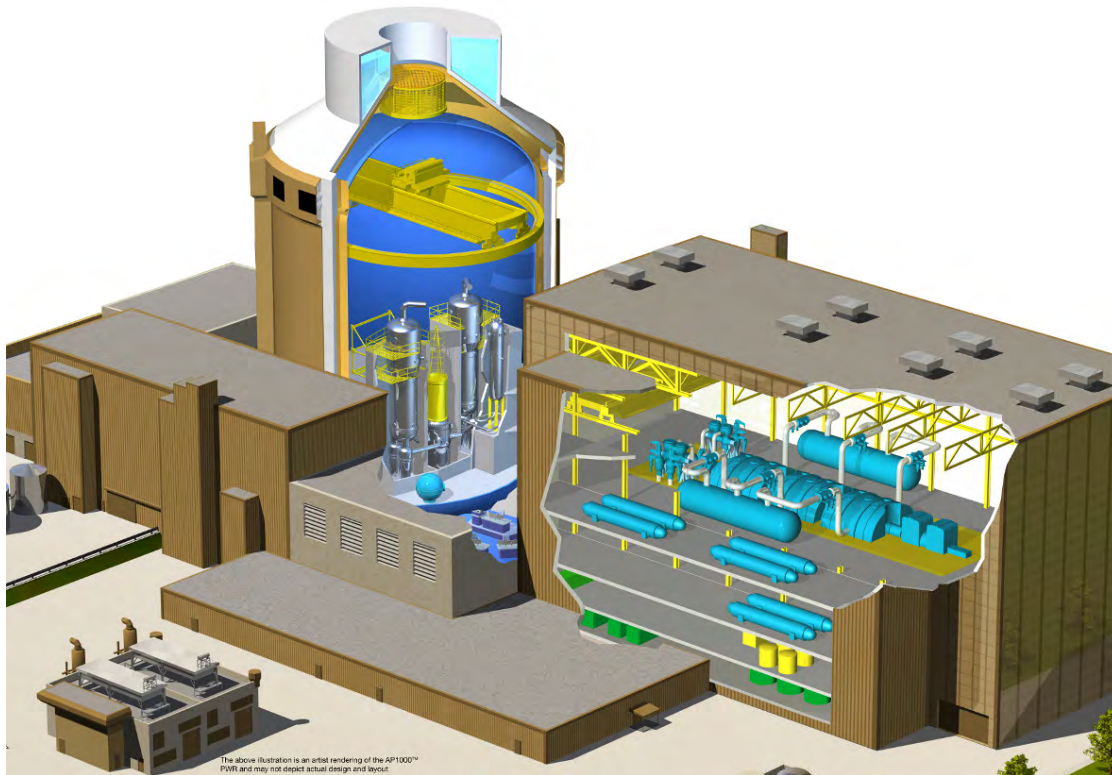
Für das Hauptkühlsystem, welches Wasser zur Kühlung des Kondensators bereitstellt, wird ein so genanntes Hybridkühlsystem gewählt. Diese Kühlung wird durch einen oder evtl. zwei ca. 60 m hohe Kühltürme charakterisiert, die mit mechanisch mittels Ventilatoren erzwungenem Luftstrom sowie nach dem Prinzip der kombinierten Nass-Trockenkühlung arbeiten. 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. Dieses so genannte Hybridkühlsystem ist in Kapitel 2.4.2.1 weiter beschrieben.

Die Anlage schliesst Bauten und Einrichtungen für die Handhabung und Zwischenlagerung radioaktiver Abfälle und Brennelemente mit ein.

Im Rahmen der Projektierung werden verschiedene Anlagen mit Reaktorsystemen der Generationen III und III+ untersucht, so als Beispiele der

- European Pressurized Water Reactor (EPR) von AREVA
- Economic Simplified Boiling Water Reactor (ESBWR) von General Electric-Hitachi (siehe Abbildung 2.2-4)
- Advanced Boiling Water Reactor (ABWR) von General Electric-Hitachi oder Westinghouse-Toshiba
- Advanced Evolutionary & Passive Reactor (AP 1000) von Westinghouse-Toshiba (siehe Abbildung 2.2-3)
- Siedewasserreaktor (SWR 1000) von AREVA.

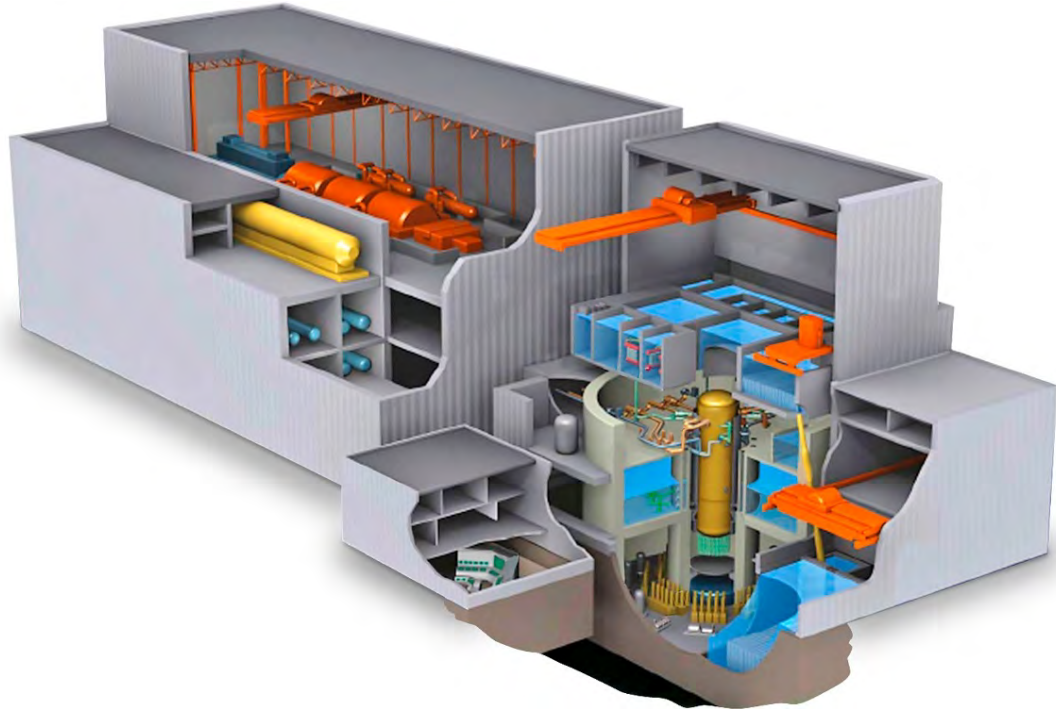
Abbildung 2.2-3: Beispiel einer modernen Druckwasseranlage: AP1000 von Westinghouse-Toshiba



Quelle: Westinghouse

Auch weitere LWR-Systeme werden zur Auswahl stehen. In der aktuellen Anlagenkonzeption und der folgenden Beschreibung der Anlagen dient der EPR beispielhaft als Referenzanlage; dies gilt auch für die Studien bezüglich Standorteignung, ist doch dieser Reaktortyp repräsentativ für die Konzeption einer modernen LWR-Anlage. Im Übrigen weisen LWR-Anlagekonzeptionen viele Ähnlichkeiten auf, obwohl die genaue Anordnung vieler Anlagekomponenten für jeden Anlagentyp unterschiedlich ist. Dieses Vorgehen ist kein Präjudiz für die spätere Wahl des Reaktorsystems und der Anlagenlieferanten.

Abbildung 2.2-4: Beispiel einer modernen Siedewasseranlage: ESBWR von General Electric-Hitachi



Quelle: General Electric Company

2.2.2 Anlagen zur Konditionierung und Zwischenlagerung

Das Kernenergiegesetz beinhaltet die Pflicht zur Entsorgung der aus einer Kernanlage stammenden radioaktiven Abfälle¹. Dieser Pflicht wird dadurch nachgekommen, dass die vom EKKM verursachten Abfälle, wie im Bericht "Nachweis für die Entsorgung der anfallenden radioaktiven Abfälle" [71] dargelegt, vollständig und konsequent den gesetzlich² vorgesehenen Entsorgungsschritten Konditionierung, Zwischenlagerung und Lagerung in einem geologischen Tiefenlager zugeführt werden.

Dazu werden für das EKKM Konditionierungseinrichtungen, Zwischenlager sowie später geologische Tiefenlager zur Verfügung stehen. Während Letztere Gegenstand eines bereits laufenden Sachplanverfahrens [72] sind, sind die benötigten Konditionierungseinrichtungen und Zwischenlager Gegenstand dieses Rahmenbewilligungsgesuches für das EKKM.

¹ vgl. Art. 31 Abs. 1 KEG [1]

² Art. 3 Bst. b KEG [1]

2.2.2.1 Konditionierungsanlagen

Die Konditionierungsanlagen 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 Abfälle¹.

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 EKKM werden in gleicher Art, wie die übrigen Anlagen des EKKM und zusammen mit diesen ausgelegt, errichtet und betrieben.

2.2.2.2 Zwischenlager

Zur Lagerung von abgebrannten Brennelementen und radioaktiven Abfällen aller Kategorien sind Zwischenlager erforderlich. Bei den radioaktiven Abfällen handelt es sich grundsätzlich um Abfälle aller Kategorien gemäss Kernenergieverordnung², d.h. um hochaktive, alphatoxische sowie schwach- und mittelaktive Abfälle.

Die hochaktiven Abfälle (HAA) werden zusammen mit den abgebrannten Brennelementen zwischengelagert. Abgebrannte Brennelemente sind als hochaktive Abfälle zu klassieren, sobald feststeht, dass sie nicht weiter verwendet werden. Vorher handelt es sich um Kernmaterialien. Für die Zwischenlagerung spielt diese Unterscheidung keine Rolle. Daher wird im Folgenden lediglich von der Zwischenlagerung von abgebrannten Brennelementen die Rede sein. Zu den hochaktiven Abfällen gehören³ nebst den abgebrannten Brennelementen ebenfalls die verglasten Spaltproduktlösungen aus der Wiederaufarbeitung⁴ von abgebrannten Brennelementen, falls eine solche wieder aufgenommen wird⁵. Verglaste Spaltproduktlösungen werden in geschlossenen Transport- und Lagerbehältern in einer entsprechend ausgerüsteten Lagerhalle zwischengelagert. Abgebrannte Brennelemente können entweder in geschlossenen Transport- und Lagerbehältern ebenfalls in einer solchen Halle oder in mit Wasser gefüllten Lagerbecken in geeigneten Gebäuden zwischengelagert werden (Trocken- resp. Nasslagerung).

Alphatoxische Abfälle (ATA) fallen bei der Wiederaufarbeitung⁴ an. In kleiner Menge können sie auch im Kraftwerksbetrieb anfallen. Ihre Lagerung erfolgt zusammen mit den schwach- und mittelaktiven Abfällen und zwar in einem speziell für alphatoxische Abfälle vorgesehenen Lagerbereich.

¹ vgl. Art 3 Bst. g KEG [1]

² Art. 51 KEV [2]

³ Art. 51 Bst. a Ziff. 2 KEV [2]

⁴ Wiederaufarbeitung: mechanische Zerlegung der abgebrannten Brennelemente, chemische Auflösung des Oxid-Brennstoffes und Trennung in Uran, Plutonium und Spaltprodukte (siehe Art. 3 Bst. m KEG). Anlagen zur Wiederaufarbeitung befinden sich im Ausland. Die aus abgebrannten Brennelementen aus der Schweiz entstehenden radioaktiven Abfälle sind aufgrund ihrer Schweizer Provenienz in der Schweiz zu entsorgen (siehe Art. 30 Abs. 2 KEG) und daher zurückzunehmen und den weiteren Entsorgungsschritten zuzuführen.

⁵ Abgebrannte Brennelemente dürfen während einer Zeit von zehn Jahren ab dem 1. Juli 2006 nicht zur Wiederaufarbeitung ausgeführt werden; die Bundesversammlung kann die Frist von zehn Jahren durch einfachen Bundesbeschluss um höchstens zehn Jahre verlängern (siehe Art. 106 Abs. 4 KEG).

Schwach- und mittelaktive Abfälle (SMA) fallen im Betrieb und bei der Stilllegung des Kernkraftwerkes an. Bei der Wiederaufarbeitung⁴ von abgebrannten Brennelementen können, sofern eine solche wieder aufgenommen wird⁵, ebenfalls schwach- und mittelaktive Abfälle anfallen. Schwach und mittelaktive Abfälle werden in entsprechend ausgerüsteten Lagerhallen zwischengelagert, vorzugsweise derart, dass eine gemeinsame Handhabung einer Vielzahl von Abfallgebinden möglich ist.

Die radioaktiven Abfälle werden bis zu ihrer Entsorgung in einem geologischen Tiefenlager in Zwischenlagern aufbewahrt. Die für die Abfälle aus dem EKKM vorgesehenen Zwischenlager werden entsprechend den für Kernanlagen geltenden Grundsätzen (siehe Kap. 2.5 und 4.1.4.1) ausgelegt, errichtet und betrieben. Zudem erfolgen Auslegung und Betrieb in Übereinstimmung mit den bestehenden rechtlichen Anforderungen¹ so, dass die Endlagerfähigkeit der zu lagernden Abfallgebinde nicht beeinträchtigt wird und eine genügende Lagerkapazität für den absehbaren Bedarf vorliegt.

Zwischenlager befinden sich am Kraftwerksstandort oder in besonderen Fällen auch in einer anderen Kernanlage, wobei letzterenfalls mit dem Eigentümer des Zwischenlagers vertraglich zu regeln ist, dass die an Bau und Betrieb einer solchen Einrichtung gestellten Anforderungen vollumfänglich erfüllt sind.

Die Lagerkapazität des Zwischenlagers wird so bemessen sein, dass jederzeit die Zwischenlager am Standort – sowie die allenfalls in anderen Kernanlagen für Abfälle aus dem EKKM 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 EKKM verursachten mittel- und schwachaktiven Abfälle, einschliesslich allfällig anfallender Wiederaufarbeitungsabfälle sowie die während der letzten Betriebsjahre im bestehenden KKM anfallenden abgebrannten Brennelemente, aufnehmen können. Dabei wird eine Volumenänderung durch Verbrennung bzw. Verschmelzung in anderen Kernanlagen, wie z.B. ZWILAG, berücksichtigt.

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

¹ Art. 12 Abs. 2 KEV [2]

Als maximale Lagerkapazität für schwach- und mittelaktive Abfälle ist damit für das EKKM Folgendes zu quantifizieren¹:

HAA: 180 Transport- und Lagerbehälter mit abgebrannten Brennelementen und hochaktiven Abfällen², davon ca. 10 mit abgebrannten Brennelementen aus dem bestehenden KKM oder alternativ ein Brennelementvolumen von 1'500 m³ (einschliesslich des Volumens für abgebrannte Brennelemente aus dem bestehenden KKM) und ggf. zusätzlich ein Volumen von 600 m³ an verglasten Spaltproduktlösungen aus der Wiederaufarbeitung von abgebrannten Brennelementen.

ATA: 1'000 m³.

SMA: 20'000 m³, davon ca. 70% Stilllegungsabfälle.

Diese Mengen sind nur als Richtgrössen zu betrachten, weil die detaillierte Auslegung bzw. Leistung der geplanten Anlage erst später festgelegt wird.

2.3 Beschreibung der Anlage

Bei der Planung von Anlagenkonzept und Anordnung wird grundsätzlich von einer Standardanordnung der wichtigsten Gebäude gemäss Angaben der Hersteller ausgegangen. Dies gilt insbesondere für die Reaktoranlage, die Gebäude mit sicherheitsrelevanten Einrichtungen, die Aufbereitungsgebäude für radioaktive Teile und Abfälle sowie das Maschinenhaus. Zudem werden vielfältige Randbedingungen, Schutzkriterien und Anforderungen zum Schutz von Mensch, Umwelt, speziellen Objekten oder des Landschaftsbildes berücksichtigt. Weiter werden die Vorgaben und Kriterien berücksichtigt, welche der Sicherheit und dem Schutz der Anlage sowie sicheren und einfachen Abläufen und Arbeitsprozessen bei Bau, Betrieb und Instandhaltung dienen.

2.3.1 Übersicht des Standortes

2.3.1.1 Lage

Der für das geplante EKKM vorgesehene Standort befindet sich am linken Aareufer rund 12 km westlich von Bern und ca. 1 km unterhalb des seit 1920 bestehenden Wasserkraftwerkes Mühleberg (WKW) am Wohlensee. Das Gelände trägt die Flurbezeichnung *Niederruntigen* und liegt flussaufwärts des bestehenden KKM im Gemeindegebiet Mühleberg, Kanton Bern. Die Grundstücke, die für die neue Kernanlage benötigt werden, sind Eigentum der BKW.

Das Gelände befindet sich teilweise in der Gewerbe- und in der Landwirtschaftszone und grenzt nicht direkt an weitere Bau- resp. Wohnzonen an. Südlich angrenzend befindet sich der bewaldete Bereich "Runtigenrain". Weitere Details zum Standort resp. zur Standortwahl finden sich im Bericht über die Abstimmung mit der Raumplanung [41].

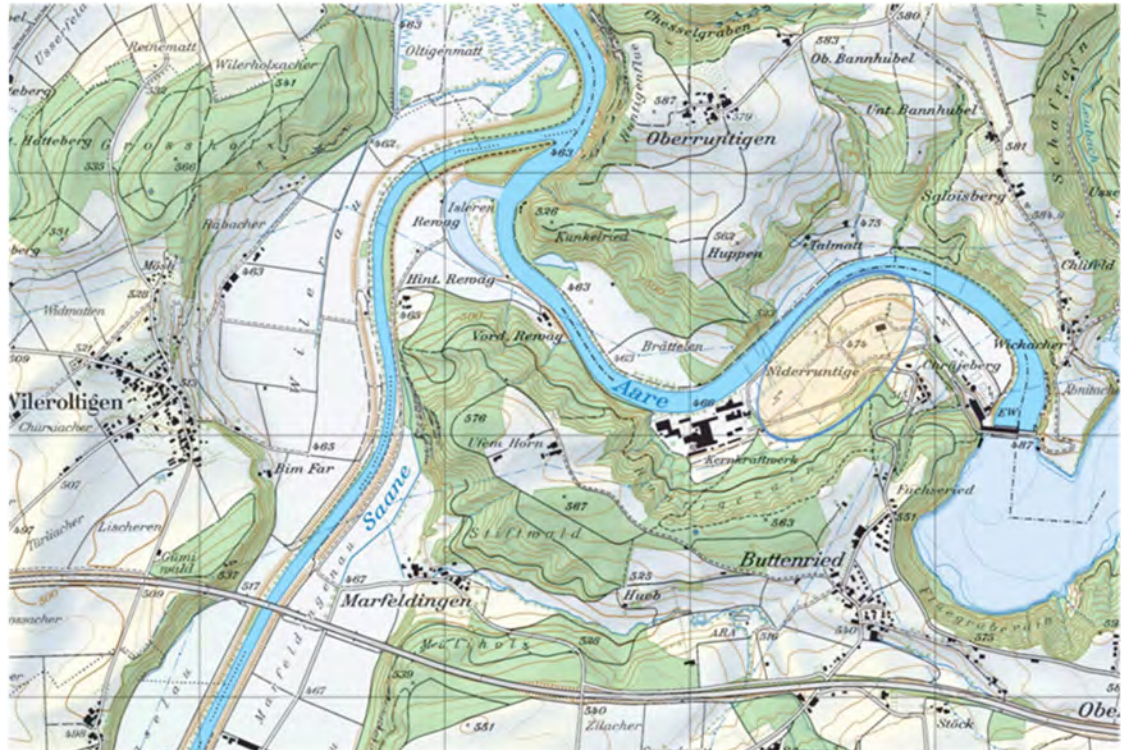
¹ Volumenangaben zu den radioaktiven Abfällen beziehen sich auf das archimedische Abfallvolumen, welches als wichtige Eigenschaft der konditionierten Abfälle einen mit anderen Kernanlagen vergleichbaren Parameter für den Anfall radioaktiven Abfalls darstellt.

² Den Angaben zum Anfall an abgebrannten Brennelementen bzw. hochaktiven Abfällen liegen konservativer Weise Standardkernauslegungen mit tiefen Entladeabbränden sowie eine durch die Brennelementgeometrie gewisser Reaktortypen bedingte, im Vergleich zu heute geringere Volumenausnutzung der Transport- und Lagerbehälter zugrunde.

Die Autobahn A1 Bern-Lausanne verläuft ca. 1 km südlich des Kraftwerkgeländes. Die Kantonsstrasse T1 Bern-Lausanne verläuft ebenfalls südlich des Standortes in einem Abstand von 1.5 km. Die nächstgelegene Bahnlinie (Bern-Neuchâtel) führt rund 4 km südlich am Standort vorbei. Der Standort ist nicht durch die Bahn erschlossen.

Die Abbildung 2.3-1 zeigt Standort und Umgebung im Massstab 1:25'000.

Abbildung 2.3-1: Übersicht über Standortlage und Umgebung



Rund 1 km westlich des Standortes und unterhalb der flussabwärts rechts gelegenen Runtigenau liegen das BLN-Objekt Nr. 1316 "Stausee Niederried" und das Auengebiet von nationaler Bedeutung 53 "Niederried-Oltigenmatt". Der vorgesehene Projektperimeter befindet sich ausserhalb des Gewässerschutzbereichs der Kategorie A_u (nutzbare unterirdische Gewässer und Randgebiete, welche als besonders gefährdete Gewässerschutzbereiche gelten).

Der Standort Niederruntigen erweist sich bezüglich folgender, für ein Kernkraftwerk wichtiger Kriterien als geeignet:

- **Netzeinbindung:** Der Standort Mühleberg ist bereits heute einer der bedeutendsten Knotenpunkte im schweizerischen Hochspannungsnetz. Das Transportnetz rund um Mühleberg wird durch die geplanten Vorhaben des Sachplans Übertragungsleitungen (SÜL [18]) weiter ergänzt. Diese Massnahmen sind für die Netzstabilität im Raum Bern-Mittelland heute schon dringend notwendig. Damit sind die Voraussetzungen gegeben, um auch die elektrische Leistung einer neuen Anlage abführen zu können.
- **Nähe zu den Absatzgebieten:** Durch die zentrale Lage im traditionellen Versorgungsgebiet der BKW und durch die Nähe zu den Ballungsräumen der Westschweiz trägt der Standort Mühleberg zu erhöhter Versorgungssicherheit bei.

- Verfügbarkeit von Kühlmedium: Kühlwasser für den normalen und gestörten Betrieb.
- Dünne Besiedlung: Dank der für schweizerische Verhältnisse dünnen Besiedlung in der Umgebung von Mühleberg werden nur relativ wenig Menschen während der Bau- und Betriebsphase beeinträchtigt.
- Landschaftsbild: Die geplante Anlage ist dank der speziellen Lage des Standortes in der Vertiefung des Aaretals und der Bauten, welche die Hangkante mit Ausnahme des schlanken Abluftkamins nicht überragen, nur von wenigen Orten aus – die sich mehrheitlich in unmittelbarer Nähe befinden – sichtbar. Die optische Beeinträchtigung durch das EKKM ist somit gering, was dem Anliegen des Landschaftsschutzes entgegen kommt.
- Akzeptanz dank bestehender Anlage: Der erfolgreiche und sichere Betrieb des bestehenden KKM durch die BKW hat zu einem Vertrauensverhältnis und zu hoher Akzeptanz für die Kernenergie in der Standortgemeinde und der Umgebung geführt.
- Platzverhältnisse: BKW verfügt am Standort Mühleberg über grosse Landreserven. Im Rahmen der Machbarkeitsstudie wurde festgestellt, dass für sämtliche derzeit in Betracht gezogenen Reaktor-Anlagentypen genügend Raum vorhanden ist. Zudem sind genügend geeignete Flächen verfügbar, welche während der Bauphase als Installations- und Lagerflächen genutzt werden können.
- Verkehrstechnische Erschliessung: Der Standort Mühleberg befindet sich unweit von Bahn, Autobahn und Kantonsstrasse, welche als Schwerlastroute in der grössten Tragfähigkeitskategorie ausgebaut ist, was insbesondere während der Bauzeit eine wichtige Rolle spielt.
- Baugrund: Der feste Felsgrund in geringer Tiefe garantiert die sichere Verankerung von Fundamenten für die sicherheitsrelevanten Bauten der Gesamtanlage.

Abbildung 2.3-2 und Abbildung 2.3-3 zeigen eine Fotomontage des EKKM mit einem EPR als Beispiel für eine dem Stand von Wissenschaft und Technik entsprechende Kernanlage am Standort Niederruntigen.

Abbildung 2.3-2: Fotomontage EKKM (mögliche Anordnung), Aufnahmestandort: Salzweid. Im Hintergrund das bestehende KKM.



Abbildung 2.3-3: Fotomontage EKKM mit dem EPR als Beispiel (mögliche Anordnung), Aufnahmestandort: Talmatt.



2.3.1.2 Topografie

Das Aaretal am Kernkraftwerkstandort verläuft in NO-SW-Richtung. Das Gelände erstreckt sich vom Aareufer bis zum südlich gelegenen Wald zwischen ca. 465 m ü.M. und 490 m ü.M. mit einer Zwischenstufe oder natürlichen Terrasse um den Ort der Zentralen Leitstelle (ZLS) von 470 m bis 480 m ü.M. Weiter südlich steigt das Gelände zum Runtigenrain bis auf eine Höhe von rund 560 m ü.M. steil an.

2.3.2 Anlagekonzeption

Die Anlage hat einen Flächenbedarf von 15 bis 20 ha. Sie wird auf einer gegenüber dem Aareufer erhöhten Terrasse angeordnet, und die überwiegende Zahl der Gebäude und Anlagenteile werden von einer gemeinsamen Umzäunung umfasst. Diese Terrasse kann im Bereich des Kühlturms in einer Stufe abgesenkt und somit dem gewachsenen Gelände angepasst werden. Sie ist gegen Westen hin leicht abwärts geneigt, was die Entwässerung in ein Rückhaltebecken erleichtert. Diese Massnahmen dienen dem Schutz gegen Hochwasser und Überflutung, dem Abfluss grosser Regenmengen und dem Auffangen allfälligen Löschwassers.

Die Ausrichtung der Anlage, nämlich der Hauptachse durch Reaktorgebäude (RG), Maschinenhaus (MH) und Kühlturm (KT) liegt parallel zur Aare von Nordosten (NO) nach Südwesten (SW). Diese Ausrichtung trägt den Forderungen nach Aufstellung der RG-Fundamente im Fels, der Anpassung ins Gelände mit wenig Aushub und Auffüllung sowie nach Lage und Reichweite des grössten Montagekranes Rechnung. Bei weiterer Optimierung des Projektes und nach der Wahl des Reaktorsystems könnte die Ausrichtung RG-MH gedreht und der Kühlturm östlich angeordnet werden.

Im Zuge der Massnahmen im Raum Mühleberg für die Erhöhung der Netzstabilität im Espace Mittelland wird die Schaltanlage West (Unterstation UST West) in die Nähe des Wasserkraftwerkes Mühleberg verlegt und dort in die neue UST Ost, u.a. mit dem Netzknoten 380 kV, integriert. Diese Arbeiten sind unabhängig vom Projekt EKKM und sollten bis 2015 durchgeführt sein. Später wird die Zentrale Netzleitstelle (ZLS) der BKW an einen noch zu bestimmenden Ort (nicht unbedingt in der Nähe der Anlage) verlegt.

Die produzierte elektrische Energie wird von den Maschinentrafos der Anlage auf 380 kV in die UST Ost unterirdisch abgeleitet. Hilfsenergie aus dem Netz wird auf 132 kV-Leitungen ebenfalls unterirdisch von der UST Ost zugeführt. Weitere Details der Netzanbindung sind im Kapitel. 3.7 enthalten.

2.3.3 Die wichtigsten Gebäude und ihre Dimensionen

2.3.3.1 Reaktoranlage

Die Reaktoranlage (Nuclear Island) umfasst das Reaktorgebäude (RG) sowie – je nach Reaktorsystem – Sicherheits-, Diesel-, Notstrom-, Aufbereitungs-, Zwischenlager und Kontrollgebäude. Diese Gebäude beherbergen das Reaktorsystem, Hilfs- und Sicherheitssysteme für den Reaktor, den Sicherheitsbehälter, sicherheitsrelevante Energieversorgungen, die Notkühlsysteme und deren Einrichtungen, eine Werkstatt für Arbeiten mit radioaktivem Material und den Brennelement-Wechselbereich inkl. der zugehörigen Lagereinheiten sowie der Einrichtungen zum Konditionieren der radioaktiven Abfälle. In Abbildung 2.3-4 wird eine

schematische Darstellung wichtiger Gebäude und Systeme eines KKW am Beispiel eines Druckwasserreaktors gezeigt.

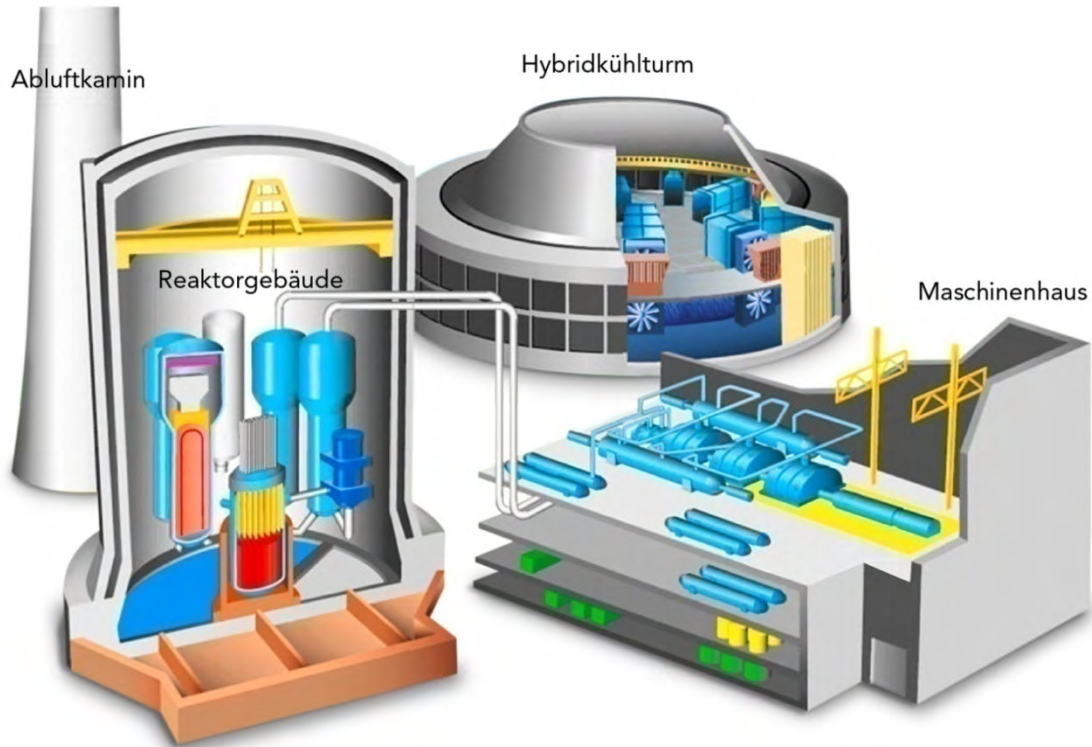
Das *Reaktorgebäude* eines Druckwasserreaktors (DWR) wie beispielsweise des EPR beherbergt den Druckbehälter mit Brennelementen und Steuerstäben sowie deren Antriebe, die Druckhalteeinrichtungen, die Hauptkühlmittelpumpen und die Dampferzeuger, in welchen das im Reaktor aufgeheizte Primärwasser seine Wärme dem Sekundärwasser übergibt, das dadurch verdampft. Dieser Dampf dient dem Antrieb der Dampfturbinen im *Maschinenhaus*. Bei einem Siedewasserreaktor dagegen wird der Dampf im Reaktor erzeugt und direkt den Dampfturbinen zugeführt, d.h. Druckhalteeinrichtungen und Dampferzeuger sind nicht vorhanden.

Beim Betrieb des Kernkraftwerkes entstehen feste und flüssige radioaktive Abfälle. Es sind insbesondere Ionenaustauscherharze, Filter aus Wasserkreisläufen und aus Lüftungsanlagen, welche radioaktive Partikel zurückhalten sowie aus der Abwasserreinigung stammende Schlämme und Verdampferkonzentrate. Weitere Betriebsabfälle wie kontaminierte Teile, Komponenten und Schutzausrüstungen fallen nach Inspektionen, Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten an. Alle diese Abfälle werden im *Aufbereitungsgebäude* resp. im *Gebäude zur Konditionierung radioaktiver Abfälle* getrennt gesammelt, im Volumen minimiert und für die weitere Behandlung vorbereitet, teilweise oder vollständig bis zur Endlagerfähigkeit konditioniert.

Im *Kontrollgebäude* sind sicherheitsrelevante elektrische Steuer- und Messeinrichtungen und der Hauptkommandoraum untergebracht.

Der *Abluftkamin* führt die Abluft aus dem nuklearen und teilweise aus dem konventionellen Teil der Anlage an die Umgebung ab. Nach dem weitgehenden Abklingen in einer Verzögerungsstrecke werden die bei der Kernspaltung anfallenden, kurzlebig radioaktiven Edelgase wie Xenon und Krypton abgeführt. Die Abluft am Kamin wird ständig auf allfällige Radioaktivität überwacht; die Grenzwerte werden eingehalten.

Abbildung 2.3-4: Schematische Darstellung wichtiger Gebäude und Systeme eines KKW mit Druckwasserreaktor (DWR) und Hybridkühlsystem



2.3.3.2 Konventionelle Anlagen: Maschinenhaus, Elektrogebäude, Nebengebäude

Das Maschinenhaus umfasst die Dampfturbinen, den Generator, den Hauptkondensator, die Kondensat- und Speisewassersysteme inklusive deren Pumpen, die Wasserabscheider, Zwischenüberhitzer und die Vorwärmanlage zur Effizienzsteigerung, das Kondensat-Reinigungssystem, das Abgassystem und weitere Hilfs-, Regel- und Kühlsysteme für die Turbogruppe. Ausserhalb oder in einem separaten Gebäude untergebracht sind die Maschinen-Transformatoren, die Haupt- oder Generatorschalter sowie die Anspeisung für den Eigenbedarf der Anlage.

In weiteren Gebäuden sind die Pumpstation für Hauptkühlwasser, die Wasseraufbereitung, Unterhaltswerkstätten, Ersatzteillager, Trainingssimulator, Ein- und Ausgangskontrollen für Personen und Material, Material für die Feuerwehr, Büros, Garderoben, Personalrestaurant und Empfang untergebracht.

Ausserhalb der eigentlichen Anlage (umzäunte Terrasse) liegen die Kühlwasserfassung und -einleitung sowie die entsprechenden Pumpen am Aareufer, ein Wasserreservoir auf dem nahen Hügel, eine neue Zufahrtstrasse, die Parkplätze und das Besucherzentrum sowie ein Helikopter-Landeplatz.

2.3.3.3 Lagerung von radioaktiven Abfällen und Brennelementen

Es ist ein Gebäude vorgesehen für die Zwischenlagerung von schwach- und mittelaktiven Betriebsabfällen (SMA) mit einer Kapazität, die der Gesamtlebensdauer der Anlage entspricht. Dieses Lagergebäude, das auf dem Areal des EKKM errichtet wird, ist auch als Kernanlage im Sinne des Kernenergiegesetzes KEG [1] einzustufen und ist Bestandteil des Gesuches zur Rahmenbewilligung des EKKM. Die Stilllegungsabfälle fallen erst nach Ablauf der Betriebszeit an; demnach wäre zu diesem Zeitpunkt u. U. eine Erweiterung der Kapazität für schwach- und mittelaktive Abfälle (ggf. ein zusätzliches Gebäude) erforderlich (siehe Kap. 2.2.2).

Im Reaktorgebäude resp. im angrenzenden BE-Gebäude der neuen Anlage sind Trockenlager für unbestrahlte Brennelemente (BE) und Becken mit Kapazität für gleichzeitige Zwischenlagerung von bestrahlten BE aus mehreren Betriebszyklen und eine vollständige Kernentladung vorgesehen. Die BE werden – unter Einhaltung der Sicherheitsanforderungen zur Kritikalität – bis zum Abtransport resp. bis zum (erneuten) Einsatz im Reaktorkern in diesen Becken / Lager aufbewahrt. In den Becken ist auch Lagerkapazität für andere radioaktive Reaktoreinbauten (z.B. Regelstäbe, Kerninstrumentierung) vorgesehen.

Des Weiteren wird ein Gebäude für die Lagerung von Hochaktivabfällen (HAA) vorgesehen für alle bestrahlten BE, die über die Gesamtlebensdauer der Anlage anfallen werden sowie für die während der letzten Betriebsjahre des bestehenden KKM anfallenden BE (siehe Kap. 2.2.2). Dieses Lagergebäude, das auf dem Areal des EKKM errichtet wird, ist ebenfalls als Kernanlage im Sinne des Kernenergiegesetzes KEG [1] einzustufen und ist Bestandteil des Gesuchs zur Rahmenbewilligung des EKKM.

2.3.3.4 Kühlturm

Vorgesehen sind ein oder zwei Hybrid-Kühltürme (KT). Im Kapitel 2.4.2 werden diese beiden Varianten dargelegt (siehe Kap. 2.3.4 für die mögliche Anordnung dieser Varianten).

2.3.3.5 Ungefähre Dimensionen der wichtigsten Gebäude

In der nachfolgenden Tabelle 2.3-1 sind die ungefähren Dimensionen der wichtigsten Gebäude angegeben. Die weitere Entwicklung des Anlagenkonzeptes und die Optimierung von Komponenten können zu Präzisierungen führen.

Tabelle 2.3-1: Abmessungen der wichtigsten Gebäude in Meter

Gebäude	Länge oder Durchmesser	Breite	Höhe (ab Gebäude-Null)
RG	50 - 60	40 - 60	35 - 70
MH	80 - 120	40 - 60	40 - 50
1 KT	140 - 180		50 - 60
2 KT	120 - 140		50 - 60
HAA	80 - 200	20 - 80	20 - 30
SMA ¹	70 - 80	55 - 80	20 - 30
Abluftkamin	ca. 10		80 - 130

2.3.4 Anordnung der Bauwerke

Obwohl die genaue Anordnung der oben genannten Anlagekomponente für jeden Anlagentyp unterschiedlich ist, gibt es für LWR-Anlagekonzeptionen viele Ähnlichkeiten. Die Anordnung der Bauwerke des EPR-Anlagentyps, der in diesem Projekt beispielhaft als Grundlage dient, kann somit als repräsentativ betrachtet werden; sie wird in Abbildung 2.3-5 dargestellt resp. in Abbildung 2.3-6 für eine Konzeption mit zwei Kühltürmen.

Wie bereits erwähnt, hält sich die Anordnung der zentralen Gebäude des Reaktor- und Turbinenbereichs weitgehend an die Standard-Anordnung des Lieferanten, für den EPR an den Standard-Layout der AREVA. Für weitere Gebäude wie Büros, Werkstatt, Pumpenhaus und Wasseraufbereitung sind insbesondere kurze Distanzen (Wege, Leitungen) sowie sichere und einfache Prozesse und Abläufe massgebend.

Am Aareufer liegen die Wasserfassungs- und -wiedereinleitungsbauwerke. Die Position der Pumpstationen für das Haupt- resp. Nebenkühlwasser wird optimiert, um die Leitungen von der Aare zum Kühlturm und von dort zum Hauptkondensator kurz zu halten.

Büros, Trainingssimulator und Personalrestaurant sind nahe beim Eingangsbereich mit Schleusen für Personal und Material angeordnet. Werkstätten und Ersatzteillager befinden sich nördlich vom Reaktorgebäude (RG) und Maschinenhaus (MH), mit kurzen Wegen zu diesen Gebäuden.

Zwischenlager für radioaktive Abfälle resp. Brennelemente liegen am Rande der Anlage. Sie könnten nach Stilllegung und Dekontamination der Anlage separat abgezaunt werden.

¹ Ohne Stilllegungsabfälle

Abbildung 2.3-5: Beispielhafter Übersichtsplan einer Anlagekonzeption mit einem EPR und einem Hybridkühlturm. Diese Anordnung entspricht den Abbildungen mit Fotomontage (Abbildung 2.3-2, Abbildung 2.3-3). Vorbehalten bleiben die künftige Projektoptimierung sowie die Auswahl von Reaktorsystem und Lieferanten; Strasse nicht optimiert.

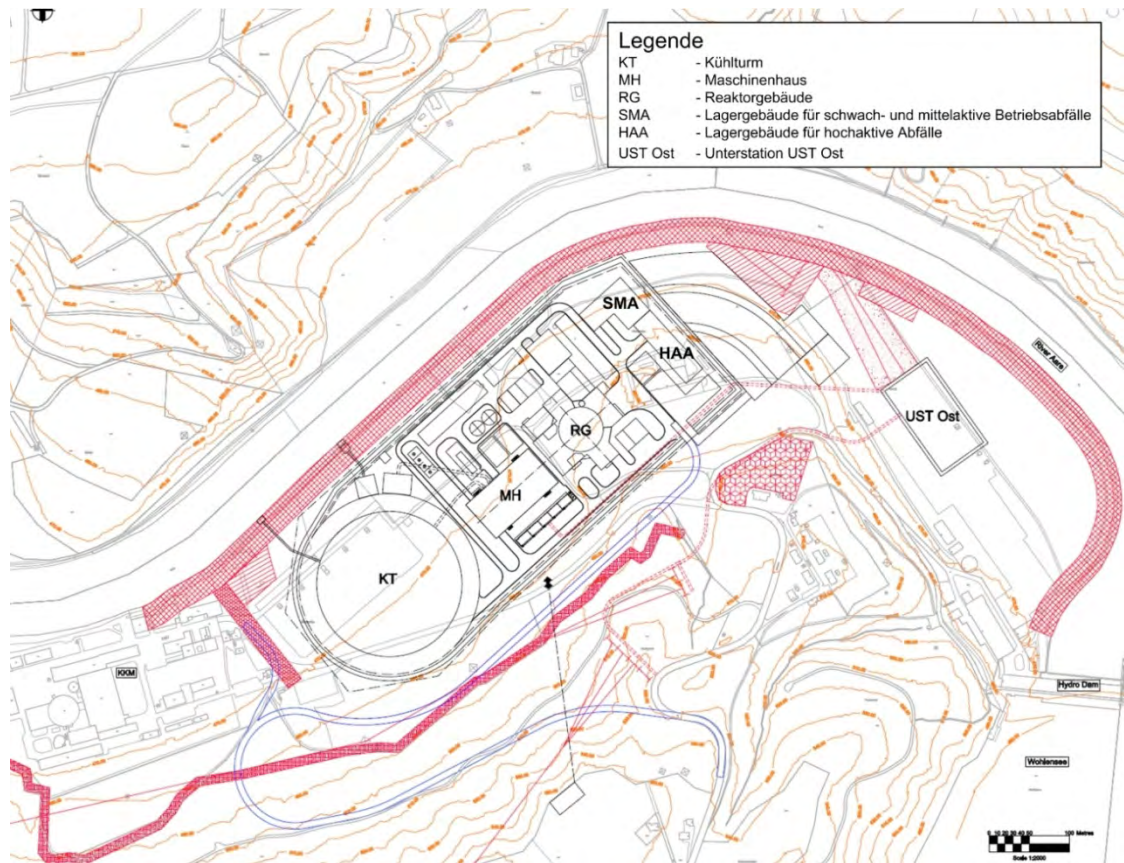
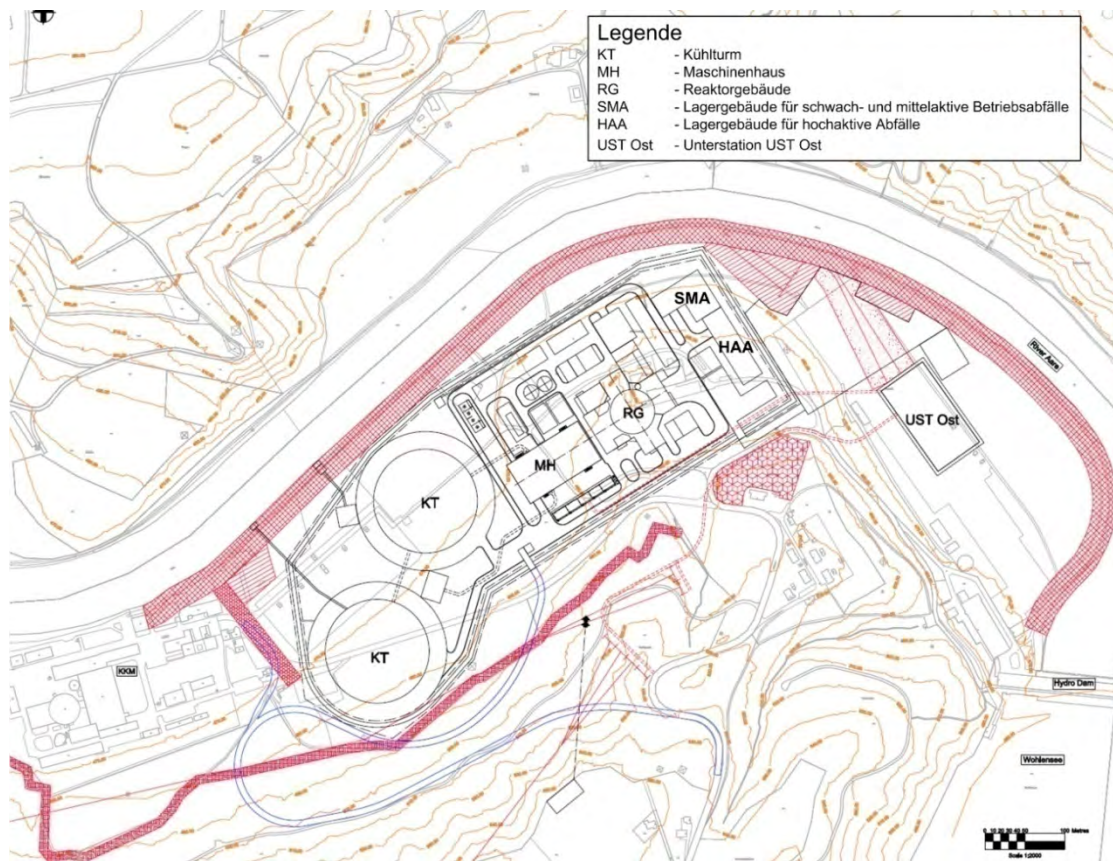


Abbildung 2.3-6: Beispielhafter Übersichtsplan eines EPR mit Hybridkühlung und 2 Kühltürmen (Strasse nicht optimiert). Diese Anordnung entspricht den Abbildungen mit Fotomontage (Abbildung 2.3-2, Abbildung 2.3-3). Vorbehalten bleiben die künftige Projektoptimierung sowie die Auswahl von Reaktorsystem und Lieferanten.



2.3.5 Erschliessung und Baulegistik

In diesem Kapitel werden der grobe Bauablauf gemäss vorläufiger Planung, die benötigten temporären Flächen sowie die Erschliessungsmöglichkeiten zum EKKM vorgestellt. Im Rahmen der Projektentwicklung werden verschiedene Anlagen mit Reaktorsystemen der Generationen III und III+ untersucht, so als Beispiele der EPR von AREVA, der ESBWR und der ABWR von General Electric-Hitachi sowie der AP 1000 von Westinghouse-Toshiba. Auch weitere Leichtwasser-Reaktorsysteme (LWR) werden weiterhin zur Auswahl stehen. In der aktuellen baulegistischen Studie dient der EPR beispielhaft als Referenzanlage. Dieses Vorgehen ist kein Präjudiz für die spätere Wahl des Reaktorsystems und der Anlagelieferanten. Erst nach der Wahl einer Technologie werden sich in der nächsten Planungsphase (Baubewilligung) die angegebenen Werte genauer berechnen lassen.

2.3.5.1 Bauprogramm

Die Dauer des gesamten Bauablaufs – vom Baubeginn bis zum kommerziellen Betrieb – wird auf 7-8 Jahre veranschlagt. Der Bauablauf wird von Jahr -2 bis Jahr +6 dargestellt, siehe Tabelle 2.3-2; der Zeitpunkt Null entspricht den ersten Betonierarbeiten für die Foundationen.

Tabelle 2.3-2: Terminplanung Bauablauf

	Jahr -2	Jahr -1	Jahr +1	Jahr +2	Jahr +3	Jahr +4	Jahr +5	Jahr +6
Baubeginn	•							
1. Beton			•					
Vorbereitungsmassnahmen								
Erdbauarbeiten								
Tiefbau, Hochbau								
Anlagenbau, Montage								
Prüfungen, Inbetriebsetzung, Probelauf, Rekultivierung								
Aufnahme des Betriebes								•

Der gesamte Bauablauf der Hauptbaumassnahmen (Erdbauarbeiten, Tiefbau, Hochbau) inkl. der Montagen des Anlagenbaus und der Inbetriebnahme erstreckt sich über ca. 5 Jahre. Im Jahr -1 erfolgen die grössten Erdbau- und Tiefbaumassnahmen (z.B. Aushub und Terrainnivellierung sowie Absicherung und Abdichtung der Baugrube); danach im Jahr +1 bis zum Jahr +4 der Hochbau (Errichtung der Bauwerke, hauptsächlich Stahlbetonarbeiten) und der Anlagenbau (z.B. Montage der elektromechanischen Systeme und Komponenten). Zuvor wird ca. ein Jahr (Jahr -2) für die Vorbereitungsmassnahmen (z.B. Bau der Infrastruktur und der Installationsplätze) benötigt.

Am EKKM werden zu Spitzenzeiten 2'000-3'000 Personen auf der Baustelle tätig sein.

2.3.5.2 Temporärer Flächenbedarf

Während der Bauphase werden Flächen für temporäre Einrichtungen benötigt. Es wird zwischen temporären Flächen am Baufeld, externem Logistikplatz, Barackendorf (Arbeiterunterkünfte) sowie Flächen für einen optionalen Umschlagplatz (Baubahnhof) unterschieden (siehe nachstehende Tabelle 2.3-3).

Als Baufeld ist das Areal in unmittelbarer Nähe der Baustelle definiert, nämlich an den Standorten Niederruntigen und Talmatt.

Der gesamte temporäre Flächenbedarf während der Bauphase summiert sich auf ca. 40 ha. Rund ein Drittel dieser Fläche wird am Baufeld benötigt, ca. zwei Drittel auf externen Arealen.

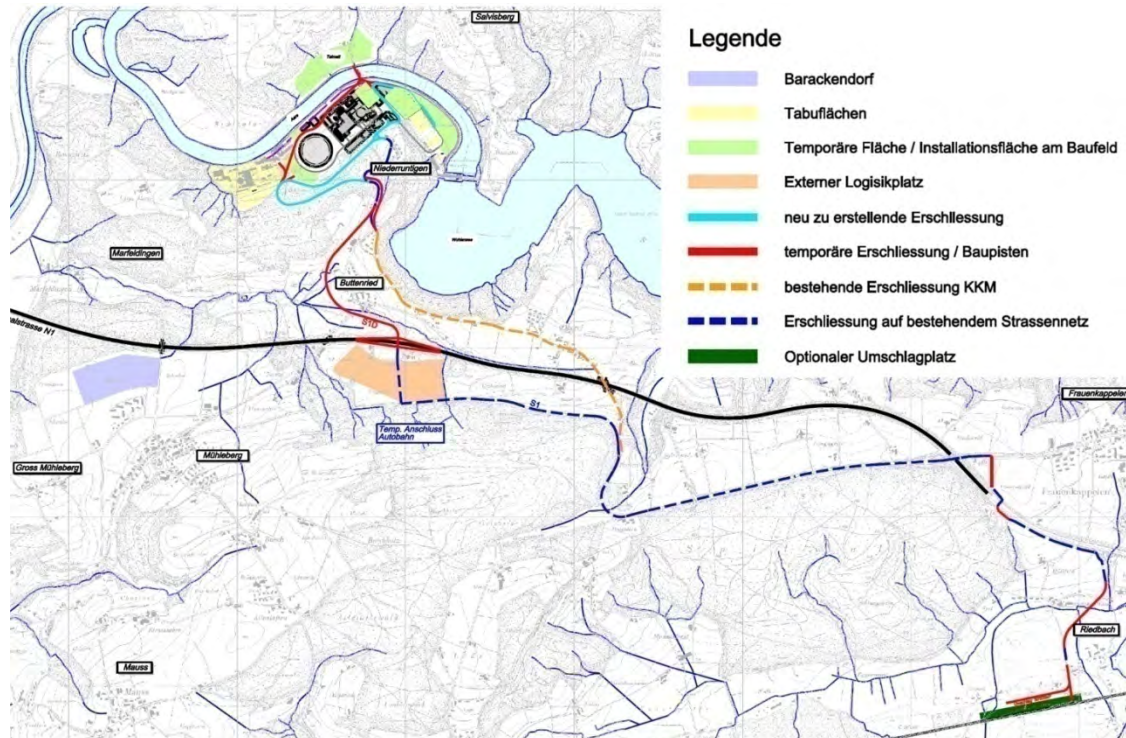
Tabelle 2.3-3: Temporäre Flächen für die Bauphase des EKKM

Ort	Fläche (ha)	Mögliche Nutzungsart
Temporäre Fläche am Baufeld (Niederruntigen und Talmatt)	ca. 13	• Büros und Parkplätze • Montagehallen für Containment und Anlagenbau • Betonwerke • Bodenumschlagplatz • Humus-Deponie (Teilfläche) • Wasseraufbereitungsanlage • Werkstätten und Magazine
Externer Logistikplatz	ca. 13	• Zwischenlagerfläche Stückgut • Werkstätten und Nebeneinrichtungen • Lagerhallen • Aufstellflächen für Lastwagen (Zutrittskontrolle) • Verkehrs- und Logistikfläche • Zwischenlagerflächen für Aushub und Humus
Barackendorf	ca. 10	• Wohnunterkünfte • Umkleideräume • Personalrestaurant • Freizeitraum • Verkehrsflächen
Option Riedbach	ca. 3	• Umschlagplatz und Gleisanlage

Die möglichen Flächen für diese temporären Einrichtungen sind in Abbildung 2.3-7 dargestellt. Diese Flächen werden nicht komplett benötigt, sondern stellen die verschiedenen Möglichkeiten der Anordnung dar. Die endgültige Wahl der Flächen hängt von der Erschliessung, von Anlagentyp und -konzeption, vom Bauablauf und vom Vorgehen bei der Fertigung der Baumodulen und nicht transportierbaren Grosskomponenten ab.

Am Standort Niederruntigen und dessen direkten Umgebung stehen ausreichende temporäre Flächen zur Verfügung um den Bedarf für den Bau des EKKM abzudecken. Diese Flächen gehören zum Teil der BKW FMB Energie AG.

Abbildung 2.3-7: Erschliessung und mögliche Flächen für temporäre Einrichtungen während der Bauphase des EKKM



2.3.5.3 Erschliessung

2.3.5.3.1 Allgemeines

Massgebend für die Erschliessungsplanung sind die in der Bauphase zu transportierenden Güter. Neben dem Personentransport entstehen grosse Materialmengen vor allem bei den Abtransporten des Aushubmaterials. Ebenfalls bedeutend ist die Anlieferung von Materialien für die Betonherstellung (Betonzuschlagstoffe); Aushubmaterial und Betonzuschlagstoffe sind als Schüttgüter definiert. Die Menge der Stückgüter (z.B. Baustahl sowie einzelne Komponenten) ist im Vergleich dazu gering.

Auf alternative Erschliessungslösungen für Schüttgüter während der Bauphase wie Förderbänder oder Seilbahnen wird hier nicht näher eingegangen. Diese werden in der nächsten Planungsphase zur Baubewilligung untersucht.

Eine Strassenerschliessung bis an das Baufeld ist unumgänglich. Neben den notwendigen Zufahrtsmöglichkeiten zur Baustelle mit PKW (Personenwagen) und LKW (Lastwagen) – z.B. für Baupersonal, Rettungsdienst oder Feuerwehr – gibt es Materialien (= Stückgüter), welche in jedem Fall über die Strasse angeliefert werden. Dies sind zum Teil grosse Einzelkomponenten, weshalb die Zufahrtsstrasse zum Gelände auch für Sondertransporte befahrbar sein muss.

Die Kapazität der Transportrouten für Grosskomponenten in der Schweiz wurde hinsichtlich Gewicht- und Dimensionsgrenzen untersucht. Es werden voraussichtlich bauliche Massnahmen für die Zugangsstrassen notwendig. Diese Massnahmen sowie die eventuelle Fertigstellung von

einigen Grosskomponenten auf der Baustelle werden im Rahmen des Baubewilligungsgesuchs definiert. Der Transport von Grosskomponenten bis zum Standort ist grundsätzlich machbar.

In der Betriebsphase fallen nur geringe Transportmengen an. Diese erfolgen ebenfalls über die Strasse.

2.3.5.3.2 Zielsetzung für die Verkehrserschliessung

Um eine umweltverträgliche und effiziente Erschliessungsvariante zu finden, wurden der Planung folgende Grundsätze zugrunde gelegt:

- *Synergien Bau- und Betriebsphase:* Um den Bauaufwand und die Eingriffe in die Landschaft so gering wie möglich zu halten, wird die Erschliessung in der Bauphase derart gestaltet, dass sie in der Betriebsphase weiterhin genutzt werden kann.
- *Erschliessung über die Strasse:* Da einige Bauteile für das Kernkraftwerk aufgrund ihrer Sonderabmessungen über den Schienenweg nicht transportiert werden können, ist eine gut ausgebaute Erschliessung des Geländes via Strasse unumgänglich. Auch der Personentransport und die Lieferung anderer Baustoffe erfolgt via Strasse. Für die Erschliessung in der Betriebsphase ist ebenfalls ein Strassenanschluss nötig.
- *Richtung der Erschliessung:* Bei der Wahl der Erschliessungsrichtung spielen die Lage des Kraftwerks, die Lage der temporären Flächen sowie die Erschliessungsart (nur Strasse oder Schiene und Strasse) eine Rolle. Eine Erschliessung aus nördlicher oder östlicher Richtung ist topografisch schlecht realisierbar. Die Erschliessung des Standortes kann deshalb am besten aus westlicher oder südlicher Richtung erfolgen.

Die auf diesen Grundsätzen basierenden denkbaren Erschliessungsmöglichkeiten wurden anhand der folgenden Beurteilungskriterien bewertet:

- Beeinträchtigung von Siedlungen
- Beeinträchtigung der Umwelt
- Baulogistische Kriterien (z.B. Befahrbarkeit der Strassen, Abtrennung Baustrasse - öffentliche Strasse)
- Synergien Bau und Betrieb
- Kosten / Effizienz.

2.3.5.3.3 Beschreibung der bevorzugten Erschliessungsvariante

Anhand der oben genannten Beurteilungskriterien wird eine reine Strassenerschliessung aus südlicher Richtung bevorzugt. Dafür ist die Einrichtung eines temporären Autobahnanschlusses für die Zeit der Bauphase vorgesehen. Der vorhandene Halbanschluss Mühleberg beschränkt sich auf eine Ausfahrt in Richtung Neuchâtel und eine Einfahrt in Richtung Bern. Erst ein Vollanschluss ermöglicht die Erschliessung aus beiden Richtungen.

Die Strecke vom Autobahnanschluss bis zum Baufeld wird zum grossen Teil neu erstellt (siehe Abbildung 2.3-7). Zur Erschliessung der temporären Fläche Talmatt auf der anderen Aare-Seite ist eine temporäre Brücke über die Aare vorgesehen.

Da sich die für die Bauphase benötigten Flächen alle in der nahen Umgebung des Standorts beziehungsweise südlich der Autobahn befinden, sind bei dieser Strassenerschliessung alle Flächen gut erreichbar und miteinander verbunden.

Als weitere Option für den Transport von grossen Materialmengen (ohne Grosskomponenten) per Bahn wird eine kombinierte Schiene / Strasse-Erschliessung mit Umschlagplatz und Baubahnhof in Riedbach untersucht. Hierbei können Güter im bestehenden Bahnnetz von und bis Riedbach transportiert werden, der Anschluss zum Gelände erfolgt dann nach Umschlag auf LKW über die Strasse. Für diese Variante muss die Verbindung vom Umschlagplatz an das bestehende übergeordnete Strassennetz hergestellt werden. Dafür können allerdings Teile bereits bestehender Strassenverbindungen genutzt werden.

2.3.5.3.4 Betriebsphase EKKM

Während der Betriebsphase der Kernanlage entstehen im Vergleich zur Bauphase geringe Transportvolumen. Die Erschliessung in der Betriebsphase erfolgt über die bestehende Erschliessungsstrasse zum KKM sowie über die für die Bauphase vorgesehene neue Zugangsstrasse am Standort, welche erhalten bleibt.

Der mögliche temporäre Autobahnanschluss kann wieder aufgehoben werden.

2.3.5.4 Zusammenfassung und Bewertung

Die Vorzugsvariante der Erschliessung ist eine reine Strassenerschliessung, welche ggf. durch eine Schiene / Strasse-Option mit temporärem Umschlagplatz ergänzt werden kann.

Durch den Bau einer neuen Erschliessungsstrasse wird ein vom öffentlichen Strassenverkehr unabhängiger Zugang zur Baustelle gewährleistet. Die bestehende öffentliche Strasse kann jedoch in Ausnahmefällen weiterhin benutzt werden.

In der nächsten Planungsphase (Baubewilligung) werden weitere alternative Erschliessungsoptionen untersucht, um Schüttgüter zu einem am bestehenden Bahnnetz temporär anzuordnenden Umschlagplatz zu transportieren, wie z.B. Förderbänder oder Seilbahn.

Mit der gewählten Variante kann der Standort Niederruntigen ohne Beeinträchtigung des Verkehrs auf der bestehenden Erschliessungsstrasse des KKM erschlossen werden.

2.3.6 Bestehendes KKW Mühleberg (KKM)

Die Bauphase des EKKM wird so gestaltet, dass es zu keiner Beeinträchtigung für das KKM kommt, weder während des Normalbetriebes noch während der (jährlichen) Revisionsabstellung.

Für die Revisionszeit des KKM ist eine Fläche neben dem KKM-Areal für Parkplätze vorgesehen, welche jedoch die für den Bau des EKKM benötigten temporären Flächen am Baufeld nicht tangiert. Für die Stilllegung des KKM werden keine temporären Flächen ausserhalb des KKM-Areals benötigt. Der Betrieb resp. die späteren Arbeiten zur Stilllegung des KKM sind somit während der Bau- und Betriebsphase des EKKM nicht behindert. Eventuell auftretender Mehrverkehr kann mittels geeigneter Koordination auf den vorhandenen Wegen beherrscht werden.

Mit der neuen Erschliessungsstrasse bleibt der Zugang zum KKM, zu Wohnsiedlungen und zum Wasserkraftwerk während der Bauphase des EKKM auch im Ausnahmefall gewährleistet. Dies gilt auch für radioaktive und konventionelle Transporte während der Betriebs- oder Stilllegungsphase des KKM, welche voraussichtlich parallel zum Betrieb des EKKM stattfinden wird¹. Möglicherweise könnte ein Teil der Stilllegungsarbeiten bereits während der Errichtung stattfinden. Die gewählte Erschliessungsvariante für das EKKM führt in keinem Fall zu einer Behinderung der Erschliessung des KKM.

2.4 Kühlung

2.4.1 Einleitung

Im Normalbetrieb eines Kernkraftwerkes ist die Kühlung im Allgemeinen gewährleistet durch:

- die Hauptkühlung zur Abfuhr der Abwärme des Kondensators (Kühlkreislauf zwischen Reaktor resp. Dampferzeuger und Dampfkondensator) sowie allenfalls zur Kühlung verschiedener Systeme im konventionellen (nicht-nuklearen) Teil der Anlage
- die Hilfskühlung zur Kühlung von Systemen im Maschinenhaus (z.B. Speisewasserpumpen), im Reaktorgebäude (z.B. Systeme zur Abfuhr der Nachzerfallswärme) und in Reaktornebengebäuden (z.B. Brennstofflagerbecken). Zur Gewährleistung des Barrierenprinzips zum Schutz vor Freisetzungen radioaktiver Stoffe, besteht die Hilfskühlung pro Strang aus zwei nacheinander geschalteten Kühlkreisläufen: Einem radiologisch überwachten Zwischenkühlkreislauf als Barriere sowie einem Nebenkühlwasserkreislauf, welcher die Wärmelast in die externe Wärmesenke überträgt. Die Abwärme der Kühlung von nicht-nuklearen Komponenten wird je nach Anlagekonzeption auch durch die Nebenkühlung abgeführt.

Während die Hauptkühlung grundsätzlich nicht-sicherheitsrelevant ist, sind die Systeme und Komponenten der Zwischenkühlung und – je nach Anlagetechnologie – der Nebenkühlung sicherheitsrelevant und werden entsprechend klassiert resp. ausgelegt.

Im Folgenden wird die für das EKKM repräsentative Kühlbetriebsweise dargelegt. Die einzelnen Kühlkreisläufe werden in den verschiedenen Reaktortechnologien auf unterschiedliche Art und Weise gestaltet; die Wahl der Reaktortechnologie für das EKKM wird erst später getroffen und die in den folgenden Abschnitten dargelegten Ausführungen und Angaben entsprechen daher nicht in jedem Detail der zukünftigen Auslegung des EKKM resp. sind als beispielhaft für die Auslegung zu betrachten.

Die Kühlbetriebsweise muss die Anforderungen der Gewässerschutzgesetzgebung des Bundes, insbesondere der Gewässerschutzverordnung GSchV [32] zur Entnahme von Kühlwasser und der Temperaturzunahme durch Wiedereinleitung erfüllen (*Zitat*):

¹ Die BKW ist bestrebt, das bestehende KKM nach Inbetriebnahme des EKKM 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 BKW und die am EKKM beteiligten Partner in der ersten Phase nach Inbetriebnahme des EKKM weiterhin gewährleisten zu können.

- Für Einleitungen in Fließgewässer und Flussschleife gilt u.a.
 - die Temperatur des wieder eingeleiteten Kühlwassers darf höchstens 30 °C betragen; die Behörde kann kurzfristige, geringfügige Überschreitungen im Sommer zulassen
 - die Aufwärmung des Gewässers darf gegenüber dem möglichst unbeeinflussten Zustand höchstens 3 °C, in Gewässerabschnitten der Forellenregion höchstens 1.5 °C, betragen. Die Einleitung darf nicht dazu führen, dass die Wassertemperatur 25 °C überschreitet
 - das Einlaufbauwerk¹ muss eine rasche Durchmischung gewährleisten
 - das Gewässer darf nur so schnell aufgewärmt werden, dass keine nachteiligen Auswirkungen für Lebensgemeinschaften von Pflanzen, Tieren und Mikroorganismen entstehen.

Ebenfalls müssen die gesetzlichen Forderungen zur chemischen Zusammensetzung des austretenden Wassers eingehalten werden, siehe EKKM RBG-Bericht über die Umweltverträglichkeit [33].

Des Weiteren wird für die Anlagekonzeption vorausgesetzt, dass aus ästhetischen resp. visuellen Gründen die Bauten möglichst niedrig gehalten werden; dabei sollte der Kühlturm nicht wesentlich höher als die anderen Gebäude sein. Die Menge sichtbaren Dampfes eines Kühlturms sollte auf ein Minimum reduziert werden.

2.4.2 Hauptkühlung

2.4.2.1 Der Hybridkühlturm

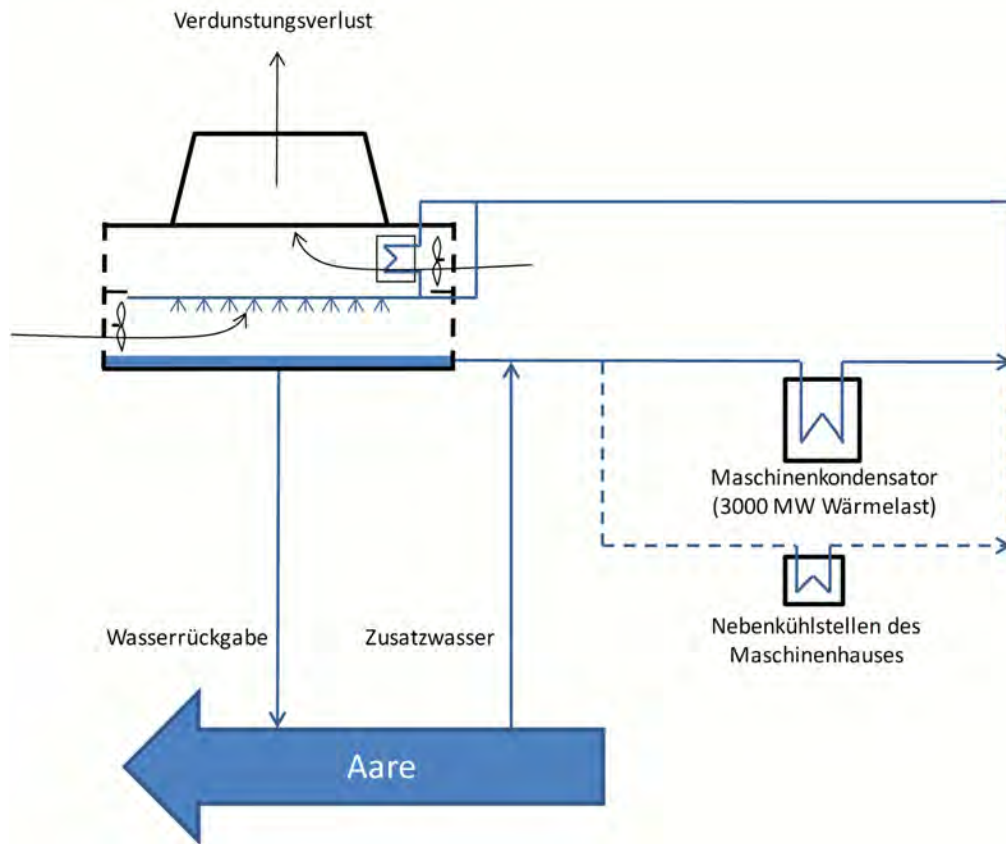
Für die Hauptkühlung des EKKM ist ein Kühlkreislauf mit einem ca. 60 m hohen Kühlturm vorgesehen, der mit erzwungenem Luftstrom sowie nach dem Prinzip der kombinierten Nass-Trockenkühlung arbeitet. Dies ist der so genannte Hybridkühlturm (HKT).

Bei dieser Kühlbetriebsweise ist die Umgebungsluft die Hauptwärmesenke; das bei der Kühlung des Kondensators aufgewärmte Wasser (Warmwasser) wird durch Wärmeübertragung an die Kühlluft und durch Verdunstung einer Wasserteilmenge im Kühlturm abgekühlt. Der Hauptteil des Wassers wird im Kühlturmbecken gesammelt und wieder dem Kondensator zugeführt; die durch die Verdunstung 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 abgeführt (abgeschlämmt), indem zusätzlich Wasser aus der Aare zugeführt wird. Das so genannte Zusatzwasser ist somit die Summe der Wasserzufuhr zur Kompensation der Verdunstungsverluste und des an die Aare zurückgegebenen Wassers. Die Menge des Zusatzwassers beträgt ungefähr 2 bis 3 Prozent des totalen Wasserdurchsatzes des Hauptkühlkreislaufes.

Die Abbildung 2.4-1 skizziert einen möglichen Hauptkühlkreislauf.

¹ Gemeint ist die Rückgabe von Wasser an die Aare

Abbildung 2.4-1: Prinzip eines Hauptkühlkreislaufes



Ein HKT 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 einem Teil des Warmwassers 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 über der Feuchtigkeits-Sättigungsgrenze (Taupunkt) liegt, sodass die Menge des sichtbaren Dampfes vernachlässigbar ist. Bei gewissen Wetterlagen (kaltes und feuchtes Wetter) ist es nicht auszuschliessen, dass Dampf erkennbar wird. Solche Wetterlagen gehen meistens zusammen mit Nebelbildung, sodass der sichtbare Dampf effektiv unbemerkt bleiben wird.

2.4.2.2 Mögliche Varianten beim Einsatz eines HKT

Die für das EKKM durchgeführten Machbarkeitsstudien basieren auf einer Anlage mit ca. 1'600 MW elektrischer Nettoleistung; die abzuführende Abwärme beträgt somit ca. 3'000 MW. Sie zeigen, dass die oben genannten gesetzlichen Forderungen und ästhetischen Voraussetzungen mit dem Einsatz von Hybridkühltürmen eingehalten werden können.

Im Hinblick auf die Leistungsklasse der zukünftigen Anlage (siehe Kap. 2.2.1) wurden zwei Varianten untersucht, nämlich eine mit einem einzelnen, grossen Kühlturm und eine mit zwei kleineren Kühltürmen. Die zwei Varianten unterscheiden sich durch die mittlere Wassertemperatur im Hauptkühlkreislauf und bestimmen deshalb zum Teil den Wirkungsgrad der Anlage. Dabei spielt der so genannte Kühlgrenzabstand, d.h. der Temperaturunterschied des gekühlten Wassers im Auffangbecken des Kühlturms zur Aussen-Feuchtluft eine wichtige Rolle: je kleiner dieser Unterschied ist, desto grösser ist der Wirkungsgrad. Bei den bisher untersuchten, aus heutiger Sicht realisierbaren Kühlturmauslegungen werden Kühlgrenzabstände zwischen 18 °C für einen Kühlturm und 14 °C für zwei Kühltürme erreicht. Diese Werte sind approximativ und können nach der Wahl der Anlagentechnologie weiter optimiert werden.

Gemäss dem Stand der heutigen Untersuchungen hat ein HKT einen unteren Durchmesser von ca. 160-180 m und eine Höhe von max. 60 m. Bei der Variante mit zwei Kühltürmen reduziert sich der untere Durchmesser auf ca. 130 m pro Kühlturm bei gleichbleibender Höhe (Bem. die beiden Kühltürme müssten mindestens einen Halbmesser von einander entfernt angeordnet werden, siehe Abbildung 2.3-6 wo der Grundriss der Kühltürme durch den inneren Kreis dargestellt wird.)

Für Anlagen mit einer kleineren elektrischen Nettoleistung (1'100-1'400 MW) genügt ein einzelner Kühlturm mit einem unteren Durchmesser von ca. 140-160 m. Für die Abschätzung des verfügbaren Bauraums und der visuellen / ästhetischen Auswirkungen wurde von den grössten Dimensionen ausgegangen. Die nach oben gerundeten Werte zum Wasserverbrauch der Hauptkühlung einer Anlage mit ca. 1'600 MW elektrischer Nettoleistung sind wie folgt:

- Wasserentnahme aus der Aare: 0.8- 1.7 m³/s, inbegriffen die Wasserentnahme in den Hauptkühlkreislauf zur Kompensation des Verlustes durch Verdampfung und das zurückgegebene Wasser
- Wiedereinleitung in die Aare: 0.2 bis 0.5 m³/s
- verdampfte Wassermenge: 0.6 bis 1.2 m³/s.

Die Streuung dieser Werte ist eine Folge der unterschiedlichen Anlagekonzeptionen und Auslegungsparameter des Kühlturms sowie der saisonalen Unterschiede der Wetterbedingungen. Die per Saldo der Aare entnommene Wassermenge entspricht dem Zusatzwasser zur Kompensation der Verdampfungsverluste.

Um die Limite für die Temperatur des wieder eingeleiteten Kühlwassers unter 30 °C einzuhalten (siehe Kap. 2.4.1) wird u. U. im Sommer z.B. eine zusätzliche Menge Aarewasser von max. 0.6 m³/s dem zurückgegebenen Wasser beigemischt.

Der Hauptkühlkreislauf mit HKT kann den in Kapitel 2.4.1 genannten Forderungen zur Begrenzung der Aufwärmung des Aarewassers in allen betrieblichen Zuständen erfüllen. Von der Wassereinleitstelle flussabwärts wird die Temperaturerhöhung mit einem Durchschnittswert von ca. 0.02 °C weit unter dem geltenden Grenzwert von 3 °C liegen.

Für die Aufbereitung resp. Konditionierung des Zusatz- und Rezirkulationswassers im Hauptkühlkreislauf werden dem Wasser Chemikalien zugefügt. Die Auslegung der Kühlsysteme wird so gestaltet, dass die entsprechenden gesetzlichen Limiten eingehalten werden können – siehe EKKM RBG-Bericht über die Umweltverträglichkeit [33] für eine detaillierte Erörterung.

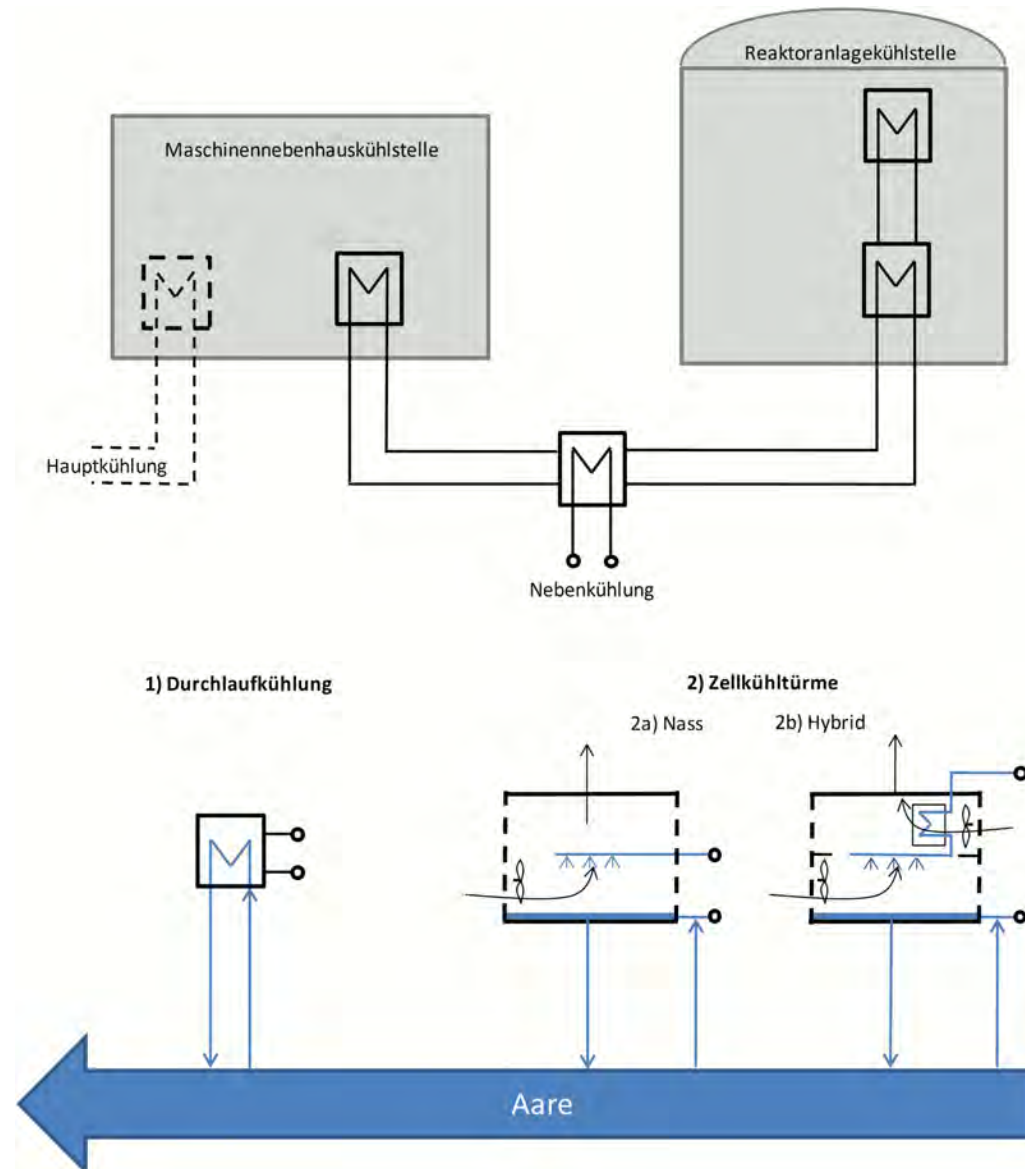
2.4.3 Hilfskühlung

Die Hilfskühlung übernimmt die Kühlung von Systemen und Komponenten im Leistungsbetrieb sowie die Abfuhr der Nachwärme bei abgeschaltetem Reaktor. Zur Aufrechterhaltung des Barrierenprinzips für den Einschluss radioaktiver Stoffe wird die Hilfskühlung mit zwei nacheinander geschalteten Kühlkreisläufen je Strang aufgebaut: Einem radiologisch überwachten Zwischenkühlkreislauf, welcher Systeme und Komponenten kühlt und einem Nebenkühlkreislauf, welcher die Wärmelast an eine Wärmesenke abgibt. Die sicherheitsrelevanten Zwischen- und Nebenkühlkreisläufe sollen mehrsträngig ausgeführt werden, um ein hohes Sicherheitsniveau und eine hohe Verfügbarkeit zu garantieren.

Abbildung 2.4-2 zeigt die mögliche Anordnung der Hilfskühlung. Für die Nebenkühlung während des Leistungsbetriebes und bei abgeschaltetem Reaktor werden zwei Varianten in Betracht gezogen:

- Durchlaufkühlung mit Flusswasser
- Zellkühltürme.

Abbildung 2.4-2: Schematische Darstellung der Hilfskühlung mit möglichen Varianten für die Nebenkühlung



Die Abwärme der Maschinenhausnebenkühlstellen könnte zum Teil auch mittels der Hauptkühlung abgeführt werden. Bei den untersuchten Anlagentypen beträgt die installierte Kapazität der Nebenkühlsysteme 100 MW bis 180 MW. Die Wärmelasten durch die nukleare Zwischenkühlung beim Leistungsbetrieb betragen 20 MW bis 40 MW.

Sollte die Abwärme direkt in die Aare abgegeben werden (erste Variante), würde die Wasserentnahme im Leistungsbetrieb um max. 2 m³/s zunehmen, bei einer Abschaltung (z.B. zum Brennstoffwechsel) wird die Hauptkühlung unterbrochen und der Wasserverbrauch der Nebenkühlung kann, abhängig von der Abfahrgradierte, bis max. 4 m³/s ansteigen. Die Temperaturzunahme bei dieser Art der Kühlung wird mit max. 0.6 °C (im Durchschnitt 0.2-0.3 °C) ebenfalls weit unterhalb der Limite von 3 °C bleiben.

Die zweite Variante beinhaltet Zellkühltürme (nass oder hybrid) mit forcierter Luftumwälzung. Die Wasservorlage in diesen Zellen wird mit Aarewasser gespiesen. Der Wasserbedarf ist jedoch sehr viel geringer als derjenige der Hauptkühlung. Für diesen Fall behalten die in Kapitel 2.4.2.2 angegebenen Wasserverbrauchsmengen auch für die Gesamtkühlung der Anlage ihre Gültigkeit; ebenfalls ist der geringe Wert der Wassertemperaturerhöhung flussabwärts der Wassereinleitstelle weiterhin gültig.

2.4.4 Notkühlung

Zur Anlagekonzeption fortschrittlicher Reaktortechnologien gehören Notkühlsysteme zur Beherrschung von Auslegungsstörfällen resp. zur Verminderung der Auswirkungen von auslegungsüberschreitenden Störfällen. Bei der Auslegung dieser Sicherheitsfunktionen für das EKKM sind die entsprechenden gesetzlichen Forderungen gemäss Kernenergieverordnung KEV¹ z.B. zur Redundanz und Diversität sowie die behördlichen Auslegungskriterien² zu berücksichtigen.

Insbesondere wird zur Gewährleistung von Redundanz bei der Auslegung das so genannte N-2-Prinzip berücksichtigt, d.h. zusätzlich zum Einzelfehler (Ausfall eines Notkühlsystems) wird auch angenommen, dass ein weiteres Notkühlsystem wegen Instandhaltung nicht zur Verfügung steht.

Alle untersuchten Technologien sind generell in der Lage, diese Anforderungen zu erfüllen, wobei die Auslegungskonzepte dies auf unterschiedliche Art und Weise gestalten. Die im vorangehenden Kapitel erörterten Nebenkühlungsvarianten (Durchlaufkühlung resp. Zellkühltürme) können die bei einigen Anlagenkonzepten bereitzustellenden, ultimativen Wärmesenken darstellen. Für diesen Zweck sind sie entsprechend den gesetzlichen und behördlichen Anforderungen auszulegen. Die detaillierten Nachweise, dass das später gewählte Auslegungskonzept diese Forderungen und Kriterien einhält, werden erstmals im Rahmen der Untersuchungen zur Baubewilligung erbracht.

Innerhalb der Auslegung gewähren die untersuchten Technologien bei Kühlmittelverluststörfällen einen automatischen und uneingeschränkten Betrieb von bis zu 72 Stunden. Damit steht genügend Zeit zur Verfügung, um aktiv eine alternative Wasserversorgung in die Wege zu leiten, falls die für die Notkühlung in der Auslegung vorgesehene Wasserversorgung ausfällt. Eine erste Alternative ist die Wasserentnahme aus der Aare durch die Feuerwehr. Eine weitere Alternative ist ein Wasserreservoir mit einem Fassungsvermögen von einigen Tausend m³, das unweit von der neuen Anlage auf einer Höhe von ca. 50 m über dem Anlage-Nullniveau errichtet wird. Es könnte auch im Normalbetrieb zum Einsatz kommen, z.B. für die Löschwasserversorgung bei Brand oder zur Trinkwasserversorgung. Die Benutzung des Grundwassers am Standort bildet eine weitere Alternative; gemäss heutiger Schätzungen (basierend auf Messwerten aus den Bohrlochmessungen in 2008, siehe Kap. 3.5.1.4.1) würden mindestens ca. 500 l/min zur Verfügung stehen, was – je nach gewählter Reaktortechnologie – für ungefähr 20-100% der Nachwärmeabfuhr ab 72 Stunden nach Störfallbeginn ausreichend ist.

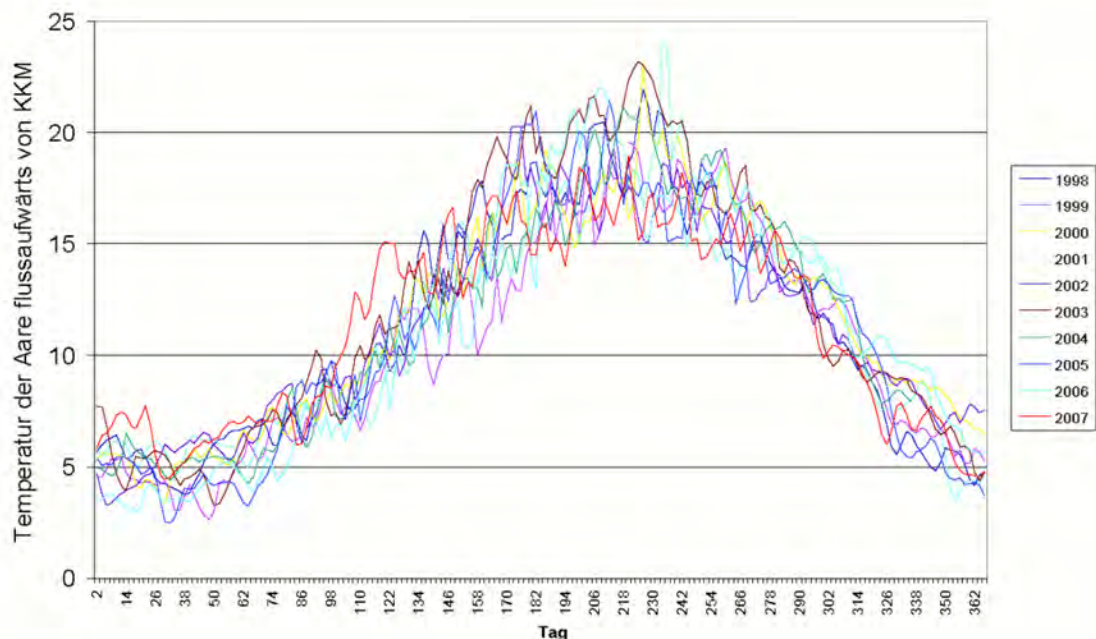
¹ Art. 10 KEV [2]

² HSK Richtlinie R-101 [34]

2.4.5 Extreme Wetterbedingungen, Klimaerwärmung

Die gegenwärtige mittlere jährliche Wassertemperatur der Aare flussaufwärts des KKM beträgt ca. 11-12 °C. Während der Periode 1998-2007 wurde eine Temperatur zwischen 24 und 25 °C nur an zwei Tagen im 2001 gemessen (siehe Abbildung 2.4-3), somit kann die Wahrscheinlichkeit eines Extremfalls als sehr tief eingestuft werden. Die Häufigkeit solcher Extremfälle könnte in der Zukunft aufgrund des Phänomens der Klimaerwärmung leicht zunehmen; diese mögliche Zunahme ist aus heutiger Sicht jedoch schwierig abzuschätzen.

Abbildung 2.4-3: Tagesmittelwerte der Aaretemperatur flussaufwärts von KKM im Zeitraum 1998-2007



Für das Anlageverhalten bis zum Ende des kommerziellen Betriebes wird (siehe Kap. 3.3.11) mit einer mittleren Zunahme der Umgebungsbedingungen (Luft und Wasser) von ca. 3 °C gerechnet. Auch bei einer um ca. 3 °C erhöhten Luft- und Wassertemperatur bleiben die in diesem Kapitel genannten Ergebnisse zur Kühlung und damit zur Auslegung der Anlagekühlkreise im Wesentlichen unverändert; der Wirkungsgrad der neuen Anlage würde sich bei einer höheren Feuchtlufttemperatur allerdings geringfügig ändern.

Bei hohen Aaretemperaturen¹ ist für das bestehende KKM eine Leistungsreduktion eine wirksame Abhilfe, weil die Hauptkühlung des KKM direkt durch das Flusswasser versorgt wird. Im für das EKKM vorgesehenen Kühlkreislauf fungiert jedoch die Atmosphäre als Hauptwärmesenke, somit wäre eine Leistungsreduktion resp. sogar eine Abschaltung nicht zweckmässig (die Erhöhung der Wassertemperatur beträgt im Durchschnitt ca. 0.02 °C resp. 0.2-0.3 °C mit Nebenkühlung durch Zellkühltürme resp. durch Durchlaufkühlung mit Aarewasser (siehe Kap. 2.4.3).

¹ Eine ähnliche Situation ergab sich für mehrere Kernkraftwerke in Europa während des ausserordentlich warmen Sommers in 2003.

2.4.6 Zusammenfassung

Für die Hauptkühlung des EKKM ist ein Kühlkreislauf mit einem Hybridkühlturm (Nass-Trockenkühlung mit erzwungenem Luftstrom) beabsichtigt. Für die Nebenkühlung ist entweder eine direkte Flusskühlung oder eine Kühlung mit kleinen Zellkühltürmen vorgesehen.

Insgesamt können die gesetzlichen Forderungen bzgl. der Benutzung von Flusswässern in allen meteorologischen Situationen erfüllt werden.

Für den Fall, dass die Gesamtkühlung (Haupt- und Nebenkühlung) nur mit Kühltürmen versorgt wird, beträgt die Wasserentnahme aus der Aare für eine Anlage mit einer elektrischen Leistung in der Grösse von 1600 MW bis zu $2.3 \text{ m}^3/\text{s}$ (der Mittelwert ist ungefähr $1 \text{ m}^3/\text{s}$). Die Menge verdunsteten Wassers liegt zwischen 0.6 und $1.2 \text{ m}^3/\text{s}$.

Für den Fall, dass die Hauptkühlung mit einem HKT und die Nebenkühlung mit Durchlaufkühlung versorgt werden, beträgt diese Wasserentnahme bis zu $4.3 \text{ m}^3/\text{s}$ (Mittelwert ca. $3 \text{ m}^3/\text{s}$).

Für eine tiefere resp. höhere Anlageleistung müssen diese Werte nach unten resp. nach oben angepasst werden.

Die möglichen Effekte von extremen Wetterbedingungen und Klimaerwärmung werden die Kenngrössen der Kühlung nicht wesentlich beeinflussen; die Sicherheit ist auch in diesen Extremfällen nicht tangiert.

2.4.7 Parallelbetrieb KKM – EKKM¹

In diesem Abschnitt werden mögliche Auswirkungen auf die Kühlung untersucht für den Fall, dass die bestehende Anlage (KKM) und die neue Anlage (EKKM) gleichzeitig in Betrieb sind.

Der Standort Niederruntigen befindet sich flussaufwärts vom KKM: die Wassereinleitstelle des EKKM wird somit auch flussaufwärts von der Wasserfassung des KKM angelegt. Diese Stelle wird so gewählt, dass eine Durchmischung des EKKM-Abfuhrwassers mit der Aare vor der KKM-Wasserfassungsstelle ermöglicht wird; somit können grosse Temperaturgradienten im Wasser vor den KKM-Ansaugpumpen vermieden werden.

Wie im Kapitel 2.4.3 ausgeführt, ist die Wasserzufuhr für das EKKM maximal $4.3 \text{ m}^3/\text{s}$; weil jedoch die Menge verdunsteten Wassers maximal $1.2 \text{ m}^3/\text{s}$ (im Sommer), minimal $0.6 \text{ m}^3/\text{s}$ (im Winter) beträgt, wird aus der Aare effektiv nur diese Menge Wasser entnommen. Da Pegelstände der Aare unterhalb ca. $30 \text{ m}^3/\text{s}$ (im Winter) nicht zu erwarten sind (siehe Kap. 3.4.4.1.3), ist für das KKM immer ausreichend Kühlwasser vorhanden (für das KKM wird maximal $11.6 \text{ m}^3/\text{s}$ benötigt).

Die maximale Temperaturzunahme des aus dem EKKM in die Aare zurückgeleiteten Wassers beträgt $0.6 \text{ }^\circ\text{C}$ (siehe ebenfalls Kap. 2.4.3). Verglichen mit der Temperaturzunahme des KKM-Abwassers von bis zu $13 \text{ }^\circ\text{C}$, das ausschliesslich mit Durchlaufkühlung arbeitet, ist dies geringfügig und stellt keine echte Einschränkung für den Betrieb des KKM dar. Die effektive Begrenzung für KKM bildet die Wassertemperatur flussaufwärts der beiden Standorte. Damit nach dem Durchlauf

¹ Die BKW ist bestrebt, das bestehende KKM nach Inbetriebnahme des EKKM 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 BKW und die am EKKM beteiligten Partner in der ersten Phase nach Inbetriebnahme des EKKM weiterhin gewährleisten zu können.

im KKM die Limite für die mittlere Wassertemperatur an der KKM-Wassereinleitstelle von 33 °C eingehalten werden kann, würde bei saisonbedingten hohen Wassertemperaturen selbst eine Abschaltung des EKKM keine Abhilfe schaffen (siehe Kap. 2.4.5), und das KKM müsste die Leistung entsprechend den Temperaturverhältnissen drosseln. Diese Situation kommt allerdings nur vereinzelt vor. Die Häufigkeit einer Wassertemperatur > 20 °C ist etwa 3.7% pro Jahr während der Periode 1998-2007 (siehe auch Abbildung 2.4-3). Durch die Auswirkungen der Klimaerwärmung würde diese Häufigkeit leicht zunehmen.

Die aus heutiger Sicht erkennbaren Folgen der Klimaerwärmung ändern die in diesem Abschnitt aufgeführten Schlussfolgerungen nicht wesentlich.

2.5 Erfüllung der gesetzlichen und behördlichen Anforderungen

Das aktuelle Regelwerk¹ (Bezugssystem) mit Anforderungen zur friedlichen Nutzung von Kernenergie in der Schweiz besteht aus Gesetzen, Verordnungen sowie behördlichen Richtlinien, die zu einem Grossteil auf den Betrieb und die Technologie von bestehenden KKW gerichtet sind.

Des Weiteren sind zurzeit die behördlichen Richtlinien nur zum Teil an die geltende Gesetzgebung angepasst. Das RBG baut auf den bestehenden behördlichen Anforderungen auf – in der Erwartung, dass in nächster Zeit diese Anpassung erfolgt und insbesondere die Richtlinien mit spezifischen Auslegungsgrundsätzen für LWR – wie von der Kernenergieverordnung KEV gefordert² – erstellt werden.

Gemäss bisheriger Praxis werden für das RBG auch die sicherheitstechnischen Anforderungen der Behörden des Herkunftslandes der Technologie berücksichtigt. Dazu werden internationale Regeln der IAEA³, EU⁴ und WENRA⁵ in Betracht gezogen.

Für die Projektierung, den Bau, den Betrieb und die Stilllegung verpflichtet sich die Gesuchstellerin grundsätzlich zur Befolgung der geltenden gesetzlichen Anforderungen und zur Beachtung der behördlichen Richtlinien.

¹ Stand Dezember 2008

² Art. 10 Abs. 2 KEV [2]

³ Internationale Atomenergieorganisation IAEA (International Atomic Energy Agency): Fundamental Safety Principles, Safety Requirements, Safety Guides

⁴ Europäische Union EU: European Utility Requirements (EUR) for LWR Nuclear Power Plants

⁵ Western European Nuclear Regulators' Association WENRA: Reference Levels

2.5.1 Schutzmassnahmen, Sicherheitsebenen und Auslegungsgrundsätze

Grundlage für den Sicherheitsbericht und dessen Inhalt ist die aktuelle Gesetzgebung, d.h. Kernenergiegesetz KEG [1] und Strahlenschutzgesetz StSG [3], einschliesslich der von den Gesetzen abgeleiteten Verordnungen sowie der Verordnungen und Richtlinien der Aufsichtsbehörden, die zurzeit in Kraft sind.

Im Kernenergiegesetz KEG [1] sind die Grundsätze für die Nutzung der Kernenergie¹ sowie die erforderlichen Schutzmassnahmen – nach international anerkannten Grundsätzen – zur Gewährleistung der Sicherheit² definiert. Der Schutz von Mensch und Umwelt vor Gefährdungen durch ionisierende Strahlung ist durch die übergeordneten Anforderungen des Strahlenschutzgesetzes StSG [3] präzisiert.

Die Kernenergieverordnung KEV [2] legt weitere Anforderungen an Schutzmassnahmen fest und fordert einen ausreichenden Schutz gegen Störfälle mit Ursprung innerhalb und ausserhalb der Anlage. Zu diesen Schutzmassnahmen gehört eine Auslegung gemäss dem „Defense in Depth“-Konzept³, das – zusammen mit geeigneten Betriebsprozessen – einen gestaffelten Schutz gegen das Auftreten und die Auswirkungen von Störfällen darstellt. Diese Staffelung wird wie folgt gestaltet:

- Abweichungen vom Normalbetrieb verhindern
- erkennen und korrigieren solcher Abweichungen, um Störfälle zu vermeiden
- beherrschen von Störfällen
- Auswirkungen von Störfällen resp. Freisetzung von Radioaktivität mindern
- Massnahmen des Notfallschutzes in der Umgebung der Anlage.

Ebenfalls werden in die Auslegung mehrere physikalische Sicherheitsbarrieren aufgenommen; die Integrität dieser Barrieren wird durch aktive oder passive Sicherheitsfunktionen resp. eine Kombination davon sowie durch betriebliche Massnahmen gewährleistet.

Die Grundsätze für die Auslegung bezüglich Sicherheitsfunktionen sind in der Kernenergieverordnung KEV⁴ definiert. Die wichtigsten dieser Grundsätze sind:

- automatische Auslösung der Sicherheitsfunktionen
- Redundanz und Diversität in der Ausführung der Sicherheitsfunktionen
- Funktionalität auch beim vom auslösenden Ereignis unabhängigen Einzelfehler
- sicherheitsgerichtetes Fehlverhalten der Sicherheitsfunktionen
- Unabhängigkeit, räumliche Trennung und Prüfbarkeit der redundanten Stränge.

¹ Art. 4 KEG [1]

² Art. 8 KEG [1]

³ Die Praxis, dass mehrere redundante unabhängige Sicherheitsmassnahmen (technischer, menschlicher und organisatorischer Art) etabliert werden zur Reduzierung des Risikos, dass ein kritischer Fehler einen Kernschaden oder ein Versagen des Sicherheitsbehälters verursacht.

⁴ Art. 10 KEV [2]

Bei der Projektierung und Auslegung der neuen Anlage werden die o.g. Schutzmassnahmen und Sicherheitsgrundsätze berücksichtigt resp. umgesetzt. Die entsprechenden Nachweise dieser Umsetzung werden erstmals in den Unterlagen zum Gesuch der Baubewilligung erbracht.

Des Weiteren werden bei der Auslegung des EKKM auch die Belange des Rückbaus dieser Anlage berücksichtigt werden. Dies wird ebenfalls später im Rahmen des Gesuch zur Baubewilligung beschrieben.

2.5.2 Regelwerk bzgl. Normalbetrieb und Störfällen

Im Kernenergiegesetz KEG¹ sowie im Strahlenschutzgesetz StSG² ist der Schutz für Mensch und Umwelt vor der Gefährdung durch ionisierende Strahlung gefordert; entsprechende Schutzmassnahmen³ u.a. bei der Auslegung der Kernanlage sollen diesen Schutz sicherstellen. In der Kernenergieverordnung KEV⁴ sind diese Schutzmassnahmen und die zu berücksichtigenden Störfälle weiter präzisiert.

Gefährdungen werden verursacht durch Vorfälle, die entweder innerhalb (so genannte *interne* Ereignisse) oder ausserhalb (so genannte *externe* Ereignisse) der Anlage ausgelöst werden und eine Abweichung vom normalen Anlagebetrieb zur Folge haben.

Der Schutz gegen anlageinterne Ereignisse wird grundsätzlich durch die Konzeption und Auslegung der Anlage gewährleistet (Betriebsstörungen und Auslegungsstörfälle, siehe unten Kap. 2.5.3). Auch gegen anlageexterne Ereignisse können die Anlagekonzeption und -auslegung zum Teil einen Schutz bieten resp. wird dieser Schutz durch behördliche Anforderungen an die Auslegung verlangt. Generell wird die Wirksamkeit der zum Schutz getroffenen Vorsorgemassnahmen anhand der Ergebnisse der anlagespezifischen Risikoanalysen (Probabilistische Sicherheitsanalysen, PSA) bewertet.

Zum Zeitpunkt des RBG sind nur die Grundzüge der zu errichtenden Anlage festgelegt. Die definitive Anlagekonzeption wird zu einem späteren Zeitpunkt bestimmt und im Gesuch zur Baubewilligung dokumentiert. Die Massnahmen zum Schutz vor anlageinternen Ereignissen sind auslegungsspezifisch und können somit zu diesem Zeitpunkt nicht festgelegt werden. Eine entsprechende Untersuchung ist deshalb im RBG nicht enthalten; die Definition der anlageninternen Ereignisse und die detaillierte Analyse deren Auswirkung bzw. von Störfällen, die daraus möglicherweise resultieren, werden auch im Gesuch zur Baubewilligung dokumentiert.

Während der Schutz gegen interne Ereignisse anlage- resp. auslegungsspezifisch ist und von den Standorteigenschaften nicht tangiert wird, können die Standorteigenschaften bezüglich der Eintrittswahrscheinlichkeit und / oder Auswirkung von externen Ereignissen von Bedeutung sein. Die externen Ereignisse werden deshalb zur Bewertung der Gefährdung resp. der Standorteignung untersucht (siehe Kap. 3.6).

¹ Art. 4 Abs. 1 KEG [1]

² Art. 1 StSG [3]

³ Art. 5 Abs. 1 KEG [1]

⁴ Art. 8 Abs. 1 bis 3 KEV [2]

Die geltenden gesetzlichen Anforderungen an die für Störfälle erforderlichen Vorsorgemassnahmen werden für die Auslegung der neuen Anlage erfüllt. Damit ist gewährleistet, dass ausreichende Schutzmassnahmen zur Beherrschung resp. zur Begrenzung von Gefährdungen getroffen werden können.

2.5.3 Störfallanalysen

Störfälle, die während der Lebensdauer der Anlage zu erwarten sind, werden von der Anlage beherrscht, auch für den Fall, dass ein vom auslösenden Ereignis unabhängiger Einzelfehler auftritt¹. Die Häufigkeit dieser so genannten Auslegungsstörfälle (Störfälle mit einer Häufigkeit grösser als einmal pro 1'000'000 Betriebsjahre) entspricht – ohne Einzelfehler – der Eintrittshäufigkeit des auslösenden Ereignisses, andernfalls wird die Letztere mit der bedingten Wahrscheinlichkeit eines Einzelfehlers multipliziert.

Das Störfallspektrum wird untersucht, sobald die definitive Anlagekonzeption für das EKKM gewählt ist. Anschliessend werden die Auslegungsstörfälle gemäss den behördlichen Anforderungen² in drei Kategorien eingeteilt. Die maximale Strahlendosis für Einzelpersonen aus der Umgebung der Anlage ist für jede dieser drei Kategorien festgelegt³ und muss für jeden Störfall in der entsprechenden Kategorie eingehalten werden.

Die Untersuchungen bzgl. des Störfallspektrums und die Analysen der Störfälle resp. die Nachweise der Einhaltung der Dosisgrenzwerte (radiologische Analysen) werden erstmals im Rahmen des Gesuches zur Baubewilligung durchgeführt.

Auslegungsüberschreitend sind extrem unwahrscheinliche Störfälle (Häufigkeit kleiner als einmal pro 1'000'000 Betriebsjahre). Sie werden ausgelöst z.B. durch Mehrfachfehler oder sehr seltene Ereignisse. Für diese Störfälle sind keine einzuhaltenden Strahlendosisgrenzwerte festgelegt, allerdings werden für solche auslegungsüberschreitende Störfälle, deren Auswirkungen gross sein können, vorsorgliche Massnahmen gefordert⁴. Für neu zu bauende Kernanlagen können solche Massnahmen mindestens teilweise in der Auslegung umgesetzt werden; so sehen die internationalen EU-Standards (EUR) bei der Auslegung von neuen Kernkraftwerken so genannte "Design Extension Conditions" (DEC) vor. Dabei handelt es sich um sehr seltene Ereignisse und / oder durch Mehrfachfehler ausgelöste Störfälle ("Complex Sequences"), die durch eine entsprechende Auslegung der Anlage ohne Hilfsmittel des Accident Managements beherrscht werden können. Bei der Auslegung des EKKM ist die Berücksichtigung solcher Auslegungserweiterungen vorgesehen.

Des Weiteren werden zur Begrenzung der Auswirkungen von auslegungsüberschreitenden Störfällen Vorsorgemassnahmen des internen Notfallschutzes⁵ getroffen.

¹ HSK Richtlinie R-101 [34]

² HSK Richtlinie R-100 [45]

³ Art. 94 und Art. 96 StSV [4]

⁴ Art. 94 StSV [4]

⁵ HSK Richtlinien R-102 [39] und R-103 [40]

Die Bewertung auslegungsüberschreitender Störfälle und die Einschätzung der Wirksamkeit und der Zuverlässigkeit von getroffenen vorsorglichen Massnahmen erfolgt anhand der Ergebnisse der anlagenspezifisch durchzuführenden deterministischen und probabilistischen (siehe [93]) Sicherheitsanalysen und erfolgt im Rahmen des Gesuches zur Baubewilligung. Die Zuverlässigkeit des Anlagepersonals wird dabei auch berücksichtigt (Human Reliability Analysis, HRA).

2.6 Notfallschutz

2.6.1 Ausgangslage

Zum Schutz vor Gefährdung durch radioaktive Strahlung wird eine Kernanlage auf der Basis der gestaffelten Sicherheitsvorsorge ("Defense in Depth"-Konzept, siehe Kapitel 2.5.1) ausgelegt. Diese beinhaltet den sog. anlageninternen Notfallschutz, welcher in der Auslegung der Anlage zum Tragen kommt. Die letzte Stufe / Ebene des "Defense in Depth"-Konzepts bildet der sog. anlagenexterne Notfallschutz, welcher dem Schutz der Bevölkerung dient. Diese kommt zur Anwendung, wenn die Auswirkungen eines Störfalles nicht mehr auf die Anlage selbst beschränkt werden können. Auf den anlageninternen resp. anlagenexternen Notfallschutz wird im Kapitel 2.6.3 resp. 2.6.4 näher eingegangen.

Notfallmassnahmen werden gemäss Kernenergiegesetz KEG¹ – für den Fall einer Freisetzung gefährlicher Mengen radioaktiver Stoffe – zur Begrenzung des Schadensausmasses vorbereitet. Die entsprechenden Notfallschutzkonzepte werden gemäss Kernenergieverordnung KEV² im Sicherheitsbericht zum Baubewilligungsgesuch beschrieben. Ebenfalls gemäss Kernenergieverordnung KEV³ 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 Kernenergieverordnung KEV⁴ eingereicht.

Die Grundlage für die Anordnung von Schutzmassnahmen ist, abgesehen von den Bestimmungen der Strahlenschutzverordnung [4], das sog. Dosismassnahmenkonzept (DMK), welches in der Verordnung über die Einsatzorganisation bei erhöhter Radioaktivität [82] enthalten ist⁵. Das DMK enthält obere und untere Dosissschwellwerte (Eingreifwerte oder "intervention levels" gemäss internationaler Terminologie) für die jeweiligen Schutzmassnahmen für die Bevölkerung (Aufenthalt im Haus für sensible Personengruppen, Aufenthalt im Haus / Keller / Schutzraum, Evakuierung, Einnahme von Jodtabletten, Massnahmen in der Landwirtschaft), welche bei einer Überschreitung der einzelnen Werte ergriffen werden müssen sofern deren Anordnung möglich und sinnvoll ist.

¹ Art. 5 Abs. 2 KEG [1]

² Anhang 4 KEV [2]

³ Art. 30 und 33 KEV [2]

⁴ Art. 28 und 41 sowie Anhang 3 KEV [2]

⁵ Die Verordnung ist derzeit in Revision und soll neu in eine Verordnung über die Organisation von Einsätzen bei ABC- und Naturereignissen (ABCN-Einsatzverordnung) überführt werden. Das revidierte DMK wird in diesem Kapitel bereits sinngemäss angewendet, obwohl zur Konzeptrevision - insbesondere zur vorsorglichen Evakuierung - zwischen den Experten der Behörden und Kantone noch einige Meinungsunterschiede bestehen.

Des Weiteren sind Forderungen zum Notfallschutz [46] festgelegt; diese beinhalten u.a. die Definition zweier Zonen für den Notfallschutz. 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 wird – im Hinblick auf die unmittelbare Nähe der Standorte KKM und EKKM – die für das bestehende KKM definierte Zone 1 angenommen (Radius von 2.8 km). Die genaue Definition der Zone 1 wird u.a. auf der Reaktorleistung und der Anlagekonzeption basieren und erfolgt gemäss Notfallschutzverordnung [46] später im Rahmen der Baubewilligung.

Die Zone 2 schliesst gemäss Notfallschutzverordnung [46] an die erste Zone an und umfasst ein in 6 Gefahrensektoren eingeteiltes Gebiet mit einem Radius von rund 20 km. Die Zonen werden durch den Bundesrat festgelegt; sie werden durch die Aufsichtsbehörde dokumentiert¹ und jährlich überprüft.

Als Zone 3 wird das übrige Gebiet der Schweiz bezeichnet.

Die Notfallschutzmassnahmen bei Störfällen, die eine Gefahr für die Umgebung der Anlage darstellen, werden in Unterlagen der Eidg. Kommission für ABC – Schutz geregelt [47].

2.6.2 Betriebliche Notfallorganisation

Die Vorbereitung und Umsetzung von Notfallschutzmassnahmen wird in der Betriebsorganisation der zukünftigen Bewilligungsinhaberin – welche sich im Laufe des Projektes entwickeln wird – enthalten sein. Dazu werden die geltenden behördlichen Anforderungen berücksichtigt werden.

Der betriebliche Notfallstab wird im Einklang mit dem Notfallschutz [47] für die Erkennung und Beurteilung von Störfällen, für das Treffen von Massnahmen zu deren Beherrschung, und für die Störfallmeldung, resp. weitere Orientierung an die zuständigen Stellen / Behörden verantwortlich sein.

Die Notfallplanung erfolgt in der Anlage nach dem o.g. Notfallreglement auf verschiedenen Stufen:

- *Überwachung der Anlage:* Kontrolle der Anlage durch die Betriebsmannschaft, Aufdecken von Störungen und wenn möglich sicherheitsgerechtes Eingreifen.
- *Messungen zur Radioaktivitätsüberwachung:* Messstationen zur Überwachung der Ortsdosisleistung innerhalb und ausserhalb des Anlagenareals.
- *Warnung und Alarmierung:* Abgabe einer Störfallmeldung durch den Notfallstab an die zuständigen Behörden (HSK, NAZ / BABS, zuständige Stelle der Standortkantone). Die Warnung und Alarmierung sind in den entsprechenden Verordnungen [48], [82], [94] festgehalten.
- *Orientierung* über den weiteren Verlauf des Störfalls durch den Notfallstab an die zuständigen Stellen.

¹ "Zonenpläne für die Notfallplanung", siehe www.hsk.ch

2.6.3 Anlageninterner Notfallschutz

Der anlageninterner Notfallschutz wird auf der konsequenten Anwendung des "Defense in Depth"-Konzeptes, d.h. auf einer gestaffelten Sicherheitsvorsorge bei der Auslegung des EKKM, in Verbindung mit einer profunden Ausbildung des Betriebspersonals (u. a. mit der Nutzung des Trainingssimulators bereits vor der Inbetriebnahme des Kernkraftwerks für die Ausbildung des lizenzierten Personals) basieren.

Eine ausreichende Störfallinstrumentierung sowie ein *Safety Parameter Display System (SPDS)* und ein *Post Accident Sampling System (PASS)* werden der Betriebsmannschaft, resp. dem Notfallstab zur Verfügung stehen.

Des Weiteren werden Strategien zur Milderung der Auswirkungen von schweren Unfällen (*Severe Accident Management Guidance, SAMG*) sowie dementsprechende Entscheidungshilfen entwickelt werden.

2.6.4 Anlagenexterner Notfallschutz

Die im Rahmen der Projektierung untersuchten Anlagen mit Reaktorsystemen der Generationen III und III+, die für das EKKM in Frage kommen, weisen durch ihre fortschrittliche Auslegungen, z.B. mit mehrfachen, bzw. passiven Systemen zur Kernnotkühlung und zusätzlichen Einrichtungen wie "Core Catcher"¹, ein sehr hochentwickeltes Sicherheitsdispositiv auf. Die Auswirkungen auch von schweren Störfällen werden somit mit höchster Wahrscheinlichkeit auf die Anlage selbst begrenzt bleiben. Erst für die extrem unwahrscheinlichen, auslegungsüberschreitenden Störfälle mit einer möglichen Freisetzung von Radioaktivität in die Umgebung, die für die Bevölkerung eine Gefährdung im Sinne der Strahlenschutzverordnung [4] darstellen bzw. zum Erreichen eines Eingreifwertes gemäss DMK führen könnten, sind Massnahmen für den externen Notfallschutz vorgesehen.

Bis zur definitiven Wahl der spezifischen Anlagenkonzeption durch die Gesuchstellerin können Störfallabläufe nur qualitativ betrachtet werden. Eine detaillierte Analyse von schweren 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, bei welchen Eingreifwerte gemäss DMK überschritten werden können, sodass entsprechende Schutzmassnahmen gemäss DMK erforderlich sind, wird die Gesuchstellerin diese mit den zuständigen Stellen auf Stufe Bund, Kanton und Gemeinden vor der Inbetriebnahme abstimmen.

¹ Einrichtung zum Fassen / Beherrschen einer allfälligen Kernschmelze

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

- I. Anordnung zum Aufenthalt im Haus für sensiblen Bevölkerungsgruppen (Kinder, Jugendliche, schwangere Personen): für diese sensiblen Bevölkerungsgruppen soll ein Aufenthalt im Haus vorgesehen werden. Diese Massnahme ist schnell über Radio kommunizierbar und benötigt keine weiteren Begleitmassnahmen (keine Absperrungen / Verkehrsumleitungen, etc.). Die davon betroffene Bevölkerung kann von der bestehenden baulichen Infrastruktur Gebrauch machen. Für die übrige Bevölkerung besteht keine Notwendigkeit, persönliche Massnahmen zu treffen.
- II. Anordnung zum Aufenthalt im Haus / Keller / Schutzraum: wenn diese Anordnung erlassen wird, kann die davon betroffene Bevölkerung von der bestehenden baulichen Infrastruktur Gebrauch machen. Der beste Schutz innerhalb eines Gebäudes ist in den innen liegenden Räumen oder im Untergeschoss (Keller / Schutzraum) gewährleistet. Gemäss Bevölkerungs- und Zivilschutzgesetz (BZG [83]) soll für jede(n) Einwohner(in) ein geeigneter Schutzraum in zeitgerecht erreichbarer Nähe des Wohnortes bereitgestellt sein (im eigenen Haus oder ansonsten in öffentlichen Schutzräumen). Die Verwendung von öffentlichen Schutzräumen für einen Notfall in einer schweizerischen Kernanlage ist aus heutiger Beurteilung im Allgemeinen nur sehr beschränkt praktikabel. Die Bereitstellung der Schutzräume zum Schutzraumbezug und die komplette Einrichtung würden zu viel Zeit in Anspruch nehmen und insbesondere im Bereich der Betreuung sowohl personelle wie logistische Ressourcen erfordern, welche im Falle eines KKW-Störfalls gar nicht zur Verfügung stehen. Öffentliche Schutzräume können hingegen von der kommunalen Exekutive für jene Bevölkerungsteile geöffnet werden, die keine andere Schutzmöglichkeit haben oder sich in einem öffentlichen Gebäude befinden. Dabei würde allerdings kein eigentlicher Schutzraumbezug stattfinden. Die Massnahme zum Aufenthalt im Haus / Keller / Schutzraum ist ebenfalls schnell über Radio kommunizierbar und einfach umsetzbar. Da anzunehmen ist, dass es zu selbständigen Evakuations- und Fluchtbewegungen kommen wird, ist als Begleitmassnahme ein Verkehrsmanagement (Verkehrsumleitungen etc.) notwendig.
- III. Anordnung zur Einnahme von Jodtabletten: gemäss der Jodtablettenverordnung [84] stehen der Bevölkerung jodsalzhaltige Tabletten zur Verfügung, die in den Zonen 1 und 2 um eine Kernanlage vorsorglich bis auf Stufe Einwohner verteilt werden (Verteilung an alle Haushaltungen sowie an Betriebe, Schulen, Heime und weitere öffentlichen Einrichtungen). Zusätzlich ist eine permanente Notfallabgabe über Apotheken und Drogerien in den Zonen 1 und 2 sichergestellt. Somit kann, wenn diese Anordnung erlassen wird, jede Person in den Zonen 1 und 2 unmittelbar auf bestehende Vorkehrungen zurückgreifen. Auch für die Zone 3 stehen Jodtabletten zur Verfügung. Diese werden von den Kantonen bewirtschaftet und nach kantonalen Bedürfnissen dezentralisiert. In der Zone 3 ist im Ereignisfall eine Verteilung innert 12 h nach Anordnung dieser Massnahme gewährleistet.
- IV. Einschränkungen im Lebensmittelkonsum: durch die schweizerische Lebensmittelgesetzgebung sind bereits zu jedem Zeitpunkt verbindliche Toleranz- und Grenzwerte für die verschiedenen Lebensmittel und die jeweiligen Radionuklide definiert [95].

Zudem hat der Bundesrat die Möglichkeit, ereignisbezogene Grenzwerte zu definieren, welche auf dem Gesundheitsschutz basieren¹. Im Falle eines Störfalls mit Freisetzung von Radioaktivität werden entsprechend den bestehenden Konzepten vorbereitete Probennahmepläne durch den Bund an die zuständigen Behörden abgegeben.

- V. Vorsorgliche Evakuierung: Das noch vom Kanton zu erarbeitende Konzept zur vorsorglichen (temporären) Evakuierung der Bevölkerung² der Zone 1 EKKM basiert auf folgenden Überlegungen:
- a Die vorsorgliche Evakuierung ist eine Handlungsoption für jene Störfälle, die aufgrund des absehbaren, zeitlichen Verlaufs ein genügend grosses Zeitfenster für die Anordnung und den Vollzug offen lassen und gleichzeitig das Potential für eine erhebliche Freisetzung von radioaktiven Stoffen beinhalten bei welchen ein geschützter Aufenthalt im Haus / Keller / Schutzraum ungenügend ist. Ebenfalls kann die vorsorgliche Evakuierung in Betracht gezogen werden, wenn ein geschützter Aufenthalt im Haus / Keller / Schutzraum nicht länger möglich oder zumutbar ist. Die Evakuationszone beschränkt sich auf den Nahbereich der Anlage (Zone 1 EKKM) und betrifft daher eine Bevölkerungszahl von rund 2'500 Personen. (siehe Kapitel 3.1.2.1). 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 offenen und transparente Information ist sicherzustellen, dass die Betroffenen die Konsequenzen des eigenen Handelns jederzeit abschätzen können.
 - b Bei einer vorsorglichen Evakuierung dürfte niemals genügend Zeit für den Aufbau der benötigten Transport-Infrastruktur zur Verfügung stehen. Analog anderer Evakuationskonzepte (Evakuierung bei z.B. Chemie-Grossereignissen) würde das Evakuationskonzept primär auf der Selbstsorge basieren, d.h. 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.
 - c Die Massnahmen des kantonalen Führungsorgans würden sich bei einer vorsorglichen Evakuierung auf eine regelmässige und transparente Information sowie auf das Verkehrsmanagement konzentrieren. Am Rande der Zone 1 werden beispielsweise Posten zur Absperrung / Umleitung eingerichtet, welche ein ungehindertes Verlassen der Zone 1 ermöglichen und auf die drohende Gefahr innerhalb des Gebietes hinweisen. Strassenzustandsmeldungen geben Auskunft über Staus / Behinderungen und allfällige Umfahrungsmöglichkeiten. Gleichzeitig werden Notaufnahmезentren bezeichnet, die für die Aufnahme der Bevölkerung der Zone 1 EKKM vorbereitet werden. Damit diese schnell und ungehindert die Zone 1 verlassen kann, wäre im Sinn der organisatorischen

¹ Art. 18 StSG [3]

² In der Zone 1 ist die Zahl der transiente Bevölkerung ist vernachlässigbar klein im Vergleich zur stationären Bevölkerung (siehe Kap. 3.1.2.6); anstatt von Bevölkerung kann hier deshalb auch von Einwohner geredet werden.

Fürsorge auch ein wirksames "Verkehrsmanagement" erforderlich. Dies könnte bedeuten, dass die Autobahn A1, die quer durch die Zone 1 verläuft, zwischen dem Autobahnkreuz Weyermannshaus und der Auffahrt Kerzers für den Transitverkehr von ausserhalb gesperrt wird, so dass eine leistungsfähige und schnelle Rettungs- und Evakuationsachse zur Verfügung steht; Angaben über den weiteren Evakuierungsweg (inkl. mögliche Aufenthaltsorte bzw. Sammelpunkte) wären weitere Bestandteile des Verkehrsmanagements. Als erster Sammelpunkt bietet sich beispielsweise das Einkaufszentrum "Westside" an, wo genügend Parkplätze und weitere Infrastrukturen für einen vorübergehenden Aufenthalt von Schutzsuchenden vorhanden sind.

- d Eine grobe Abschätzung des Potentials an unterstützungsbedürftigen Personen, welche mittels kantonalen Mittel evakuiert werden müssten, ergibt ein Mengengerüst von max. 250 Personen resp. 10% der ansässigen Bevölkerung. Der Löwenanteil dürfte dabei auf die Insassen der drei Altersheime der Zone 1 sowie auf vereinzelte Schulkinder der insgesamt vier örtlichen Schulen fallen. Hingegen ist im Fall des EKKM kein Spital betroffen. Als Transportmittel bieten sich Postautos (ab Busbahnhof Bern) oder ein regionales Reisebusunternehmen an.
- e Der Betrieb von Notaufnahmезentren könnte dem Zivilschutz übertragen werden. Da die Mittel der kantonalen Formationen dafür nicht ausreichen würden, wären regionale Zivilschutzorganisationen mit dem Vollzug zu beauftragen. Hinsichtlich der Evakuierung in westliche Richtung würde der Kanton Bern mit dem Kanton Fribourg eine Lösung absprechen müssen.

Unter Berücksichtigung der oben genannten Grundsätze wäre eine vorsorgliche Evakuierung innerhalb von 4-6 h aus heutiger Sicht realisierbar. Ein detailliertes Evakuierungskonzept, das die Einzelheiten der Evakuierung auf Basis dieser Grundsätze regelt, sowie allfällige Leistungsvereinbarungen werden vom Kanton Bern zukünftig erstellt werden.

Die Anordnung von Schutzmassnahmen in der Umgebung von Kernanlagen erfolgt durch die NAZ, solange bis der "Leitende Ausschuss Radioaktivität" (LAR, siehe [82]) 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.

2.6.5 Zusammenfassende Beurteilung

Der betriebliche Notfallschutz ist in der Schweiz generell sehr gut etabliert; er basiert auf gesetzlichen und behördlichen Anforderungen, die in zuverlässigen Konzepten¹ umgesetzt sind.

Der Notfallschutz beruht primär auf der konsequenten Umsetzung des "Defense in Depth"-Konzeptes, wodurch die Auswirkungen auch von schweren Störfällen mit höchster Wahrscheinlichkeit auf die Anlage selbst begrenzt werden können. Die Massnahmen des anlagenexternen Notfallschutzes würden somit nur in einem extrem unwahrscheinlichen Fall zur Anwendung kommen, sind jedoch gut umsetzbar; die Umsetzung wird auch zukünftig mit den

¹ siehe z.B. die Empfehlungen und Konzepte der KomABC (Eidgenössischen Kommission für ABC-Schutz, www.komabc.ch)

zuständigen Stellen auf Stufe Bund, Kanton und Gemeinden etabliert. Das zukünftige Evakuationskonzept des Kantons Bern müsste auf die vorgängig geschilderten Rahmenbedingungen abgestimmt werden. Die detaillierte Analyse von schweren Störfällen sowie deren möglichen Auswirkungen auf die Umgebung der Kernanlage und die dort wohnhafte Bevölkerung werden im Gesuch zur Baubewilligung dokumentiert. Auch die allfällig zu treffenden Schutzmassnahmen sind daraus ersichtlich. Aufgrund der dünnen Besiedlung des Nahbereichs des EKKM halten sich die Vollzugsprobleme bei der Umsetzung dieser Massnahmen auch unter einem gewissen Zeitdruck in überschaubaren Grenzen.

Die Notfallorganisationen und Notfallstäbe der bestehenden Kernanlagen sind seit langer Zeit im Einsatz und werden regelmässig in lokalen, nationalen und internationalen Notfallübungen¹ erprobt. Sie liefern der NAZ kompetent und zeitgerecht die notwendigen Hinweise (Beurteilung der Lage, mögliche Entwicklung des Störfalls etc.) zur Entscheidungsfindung über eventuelle Massnahmen.

Die Notfallplanung für das EKKM wird auf die gleiche Art und Weise gestaltet werden wie für das benachbarte KKM. Damit wird die Notfallorganisation des EKKM im bereits etablierten, organisatorischen Netzwerk verankert. Die langjährige Erfahrung der bestehenden Anlage KKM zur Entwicklung, Gestaltung und Umsetzung der Notfallordnung kann optimal genutzt und wo nötig an neue Gegebenheiten angepasst werden. Aufgrund der dünnen Besiedlung und der moderaten Entwicklung der Einwohnerzahlen in der Umgebung des Standortes (siehe Kapitel 3.1.2) sind betreffend den dargestellten Massnahmen des externen Notfallschutzes auf längere Sicht keine Erschwernisse für die Notfallplanung zu erwarten, sodass bereits heute davon ausgegangen werden kann, dass die Möglichkeit der praktischen Umsetzung der Notfallschutzmassnahmen im Einklang mit den Empfehlungen der IAEO² aufgezeigt werden kann.

2.7 Klassierung von Systemen, Strukturen und Komponenten

Die Bauwerke, Systeme und Ausrüstungen einer Kernanlage werden gemäss ihrer Bedeutung für die nukleare Sicherheit in Bauwerks-, Sicherheits- und Erdbebenklassen eingestuft. Die Kriterien für die Klassierung von sicherheitsrelevanten Systemen, Strukturen und Komponenten sind gesetzlich festgelegt³ und in behördlichen Anforderungen⁴ weiter präzisiert. Die Kriterien berücksichtigen die Bedeutung der Ausrüstungen für die Beherrschung von Störfällen, die Einhaltung der Schutzziele sowie die Einhaltung der Dosislimiten.

Die Erfüllung all dieser Anforderungen und die Klassierung der sicherheitsrelevanten Einrichtungen wird im Rahmen des Gesuches zur Baubewilligung nachgewiesen.

¹ siehe HSK-Richtlinie B-11

² siehe Internationale Atomenergieorganisation IAEO (International Atomic Energy Agency): Safety Guide NS-G-3.2 (Kap. 6)

³ Anhang 4 KEV [2]

⁴ HSK Richtlinien R-04 [43], R-06 [44], R-35 [74] (Anhang 1) und R-46 [75] (Anhang 3)

2.8 Qualitätsmanagement (QM)

2.8.1 QM für Standorteignung und Rahmenbewilligungsgesuch

Bei allen Untersuchungen und Arbeiten, welche für die Standorteignung und für die Erstellung der Dokumente zum Einreichen des Rahmenbewilligungsgesuches durchgeführt wurden, standen die Ansprüche resp. Erwartungen zur Qualität der Gesuchstellerin resp. der behördlichen und öffentlichen Bereiche stets im Vordergrund. Ein Projektteam von hochqualifizierten Fachpersonen, zum Teil mit grosser Erfahrung in der Nukleartechnik, wurde für diese Arbeiten zusammengestellt. Dieses Team wurde von erfahrenen Fachpersonen aus den Mutterfirmen resp. aus den bestehenden Kernanlagen der Mutterfirmen sowie von anerkannten externen Experten unterstützt. Eine Qualitätssicherung (QS) wurde unternommen, um die Erfüllung der Ansprüche der Empfänger (sowie der Anforderungen zu Terminen und Kosten) zu gewährleisten.

Für die Projektierung der neuen Anlage ist gemäss Kernenergieverordnung KEV¹ die Einführung eines formellen QM-Programms vorgesehen. Darin sind folgende Bestandteile vorgesehen:

- Definition der Abläufe und Prozesse
- Spezifizierung der Anforderungen an die einzelnen Aufgaben resp. Prüfungen (Umfang, Tiefe, verlangtes Ergebnis) und an die Ausführenden (Qualifikation, Erfahrung)
- Regelung der Verantwortlichkeiten (Durchführung, Prüfung und Entscheidung)
- Festlegung der Rollen der Organisationseinheiten bzgl. der Aufgaben und Verantwortlichkeiten.

Viele externe Stellen (Lieferanten, Experten) werden bei der Projektierung involviert sein; deshalb sind diesbezügliche Themen wie z.B. die Qualifikationsbeurteilung der externen Firmen, die Schnittstellen zwischen Gesuchstellerin und externen Unternehmen sowie die Qualitätskontrolle der extern geleisteten Arbeiten ein wesentlicher Bestandteil des zukünftigen QM-Programms.

Obwohl dieses QM-Programm zurzeit noch nicht in Kraft ist, sind die relevanten Vorgänge zur QS in die Arbeiten zum RBG eingeflossen. Insbesondere wurde ein QS-Plan erstellt mit den folgenden Bestandteilen:

- Plan zur Prüfung der Arbeiten resp. der Dokumente; Form sowie Umfang und Tiefe der Prüfung sind unterschiedlich, dies wird fallweise (z.B. gemäss Sicherheitsrelevanz) festgelegt
 - Review (formaler Prozess, intern oder extern, Prüfergebnisse und daraus resultierende Massnahmen / Lösungen werden dokumentiert)
 - Informelle Prüfung resp. "walk-through", d.h. direkte Kommunikation zwischen den Dokumentverantwortlichen und den Fachexperten (direkter Rückfluss in die Arbeit; keine Dokumentationsvorgaben, die Prüfergebnisse und deren Umsetzung sollten aber nachvollziehbar sein)
 - Desk-Check, d.h. informelle Prüfung (ohne Dokumentation) gemäss dem "4-Augen-Prinzip"

¹ Art. 25 KEV [2]

- Beurteilung der Qualifikation der externen Anbieter und deren Qualitätskontrolle vor Auftragsvergabe
- Bezeichnung des QS-Leiters, der für die o.g. Veranlassung der QS-Massnahmen verantwortlich ist
- Bezeichnung der Methode zur Entscheidungsfindung (Umsetzung der Prüfergebnisse bei Uneinigkeiten / Widersprüchen, Freigabe der Arbeiten resp. der Dokumente).

Die im Rahmen der Erstellung des RBG geleisteten Arbeiten unterlagen diesem QS-Plan, der im Rahmen der Qualitätsprüfung der RBG-Dokumente von einer externen, akkreditierten Gesellschaft auditert wurde.

Die externen Experten / Firmen, die zur externen Unterstützung gewonnen werden konnten, führten ihre Arbeit im Rahmen ihrer eigenen Qualitätssicherung durch.

2.8.2 QM für Projektierung, Bau, Betrieb und Stilllegung

Die Tätigkeiten während der Projektierung werden (wie im Kapitel 2.8.1 erwähnt) gemäss den Anforderungen der Kernenergieverordnung KEV [2] im Rahmen eines QM-Programms abgewickelt, damit die notwendige Qualität der Produkte, Prozesse und Leistungen sichergestellt ist. Dies wird ebenfalls für die Bauphase, die Betriebsphase und die Stilllegungsphase der Fall sein¹.

Die QM-Programme werden entwickelt und erstellt auf der Basis internationaler Normen wie z.B. der Europäischen Norm EN ISO-9000 oder dem Total Quality Management (TQM)-Konzept. Des Weiteren werden die Standards der Internationalen Atomenergieorganisation IAEA² als Grundlage zur Entwicklung der QM-Programme herangezogen.

In diesen QM-Programmen werden die erforderliche Qualität sowie die Sicherheitsziele angesprochen für alle Tätigkeiten, die durch die entsprechenden Personen oder Organisationseinheiten ausgeübt werden sollen. Die Entwicklung dieser QM-Programme ist daher eng verwandt mit der Organisationsentwicklung resp. mit der Entwicklung von Programmen zur Berücksichtigung menschlicher und organisatorischen Faktoren (Human and Organisational Factors, HOF); dies ist in Kap. 5 beschrieben.

Unterlagen zum QM-Programm werden erstmals im Rahmen des Gesuches zur Baubewilligung³ eingereicht.

¹ Art. 25, Art. 30, Art. 45 Bst. h KEV [2]

² IAEA Safety Requirements "The Management System for Facilities and Activities", GS-R-3 und zugehörige Standards wie z.B. IAEA Safety Guide "Application of the Management System for Facilities and Activities", GS-G-3.1

³ Art. 24 Abs. 2 Bst. d KEV [2]

3 Standorteigenschaften

In diesem Kapitel sind die wichtigsten Angaben zur Standorteignung beschrieben. Es entspricht der gesetzlichen Forderung zur Unterbreitung der Standorteigenschaften¹ und orientiert sich auch am Standard der Internationalen Atomenergieorganisation IAEA [110].

3.1 Geografie und Bevölkerung

3.1.1 Geografie

3.1.1.1 Allgemein

Der Standort des EKKM befindet sich im Aaretal ca. 12 km westlich der Stadt Bern, auf dem Flurstück Niederruntigen im Gebiet der Gemeinde Mühleberg im Kanton Bern. Die Koordinaten der ungefähren Lage des Reaktorgebäudes (Landeskoordinaten) sind E 587800/N 202400. Die geringste Entfernung zu anderen Kantonen beträgt für den Kanton Fribourg ca. 3 km bis zum Gebiet der Gemeinde Kerzers, für den Kanton Solothurn ca. 16 km bis zum Gebiet der Gemeinde Schnottwil, für den Kanton Waadt ca. 16 km bis zum Gebiet der Gemeinde Faoug und für den Kanton Neuenburg ca. 18 km bis zum Gebiet der Gemeinde Le Landeron. Der Standort befindet sich in einer für die Schweiz zentralen Lage, sodass die Entfernungen zu Nachbarstaaten relativ gross sind. Die geringste Entfernung zu Frankreich beträgt ca. 38 km zu Gebieten im Département Doubs. Die nächstgelegene deutsche Gemeinde, Wyhlen in Baden-Württemberg, liegt ca. 70 km entfernt, während die nächstgelegene italienische Provinz Verbano-Cusio-Ossola ca. 100 km südöstlich liegt. Österreich liegt mehr als 170 km entfernt.

3.1.1.2 Standort und Standortumgebung

Der Standort befindet sich im Schweizer Mittelland, dieses wird nördlich vom Jura und südlich von den Alpen begrenzt. Nördlich der heutigen Alpen bildete sich im Tertiär ein Becken aus, in welches unter verschiedenen Ablagerungsbedingungen das im alpinen Raum erodierte Material sedimentiert wurde, die Sedimente werden als Molasse bezeichnet. Getrieben durch die Hebung der Alpen wurde gegen Ende des Tertiärs der Jura gefaltet und gegenüber dem Mittelland angehoben. Am Standort bildet die Untere Süsswassermolasse den anstehenden Fels und erreicht Mächtigkeiten von ca. 2'000 m über den mesozoischen Schichtpaketen. Die Molasse ist in Standortnähe nahezu horizontal geschichtet, sie ist tektonisch nur schwach beeinflusst. Die Molasseoberfläche wurde im Quartär in einer Abfolge von mehreren Glazialen und Interglazialen überformt. In Glazialen stiessen der Aare- und der Rhonegletscher, welche nahe dem Standort aufeinandertrafen, bis zum Jura vor und lagerten Lockergesteinssedimente in Form von Moränen und fluvioglazialen Schottern ab. Dabei führte der Rhonegletscher Material mit höherem Kristallinanteil mit, während der Aaregletscher Material mit einem höheren Kalkanteil mitführte. Während der Glaziale schnitten sich die Täler vor allem in den periglazialen Gebieten weiter in die Oberfläche ein. In nachfolgenden Glazialen wurden die Täler teilweise wieder mit Schottern zugefüllt. Diese Verfüllung führte in der letzten Eiszeit dazu, dass das ursprünglich von Bern nach Norden ziehende Aaretal blockiert war und sich die Aare daher epigenetisch in ein neues Tal nach

¹ Siehe Art. 23 Bstb. a Ziffer 1 KEG [2]

Westen einschnitt und damit ihren heutigen Verlauf erreichte. In Standortnähe zeugen mehrere wandartige Aufschlüsse der anstehenden Süsswassermolasse von der intensiven Einschneidung. Das Aaretal ist stellenweise sehr schmal, da die Aare noch nicht lange Zeit zur Talausweitung hatte. Aus dem gleichen Grund erreichen die Schotter am Talgrund nur eine sehr geringe Mächtigkeit. Geologie und Tektonik des Standortes sind in Kapitel 3.5.1 behandelt.

Auf dem überwiegend kalkhaltigen Ausgangsgestein haben sich im Holozän in Standortumgebung überwiegend Braunerde- bis Parabraunerdeböden entwickelt. Diese können in Staulagen eine Vergleyung aufweisen. Im Mittelland ist Laubmischwald als natürliche Vegetation verbreitet, in Standortnähe kommen vor allem naturnahe Waldmeister-Buchenwälder vor, die in Femelwirtschaft bewirtschaftet werden.

Westlich des Standortes grenzt das bestehende Kernkraftwerk Mühleberg an, östlich des Standortes liegt die Schaltanlage Mühleberg Ost, im Südosten befindet sich die Werkssiedlung Chräjeberg. Die wichtigsten Bauwerke auf dem Standortgelände sind die Schaltanlage Mühleberg West und die Zentrale Netzleitstelle (ZLS) der BKW. Der Rest des Geländes ist landwirtschaftlich genutzt. Die landwirtschaftlichen Flächen sind Äcker, Wiesen und Weiden, zwischen Schaltanlage Mühleberg West und der zentralen Leitstelle liegt ein Obstgarten. Südöstlich des Standortes ist der Hang mit der Waldgesellschaft Aumeister-Buchenwald bewachsen. Der Standort liegt auf der linken Uferseite der Aare. Diese verläuft westlich von Bern in einem teilweise stark eingeschnittenen und engen Tal, welches Talmäander ausgebildet hat. Aus grösserer Perspektive gesehen ist der Standort von einem solchen Mäander umgeben, das Tal und die Aare zeigen am Wasserkraftwerk noch in Süd-Nord-Richtung, während auf der Höhe der Zentralen Leitstelle eine Ost-West-Richtung erreicht wird und die Aare daraufhin von Nordost nach Südwest fliessend auf das bestehende Kernkraftwerk Mühleberg zuläuft, wo der nächste Mäander ansetzt. Der Mäander der Aare hat sich am Standort so eingetieft, dass am Gleithang eine Terrasse ausgebildet ist, auf dieser steht auf ca. 485 m die ZLS. Nach Westen fällt die Terrasse flach bis auf das Niveau des Talgrundes ab, während nach Norden und Osten eine bis zu 15 m hohe steile Terrassenstufe ausgebildet ist.

Die Höhendifferenz zwischen Talgrund und Hangschulter beträgt 100 m. Während der Talboden der Aare bei 465-467 m liegt, erreichen die Hangschultern eine Höhe von 560 m bei Salvisberg und Oberruntigen werden 580 m erreicht. In etwas grösserer Entfernung vom Standort werden im Süden an der Lediflue und am Stockeren 700 m erreicht, während die Höhe 4 km nördlich des Standortes im Seienbergwald und Frienisberg bis 800 m beträgt. 2 km westlich des Standortes befindet sich das in Nord-Süd-Richtung verlaufende Saanetal, in welches das Aaretal mündet. Entgegen den heutigen hydrologischen Verhältnissen, ist das Aaretal morphologisch als Seitental des Saanetales zu sehen, die Saane hat ein deutlich breiteres Tal erodieren können. Das Aaretal oberhalb der Saanemündung weist mehrere Engstellen auf, an einer von ihnen wurde bei Mühleberg 1917-1920 das Wasserkraftwerk Mühleberg errichtet, welches den 10 km langen Wohlensee aufstaut. Der Standort liegt ca. 1.3 km unterhalb des Wehres. Weitere 4 km westlich jenseits des Saanetales geht das Hügelland in die Ebene des Grossen Moores über, hier beginnt das Seeland. Dieses Gebiet wird intensiv durch Gemüseanbau genutzt.

3.1.1.3 Klima

Das Klima am Standort entspricht dem Cfb-Klima der Köppen-Geigerschen Klassifikation [67]. Das bedeutet, dass es ganzjährig humid ist und die Mitteltemperatur des kältesten Monats über -3 °C liegt, während der wärmste Monat im Schnitt unter 22 °C bleibt. Mühleberg liegt noch in einem Bereich des Mittellandes, der infolge Leelage hinter dem Jura vergleichsweise niedrige Jahresniederschläge erhält.

Genauere Angaben zur Meteorologie des Standortes werden in Kapitel 3.3 gemacht.

3.1.2 Bevölkerung

3.1.2.1 Verteilung

In der folgenden Tabelle 3.1-1 sind die Einwohnerzahlen (Stand 31.12.2007) von einigen der wichtigsten Ballungszentren im Umkreis von 20 km vom Standort zusammengefasst. Das grösste Ballungszentrum in der Nähe des Standortes ist Bern, deren westliche wenig dicht besiedelten Gebiete bei Riedbach nicht näher als 4.2 km vom Standort liegen. Die ersten Siedlungsschwerpunkte Berns, Bethlehem und Bümpliz, liegen mehr als 8 km vom Standort entfernt, während die Berner Altstadt ca. 14 km entfernt ist.

Tabelle 3.1-1: Einwohnerzahlen wichtiger Ballungszentren in Standortnähe (Quelle: Bundesamt für Statistik)

Agglomeration	Einwohnerzahl 2007	mittlere Entfernung vom Standort
Mühleberg	2'664	2.3 km
Wohlen bei Bern	8'992	7 km
Lyss	11'240	12 km
Köniz	37'448	12 km
Bern	122'658	12 km
Muri bei Bern	12'526	17 km
Bolligen mit Ittigen und Ostermundigen	31'671	17 km
Biel	49'353	19 km

Einen vollständigen Überblick über die Bevölkerungsverteilung im Umkreis von 20 km gibt Tabelle 3.1-2. Es wird dort die Bevölkerungsverteilung der Gemeinden, welche sich ganz oder teilweise in der Zone 1 (Radius = 2.8 km) befinden, sowie die Bevölkerungsverteilung der Gemeinden in der Zone 2 in einem Umkreis von 20 km (basierend auf den Volkszählungen 1990, 2000 und den jährlichen Zählungen von 2003 und 2007) aufgeführt. Die äusseren Abgrenzungen der Gemeinden an den 20 km-Kreis basieren hier auf den Sektorengrenzen im Dokument "Zonenpläne für Notfallplanung", wie sie von der HSK zuletzt im September 2008 festgelegt worden sind [59]. Es kann hier zunächst von den für das KKM entwickelten Zonenplänen ausgegangen werden, da die

Anlagen KKM und EKKM einen Abstand von wenigen hundert Metern voneinander haben. Eine Anpassung der Zonenpläne wird später vorgenommen (siehe Kapitel 2.6).

In Zone 1 liegen ganz oder teilweise die Gebiete der Gemeinden Radelfingen, Seedorf, Wohlen, Ferenbalm, Golaten, Mühleberg und Wileroltigen. Die jeweils tatsächlich in Zone 1 liegenden Siedlungen oder Einzelhöfe, als Ortsteile der Gemeinden, sind ebenfalls in Tabelle 3.1-2 angeführt. Die Flächen in der nahen Umgebung des Standortes sind nicht sehr dicht besiedelt, die Bevölkerungsdichte der Gemeinden, die von Zone 1 tangiert werden, beträgt zwischen 82 Einwohner/km² (Radelfingen) und 248 Einwohner/km² (Wohlen). Dabei leben von der Gemeinde Wohlen nur 84 Einwohner in Zone 1, der Siedlungsschwerpunkt von Wohlen liegt 6 km vom Standort entfernt. Mühleberg hat eine Bevölkerungsdichte von 101 Einwohner/km², Wileroltigen 99 Einwohner/km², und Golaten 110 Einwohner/km². Die mittlere Bevölkerungsdichte der Schweiz beträgt aktuell 184 Einwohner/km² und liegt damit, trotz grosser unbesiedelter Flächen in den Alpen, über der Bevölkerungsdichte in direkter Standortumgebung. Eigentlich ist das Mittelland der dichtest besiedelte Teil der Schweiz. Das ist auch zu erkennen, wenn die Bevölkerungsdichte der Gemeinden in Zone 1 und 2 betrachtet wird: sie beträgt 443 Einwohner/km². Zu den 556'902 Einwohnern in diesen Zonen trägt allein der Anteil der in der Agglomeration Bern liegenden Gemeinden inklusive Bern mit 291'193 Einwohnern über die Hälfte bei. Im Vergleich zum Mittelland kann die direkte Umgebung des Standortes daher als dünn besiedelt bezeichnet werden.

Tabelle 3.1-2: Bevölkerungsverteilung der Gemeinden in der Zone 1 (R=2.8 km) und in der Zone 2 (R=20 km) für die Jahre 1990, 2000, 2003 und 2007, Einteilung in die Zonen Stand 2003

KANTON Bezirk / Amt / Distrikt Gemeinde	Anzahl Einwohner ¹⁾								
	Total	Total	Total	Total	in Zone 1	in Zone 2		Gde- fläche	Bevölkeru- ngsdichte
	1990	2000	2003	2007	2003	2003	Sektoren ¹	in km ²	Einwohner /km ²
BERN	927497	943696	951957	962982	2484	429970			
Amt Aarberg	29530	32813	33346	33908	205	33141			
Aarberg	3353	3811	3946	3945		3946	5,6	7.92	498
Bargen	826	906	929	952		929	5,6	7.88	121
Grossaffoltern	2388	2791	2803	2809		2803	1,5,6	15.07	186
Kallnach	1273	1496	1533	1492		1533	4,5,6	10.64	140
Kappelen	870	1017	1093	1145		1093	5,6	10.92	105
Lyss	9601	10641	10875	11240		10875	5,6	11.78	954
Meikirch	2162	2469	2435	2388		2435	1,6	10.25	233
Niederried	242	273	275	288		275	4,5,6	4.54	64
Radelfingen	1199	1207	1229	1208		1027	1,2,3,4,5,6	14.73	82
Talmatt									
Oberruntigen									
Oltigen					202				
Ostermanigen									
Matzwil									
Schulhaus Matzwil									
Rapperswil	1915	2016	2063	2133		2063	1,6	18.20	117
Schüpfen	2665	3266	3248	3329		3248	1,6	19.82	168
Seedorf	2939	2920	2917	2979		2914	1,5,6	20.92	142
Trümlen					3				

¹⁾ Die Gefahrensektoren sind definiert in den "Zonenplänen für die Notfallplanung", siehe www.hsk.ch

KANTON Bezirk / Amt / Distrikt Gemeinde			Anzahl Einwohner ¹⁾						
	Total	Total	Total	Total	in Zone 1	in Zone 2		Gde- fläche	Bevölkeru- ngsdichte
	1990	2000	2003	2007	2003	2003	Sektoren ¹	in km²	Einwohner /km²
Amt Bern	246010	237090	237440	238069	84	232652			
Bern	134629	122484	122299	122658		122299	1,2	51.61	2377
Bolligen	6205	6000	6123	6117		6123	1,2	16.56	369
Bremgarten	3687	3784	3809	3956		3809	1,2	1.90	2088
Ittigen	11043	10997	10793	10688		10793	1,2	4.21	2539
Kirchlindach	2547	2682	2594	2714		2594	1,6	11.94	227
Köniz	36101	37196	37134	37448		37134	1,2	51.05	734
Muri	12821	12477	12428	12526		12428	1,2	7.64	1640
Oberbalm	851	856	883	897		883	1,2	12.38	72
Ostermundigen	16457	15202	15285	14866		15285	1,2	5.96	2494
Stettlen	2849	2817	2854	2847		2854	1,2	3.54	805
Wohlen	9101	8912	9137	8992		9053	1,2,6	36.26	248
Salvisberg									
Wickacher									
Mülital					84				
Hostetmatt									
Eymatt									
Zollikofen	8830	9188	9397	9682		9397	1,6	5.40	1793
Amt Biel	52697	51209	50867	51707		50867			
Biel / Bienne	52670	48840	48524	49353		48524	5,6	21.24	2324
Leubringen / Evilard	2283	2369	2343	2354		2343	5,6	3.66	643
Amt Büren	211552	21807	21882	22226		5524			
Bütigen	601	691	779	803		779	5,6	3.62	222

¹ Die Gefahrensektoren sind definiert in den "Zonenplänen für die Notfallplanung", siehe www.hsk.ch

KANTON Bezirk / Amt / Distrikt Gemeinde	Anzahl Einwohner ¹⁾								
	Total	Total	Total	Total	in Zone 1	in Zone 2		Gde- fläche	Bevölkeru ngsdichte
	1990	2000	2003	2007	2003	2003	Sektoren ¹	in km ²	Einwohner /km ²
Busswil	1812	1877	1930	1949		1930	5,6	3.06	637
Diessbach	755	837	839	854		839	5,6	6.30	136
Dotzigen	1287	1356	1340	1345		1340	5,6	4.22	319
Meienried	62	63	59	50		59	5,6	0.67	75
Wengi	480	548	577	610		577	1,6	7.07	86
Amt Erlach	9385	9980	10359	10734		10359			
Erlach	1067	1090	1091	1132		1091	4,5	3.48	325
Brüttelen	554	590	619	592		619	4,5	6.62	89
Finsterhennen	401	419	435	480		435	4,5	3.57	135
Gals	618	651	669	698		669	4,5	7.89	89
Gampelen	811	704	746	750		746	4,5	10.82	69
Ins	2715	2760	2877	3046		2877	4,5	23.88	128
Lüscherz	421	493	532	535		532	4,5	5.45	98
Müntschemier	1006	1099	1144	1266		1144	4,5	4.88	259
Siselen	586	614	608	591		608	4,5	5.53	107
Treiten	376	400	420	413		420	4,5	4.75	87
Tschugg	572	427	447	419		447	4,5	3.31	127
Vinelz	666	733	771	812		771	4,5	4.60	177
Amt Fraubrunnen	35087	36769	37749	38895		19954			
Ballmoos	59	58	58	55		58	1,6	1.46	38
Bangerten	143	162	163	154		163	1,6	2.20	70
Deisswil	89	83	80	93		80	1,6	2.14	43
Diemerswil	171	171	182	204		182	1,6	2.84	72
Iffwil	309	425	398	411		398	1,6	5.05	81

¹ Die Gefahrensektoren sind definiert in den "Zonenplänen für die Notfallplanung", siehe www.hsk.ch

KANTON Bezirk / Amt / Distrikt Gemeinde			Anzahl Einwohner ¹⁾						
	Total	Total	Total	Total	in Zone 1	in Zone 2		Gde- fläche	Bevölkeru- ngsdichte
	1990	2000	2003	2007	2003	2003	Sektoren ¹	in km ²	Einwohner /km ²
Moosseedorf	3429	3508	3455	3554		3455	1,6	6.34	561
Münchenbuch- see	8948	9197	9678	9603		9678	1,6	8.86	1084
Scheunen	71	60	71	70		71	1,6	2.19	32
Urtenen	5065	5177	5268	5450		5268	1,6	7.17	760
Wiggiswil	93	88	95	105		95	1,6	1.43	73
Zuzwil	494	462	506	515		506	1,6	3.47	148
Amt Laupen	13460	14172	14239	14482	2195	12044			
Laupen	2495	2727	2694	2777		2694	2,3,4	4.10	677
Clavaleyres	56	56	54	50		54	3,4	1.00	50
Ferenbalm	1088	1271	1282	1252		1267	2,3,4,5	9.21	136
Haselhof					15				
Frauenkap- pelen	1072	1281	1269	1270		1269	1,2,6	9.28	137
Golaten	287	354	305	307	305			2.79	110
Gurbrü	233	252	247	267		247	3,4,5	1.84	146
Kriechenwil	451	414	403	398		403	2,3,4	4.76	84
Mühleberg	2794	2742	2707	2664		1233	1,2,3,4,5,6	26.27	101
Stauwehr									
Chräjeberg									
Uf em Horn									
Buttenried									
Oberei									
Teuftal									
Heggidorn									

¹ Die Gefahrensektoren sind definiert in den "Zonenplänen für die Notfallplanung", siehe www.hsk.ch

KANTON Bezirk / Amt / Distrikt Gemeinde	Anzahl Einwohner ¹⁾								
	Total	Total	Total	Total	in Zone 1	in Zone 2		Gde- fläche	Bevölkeru- ngsdichte
	1990	2000	2003	2007	2003	2003	Sektoren ¹	in km ²	Einwohner /km ²
Mühleberg									
Steinriesel									
Buech					1474				
Allenlütten									
Mauss									
Stägenrain									
Strassacher									
Dälebach									
Gäu									
Gross Mühleberg									
Marfeldingen									
Rewag									
Münchenwiler	378	426	423	409		423	3,4	2.49	165
Neuenegg	4173	4282	4439	4678		4439	2,3	21.92	213
Wileroltigen	281	367	401	410	401			4.14	99
District La Neuveville	5224	5792	6083	6140		4314			
La Neuveville	3238	3206	3420	3457		3420	4,5	6.82	507
Prêles	736	851	894	867		894	4,5	6.99	124
Amt Nidau	37747	38296	39501	40728		37734			
Nidau	7316	6578	6910	6652		6910	5,6	1.52	4376
Aegerten	1777	1672	1693	1656		1693	5,6	2.17	765
Bellmund	1035	1238	1310	1371		1310	5,6	3.81	360
Brügg	4235	3895	3904	3962		3904	5,6	5.00	792

¹ Die Gefahrensektoren sind definiert in den "Zonenplänen für die Notfallplanung", siehe www.hsk.ch

KANTON Bezirk / Amt / Distrikt Gemeinde			Anzahl Einwohner ¹⁾						
	Total	Total	Total	Total	in Zone 1	in Zone 2		Gde- fläche	Bevölkeru ngsdichte
	1990	2000	2003	2007	2003	2003	Sektoren ¹	in km²	Einwohner /km²
Bühl	362	386	378	421		378	5,6	2.98	141
Epsach	294	319	327	343		327	5,6	3.40	101
Hagneck	287	316	399	418		399	5,6	1.82	230
Hermrigen	252	270	260	264		260	5,6	3.44	77
Ipsach	2973	3272	3543	3747		3543	5,6	4.59	816
Jens	606	606	614	648		614	5,6	1.91	340
Ligerz	467	513	527	507		527	5,6	1.79	283
Merzligen	387	411	403	404		403	5,6	2.27	178
Mörigen	720	742	799	841		799	5,6	2.16	389
Orpund	2465	2489	2468	2620		2468	5,6	3.96	662
Port	2630	2802	2818	3206		2818	5,6	2.44	1314
Scheuren	353	423	446	452		446	5,6	2.10	215
Schwadernau	541	663	663	623		663	5,6	4.13	151
Studen	2293	2394	2477	2642		2477	5,6	2.71	975
Sutz-Lattrigen	935	1174	1212	1303		1212	5,6	3.61	361
Täuffelen	2400	2470	2462	2523		2462	5,6	4.40	573
Tüscherz- Alfermée	282	279	289	309		289	5,6	3.33	93
Twann	797	845	836	818		836	5,6	9.10	90
Walperswil	633	787	826	890		826	5,6	6.98	128
Worben	2082	1896	2170	2269		2170	5,6	2.80	812
Amt Schwarzenburg	9394	9971	10089	10002		6756			
Albligen	435	479	474	465		474	2,3	4.29	109
Wahlern	5597	6124	6282	6227		6282	2,3	40.52	154

¹ Die Gefahrensektoren sind definiert in den "Zonenplänen für die Notfallplanung", siehe www.hsk.ch

KANTON Bezirk / Amt / Distrikt Gemeinde	Anzahl Einwohner ¹⁾								
	Total	Total	Total	Total	in Zone 1	in Zone 2		Gde- fläche	Bevölkeru- ngsdichte
	1990	2000	2003	2007	2003	2003	Sektoren ¹	in km ²	Einwohner /km ²
Amt Seftigen	32839	34999	35777	36739		16625			
Belp	7945	8994	9360	9682		9360	1,2	17.60	550
Kehrsatz	3835	3579	3738	3840		3738	1,2	4.44	866
Niedermuhlern	506	525	529	538		529	1,2	7.23	74
Rüeggisberg	1866	1961	1927	1898		1927	1,2	35.73	53
Wald (BE) ²⁾	1171	1084	1071	1141		1071	1,2	13.28	86
FRIBOURG	206674	236339	246656	263241		93734			
District La Sarine	73187	80698	84144	89977		35942			
Fribourg	33913	31691	32849	33836		32849	3,4	9.31	3634
Granges- Paccot	1700	1990	2134	2322		2134	3,4	3.99	582
La Sonnaz ³⁾	560	836	859	959		859	3,4	6.90	139
See-Bezirk	22741	28085	29574	31497		29574			
Barberêche	498	550	563	526		563	3,4	9.15	57
Büchslen	118	161	162	162		162	3,4	1.58	103
Courgevaux	805	922	1045	1151		1045	3,4	3.39	340
Courlevon	225	258	273	283		273	3,4	3.27	87
Courtepin ⁴⁾	2152	2614	2821	2974		2821	3,4	4.07	731
Cressier (FR)	517	746	759	800		759	3,4	4.16	192
Fräschels	344	488	502	486		502	3,4	3.14	155
Galmiz	446	554	579	613		579	3,4	9.06	68
Gempenach	242	280	294	310		294	3,4	1.68	185
Greng	118	172	167	160		167	3,4	0.99	162
Gurmels ⁵⁾	2582	3361	3466	3762		3466	3,4	17.25	218

¹ Die Gefahrensektoren sind definiert in den "Zonenplänen für die Notfallplanung", siehe www.hsk.ch

KANTON Bezirk / Amt / Distrikt Gemeinde			Anzahl Einwohner ¹⁾						
	Total	Total	Total	Total	in Zone 1	in Zone 2		Gde- fläche	Bevölkeru- ngsdichte
	1990	2000	2003	2007	2003	2003	Sektoren ¹	in km ²	Einwohner /km ²
Jeuss	236	352	413	417		413	3,4	1.78	235
Kerzers	3105	3813	4181	4416		4181	3,4	12.23	361
Kleinbösing	355	521	558	570		558	2,3,4	3.01	189
Lurtigen	186	182	186	187		186	3,4	2.31	81
Meyriez	347	556	587	607		587	3,4	0.34	1812
Misery- Courtion ⁶⁾	1062	1239	1250	1331		1250	3,4	11.42	117
Muntelier	692	733	721	920		721	3,4	1.13	814
Murten	4668	5606	5618	5903		5618	3,4	12.03	491
Ried bei Kerzers ⁷⁾	703	846	815	937		815	3,4	7.58	124
Salvenach	346	422	455	488		455	3,4	3.83	128
Ulmiz	274	333	362	405		362	3,4	2.85	142
Villarepos	417	482	505	528		505	3,4	4.74	111
Bas-Vully	1148	1505	1729	1833		1729	3,4	9.95	184
Haut-Vully	829	1070	1171	1294		1171	3,4	7.58	171
Wallenried	326	319	392	434		392	3,4	3.87	112
Sense-Bezirk	33663	38398	38969	39917		28218			
Alterswil	1656	1877	1895	1890		1895	2,3	16.10	117
Bösingen	2469	3139	3140	3254		3140	2,3	14.33	227
Düdingen	6298	6711	6970	7171		6970	2,3	30.80	233
Heitenried	933	1123	1144	1223		1144	2,3	9.09	135
Schmitten	2724	3301	3379	3566		3379	2,3	13.53	264
St. Antoni	1705	1957	1919	1935		1919	2,3	16.82	115
Tafers	2316	2500	2538	2659		2538	2,3	8.39	317

¹ Die Gefahrensektoren sind definiert in den "Zonenplänen für die Notfallplanung", siehe www.hsk.ch

KANTON Bezirk / Amt / Distrikt Gemeinde	Anzahl Einwohner ¹⁾								
	Total	Total	Total	Total	in Zone 1	in Zone 2		Gde- fläche	Bevölkeru- ngsdichte
	1990	2000	2003	2007	2003	2003	Sektoren ¹	in km ²	Einwohner /km ²
Ueberstorf	1868	2138	2176	2323		2176	2,3	16.13	144
Wünnewil- Flamatt	4146	5005	5057	5104		5057	2,3	13.22	386
NEUCHÂTEL	159722	165731	167047	169782		12349			
District de Neuchâtel	49002	50395	50657	51991		12349			
Cornaux	1589	1482	1489	1495		1489	4	4.72	317
Cressier	1727	1917	1937	1906		1937	4,5	8.58	222
Le Landeron	3763	4229	4366	4318		4366	4	10.29	420
Marin-Epagnier	3883	3648	3924	4092		3924	4,5	3.37	1216
Thielle-Wavre	507	574	633	677		633	4	2.08	326
SOLOTHURN	229086	244015	246807	250240		2570			
Bezirk Bucheggberg	6304	7163	7193	7522		2570			
Balm bei Messen	91	113	114	102		114	1,6	2.17	47
Biezwil	249	290	306	320		306	1,6	4.18	77
Brunnenthal	147	193	207	194		207	1,6	0.90	217
Messen	686	973	992	1014		992	1,6	7.07	144
Schnottwil	752	947	951	1007		951	1,6	7.18	140
VAUD	577524	62094	639105	672039		6039			
District d'Avenches		31498	32246	33762		6039			
Avenches ⁸⁾	2540	2511	2522	2883		2522	3,4	17.55	164
Bellerive	472	538	573	598		573	3,4	2.24	268
Chabrey	167	201	213	240		213	3,4	3.95	61
Constantine	232	273	287	269		287	3,4	2.81	96

¹ Die Gefahrensektoren sind definiert in den "Zonenplänen für die Notfallplanung", siehe www.hsk.ch

KANTON Bezirk / Amt / Distrikt Gemeinde	Anzahl Einwohner ¹⁾								Gde- fläche in km ²	Bevölkeru- ngsdichte Einwohner /km ²
	Total	Total	Total	Total	in Zone 1	in Zone 2				
	1990	2000	2003	2007	2003	2003	Sektoren ¹			
Cudrefin ⁹⁾	729	865	924	1053		924	3,4	15.84		66
Faoug	509	567	595	688		595	3,4	3.46		199
Montmagny	129	165	166	174		166	3,4	3.81		46
Mur	141	170	186	195		186	3,4	1.78		110
Oleyres	221	234	225	220		225	3,4	1.91		115
Vallamand	219	332	348	382		348	3,4	2.35		163
Villars-le-Grand	265	286	288	285		288	3,4	4.22		68
TOTAL	540061	539765	547319	556902	2484	544835				

Quelle: Bundesamt für Statistik (BFS)

¹⁾ ständige Wohnbevölkerung am Jahresende

²⁾ seit 2004 aus Englisberg und Zimmerwald, Gemeindefusion

³⁾ seit 2004 aus Cormagens, La Corbaz und Lossy Formangueires, Gemeindefusion

⁴⁾ seit 2003 mit Dourtaman, Eingemeindung

⁵⁾ Eingemeindung von Kleingurmels (2000), Liebistorf und Wallenbuch (2003) und Cordast (2005)

⁶⁾ seit 1997 aus Comérod, Cournillens, Courtion und Misery, Gemeindefusion

⁷⁾ seit 2006 mit Agriswil, Eingemeindung

⁸⁾ seit 2006 mit Donatyre, Eingemeindung

⁹⁾ seit 2002 mit Champmartin Eingemeindung

3.1.2.2 Nächste Anwohner

Die nächstgelegene Besiedlung mit Wohnbevölkerung ist Chräjeberg. Die Siedlung wurde von den Bernischen Kraftwerken als Werksiedlung für das Personal des Wasserkraftwerkes resp. des späteren Kernkraftwerkes angelegt und liegt ca. 300 m östlich des EKKM (Reaktorgebäude). Rund 500 m südlich des Reaktorgebäudes liegt die ebenfalls von den Bernischen Kraftwerken angelegte Werksiedlung Buttenried. Nördlich des EKKM, in der Gemeinde Radelfingen, liegt der unbewohnte Bauernhof Talmatt, der vom Ort Oberruntigen bewirtschaftet wird, in einer Entfernung von ca. 500 m zum Reaktorgebäude. Nordöstlich des Standortes liegen in der Gemeinde Wohlen die Weiler Salvisberg und Wickacker je ca. 800 m entfernt. Der Dorfkern von Mühleberg ist etwa 1'600 m vom bestehenden KKM und rund 2'300 m vom EKKM entfernt. Die Ortschaft Oberruntigen liegt 1 km nördlich des geplanten Reaktorgebäudes. Die nahe Umgebung ist als wenig dicht besiedelt zu beurteilen.

¹ Die Gefahrensektoren sind definiert in den "Zonenplänen für die Notfallplanung", siehe www.hsk.ch

3.1.2.3 Bevölkerungsentwicklung in der Standortumgebung

Die Verteilung der Bevölkerung innerhalb der Zonen 1 und 2 erfuhr im Beurteilungszeitraum (1990-2007) keine wesentlichen Änderungen. In den letzten Jahren ist, nach einer Stagnation in den 1990er-Jahren, wieder ein Wachstum der Bevölkerung festzustellen.

Wird das Wachstum der Gemeinden der Zone 1 in den letzten 50 Jahren betrachtet, so ist ein grösseres Wachstum von 67% zu sehen. Allerdings ist dieses Wachstum vor allem auf die Gemeinde Wohlen zurückzuführen, deren Bevölkerung von ca. 3'000 auf ca. 9'000 Einwohner gewachsen ist. Hier sind die Suburbanisierungsprozesse am stärksten zu sehen, ein ausserordentlicher Anstieg in den 1970er-Jahren wurde durch die Überbauungen in Hinterkappelen verursacht. Die Zahlen für Mühleberg und Radelfingen zeigen keine deutlichen Suburbanisierungseffekte, seit den 1980er-Jahren ist die Einwohnerzahl gleichbleibend, mit leichten Schwankungen. Es erscheint daher plausibel, dass beide Gemeinden, genauso wie Seedorf, nicht mehr zur Agglomeration Bern gezählt werden. In Bern selbst ist die Bevölkerung seit 2000 nicht weiter zurückgegangen. Verglichen mit dem Kanton Bern ist allerdings das Bevölkerungswachstum im Kanton Fribourg deutlich höher, in der Periode 1990-2000 wuchs die Einwohnerzahl der Bezirke See und Sense um 22.4% resp. 13.3%, nur der Bezirk Aarberg hatte ein vergleichbares Wachstum von 10.4%. Im Amtsbezirk Bern war die Einwohnerzahl mit -3.4 % sogar rückläufig, das äussert sich auch in den Prognosen.

Bei den Prognosen kann zwischen dem Trendszenario und den Szenarien mit positiver und negativer Entwicklungsdynamik unterschieden werden. Das Trendszenario ist jenes Szenario, welches die künftige Entwicklung basierend auf den vorliegenden Zahlen am besten beschreibt. Im Trendszenario wird im Kanton Bern von einer bis 2030 weiterhin wachsenden Bevölkerung ausgegangen, die sukzessive abnehmenden Wachstumsraten schlagen in der Dekade 2030-40 in eine Bevölkerungsabnahme um. Für den Kanton Fribourg wird bis 2050 durchgehend von Zunahmen ausgegangen, die sich allerdings mit der Zeit abschwächen. Die Szenarien mit positiver oder negativer Entwicklungsdynamik liegen entsprechend im positiven Fall über den Wachstumsraten des Trendszenarios, im negativen Fall darunter. Für den erweiterten Umkreis (15 km) des EKKM wird mit einem Anstieg der Bevölkerung von 407'000 Einwohner (2000) auf 494'000 im Jahre 2050 gerechnet, was ca. 20% entspricht.

3.1.2.4 Beschäftigte

In Gemeinden mit Anteil an Zone 1 waren gemäss Betriebszählung von 2005 3'548 Personen beschäftigt. Die Gemeinde Mühleberg hat einen im Vergleich zur Wohnbevölkerung hohen Anteil an Beschäftigten, dort liegt die Beschäftigtenzahl über 30% der Einwohnerzahl. Einen wesentlichen Anteil daran hat das KKM, welches aktuell ca. 300 Personen beschäftigt. Der ebenfalls hohe Anteil an Beschäftigten im Verhältnis zur Einwohnerzahl von Seedorf liegt bei 30%, während in den restlichen Gemeinden der Zone 1 die Werte zwischen 10% und 20% liegen (Quelle: Betriebszählung 2005 des BFS).

Wie zu erwarten ist, hat auch Bern eine sehr hohe Beschäftigtenzahl, im Amtsbezirk Bern wurden 2005 187'996 Personen gezählt. Damit beträgt hier das Verhältnis zur Einwohnerzahl ca. 77%. Bern ist als Hauptort des Kantons Bern und als Bundesstadt der Schweiz das wichtigste administrative Zentrum der Schweiz. Die Agglomeration Bern hat dabei einen hohen Pendlerzustrom, bei 238'575 Arbeitsplätzen (2000) pendelten 67'412 Personen in die

Agglomeration, das entspricht 28.3%, damit hat Bern unter den 5 Grossagglomerationen der Schweiz den höchsten prozentualen Anteil an Zupendlern (Quelle: BFS). Wie in [41] dargelegt ist, wird für den erweiterten Umkreis des Standortes bis 2050 ein Wachstum der Beschäftigtenzahl von ca. 4% gegenüber 2008 erwartet, das ist ein eher schwacher Zuwachs.

3.1.2.5 Transiente Bevölkerung

Zusätzlich zur oben erwähnten stationären Bevölkerung (Einwohner) ist die sog. transiente Bevölkerung (Personen, die sich nur vorübergehend in der Umgebung des Standortes befinden) zu betrachten, weil auch diese von den möglichen Konsequenzen der Anlagenauslegung bzw. eines Anlagenereignisses betroffen sein könnten.

Es handelt sich hier um Personen in den Bereichen Bildung (Schulen), Gesundheit (Krankenhäuser) und Tourismus (Hotels). Die Verteilung dieser einzelnen Kategorien der transienten Bevölkerung in einem Umkreis von 20 km (Zonen 1 und 2) wird im Folgenden behandelt.

Bildung

Die berücksichtigten Schulen umfassen die Sekundarstufe II (Gymnasien, Fachmittelschulen und Berufsschulen) und die höhere Berufsbildung (höhere Fachschulen) sowie die Fachhochschulen und Universitäten. Die Verteilung der transienten Bevölkerung in der Kategorie "Bildung" wird in Tabelle 3.1-3 dargestellt.

Tabelle 3.1-3: Transiente Bevölkerung: Bildung (Stand 2007/2008)

Abstand	Kreissektor (30° Segment)												total
	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°	
0-3 km	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3-10 km	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10-20 km	1223	115	1835	42782	0	0	11874	0	0	0	500	5977	64306
0-10 km	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0-20 km	1223	115	1835	42782	0	0	11874	0	0	0	500	5977	64306

Die Sekundarstufe I ist nicht in dieser Verteilung inbegriffen. Der Anteil der Schüler der Sekundarstufe I aus der Standortgemeinde ist nahezu 100%, der Anteil von Schülern aus kleineren Nachbargemeinden ist unbedeutend (dies weil die Sekundarstufe I zur Volksschule gehört und somit in die Verantwortung der Gemeinde fällt).

Gesundheit

Zur Ermittlung dieser Kategorie der transienten Bevölkerung wurde die Anzahl der Betten multipliziert mit dem Durchschnitt der Bettenbelegung im Kanton Bern (91.7%). Dieser Wert eignet sich auch für die beiden Spitäler im Kanton Fribourg. Die Verteilung der transienten Bevölkerung in der Kategorie "Gesundheit" wird in Tabelle 3.1-4 dargestellt.

Tabelle 3.1-4: Transiente Bevölkerung: Gesundheit (Stand 2007)

Abstand	Kreissektor (30° Segment)												total
	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°	
0-3 km	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3-10 km	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11
10-20 km	0	0	143	2066	0	0	61	0	49	121	0	295	2735
0-10 km	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11
0-20 km	11	0	143	2066	0	0	61	0	49	121	0	295	2746

Tourismus

Die Zahlen für den Tourismus basieren auf der Beherbergungsstatistik für die Logiernächte (Anzahl Betten und Belegung). Für die Standorte der Campingplätze wurden die Rasterdaten des Bundesamtes für Statistik berechnet. Als Basis für die Belegung wurde die mittlere Anzahl der Logiernächte für die Schweiz verwendet. Die Verteilung der transienten Bevölkerung in der Kategorie "Tourismus" wird in Tabelle 3.1-5 dargestellt.

Tabelle 3.1-5: Transiente Bevölkerung: Tourismus (Stand 2008)

Abstand	Kreissektor (30° Segment)												total
	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°	
0-3 km	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	4
3-10 km	30	0	0	93	0	22	8	6	0	9	13	0	181
10-20 km	96	16	135	1909	5	34	248	148	359	181	655	406	4192
0-10 km	30	0	0	93	0	22	12	6	0	9	13	0	185
0-20 km	126	16	135	2002	5	56	260	154	359	190	668	406	4377

Gesamtbild der transienten Bevölkerung

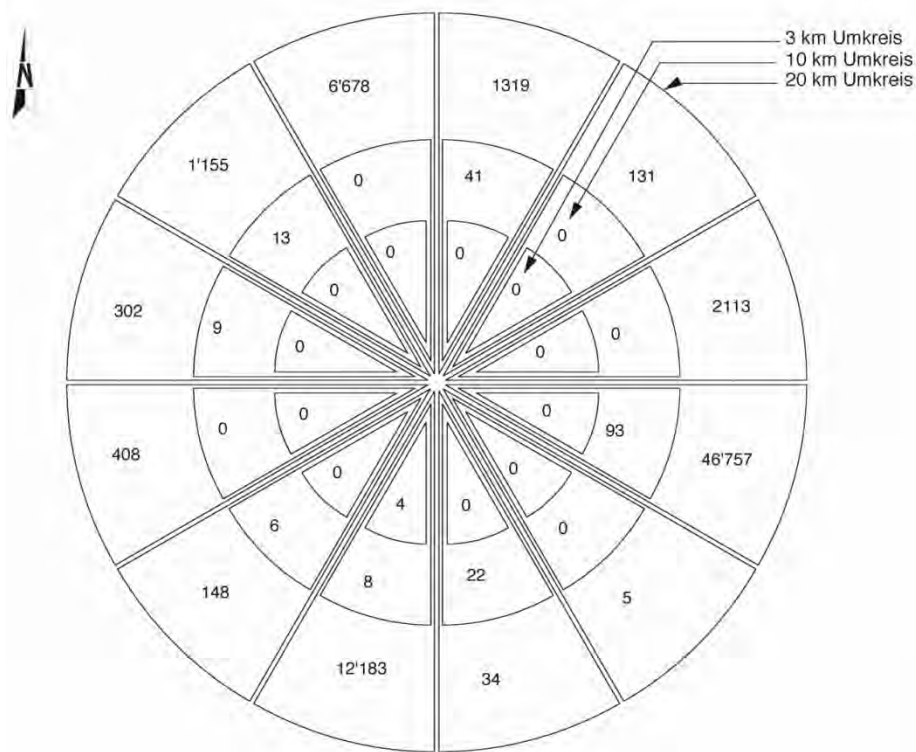
Die drei Kategorien der transienten Bevölkerung zeigen eine differenzierte Verteilung in der Region 20 km um den Standort (Zone 1 und 2). Bildungseinrichtungen und Kliniken sind fast ausschliesslich im Abstand zwischen 10 und 20 km zu finden und die Städte Bern, Fribourg und Biel treten deutlich hervor (siehe Tabelle 3.1-3 und Tabelle 3.1-4). Die Tourismuseinrichtungen (Hotels) sind gleichmässiger verteilt; die Städte sind aus den Daten weniger deutlich herauszulesen: Viele Hotels befinden sich in den Agglomerationen (Tabelle 3.1-5).

Die Summe aller Kategorien der transienten Bevölkerung (siehe Tabelle 3.1-6 und Abbildung 3.1-1) wird geprägt von den Studentenzahlen der Städte Bern, Fribourg und Biel. In den übrigen Gebieten ist die Anzahl der anwesenden Personen jeweils eher gering.

Tabelle 3.1-6: Transiente Bevölkerung, alle Kategorien

Abstand	Kreissektor (30° Segment)												total
	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°	
0-3 km	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	4
3-10 km	41	0	0	93	0	22	8	6	0	9	13	0	192
10-20 km	1319	131	2113	46757	5	34	12183	148	408	302	1155	6678	71233
0-10 km	41	0	0	93	0	22	12	6	0	9	13	0	196
0-20 km	1360	131	2113	46850	5	56	12195	154	408	311	1168	6678	71429

Abbildung 3.1-1 : Grafische Darstellung der gesamten transienten Bevölkerung pro Kreissektor von 30°



3.1.2.6 Bewertung

Das Einrichten eines Sperrbereichs rund um den Standort einer Kernanlage ist in kleinen Ländern wie der Schweiz nicht durchführbar: Die sehr hohen Sicherheitsanforderungen zur Auslegung und zum Betrieb stellen sicher, dass Störfälle resp. deren mögliche Auswirkungen in der Standortumgebung verhindert resp. begrenzt werden. Dichte und Verteilung der Bevölkerung haben daher keine besonderen Konsequenzen für die Auslegung der neuen Anlage.

Die Bevölkerungsdichte in der nahen Umgebung einer Kernanlage sollte jedoch möglichst niedrig sein ("Low Population Zone"), um die Auswirkungen einer Freisetzung von Radioaktivität so gering wie möglich zu halten und Notfallschutzmassnahmen effektiv durchführen zu können. Verglichen mit der mittleren Bevölkerungsdichte von ca. 400 Einwohner/km² im Schweizerischen Mittelland ist die Bevölkerungsdichte in Standortumgebung niedrig (siehe Tabelle 3.1-2); gerade die Standortgemeinden haben eine sehr niedrige Bevölkerungsdichte. Der Standort Niederruntigen befindet sich somit in einer so genannten "Muldenlage" (lokales Minimum der Bevölkerungsdichte), dies ist für einen KKW-Standort prinzipiell vorteilhaft.

Bau und Betrieb einer Kernanlage sind daher hinsichtlich der Bevölkerungsverteilung in Standortnähe unproblematisch: Der nähere Umkreis ist dünn besiedelt, es sind daher wenige Einwohner von den Baumassnahmen zur Erstellung des Kraftwerkes betroffen, und während des Betriebes ist die Notfallplanung (siehe Kap. 2.6) erleichtert. Im weiteren Umkreis werden für das Schweizerische Mittelland typische Bevölkerungsdichten erreicht, dies hat keine negativen Auswirkungen auf die Standorteignung.

Die Beschäftigungsverhältnisse in der Region sind für die Standorteignung wenig relevant, die Attraktivität der Region Bern ermöglicht eine vereinfachte Akquirierung von qualifizierten Arbeitskräften für den Betrieb des Kraftwerkes. Umgekehrt ist für die Wirtschaft der Region Bern nicht primär der Beschäftigungseffekt des Kraftwerkes relevant, sondern die Versorgungssicherheit.

Die Bevölkerung in der Standortumgebung wird durch Begleitgruppen in den Planungsprozess eingebunden, um die Transparenz zu erhöhen und – wo möglich – die Bedürfnisse der Anwohner in die Planung einfließen zu lassen.

Im Umkreis des Standortes fällt die transiente Bevölkerung, im Vergleich zur stationären Bevölkerung, nicht ins Gewicht. In der Zone 1 (Radius 2.8 km) ist die Zahl der transienten Bevölkerung vernachlässigbar klein.

3.1.3 Bodennutzung

Die Bodennutzung der einzelnen Gemeinden ist in Tabelle 3.1-7 aufgeführt, diese ist in gleicher Weise wie Tabelle 3.1-2 gegliedert, sodass auch hier die äusseren Abgrenzungen der Gemeinden am 20 km-Kreis auf den Sektorengrenzen im Dokument "Zonenpläne für Notfallplanung" basieren (siehe Kap. 2.6). Dabei sind bestockte Flächen ein Begriff unter den vor allem Waldflächen inklusive Gebüschwald und Gehölze fallen, unproduktive Flächen können stehende und fliessende Gewässer sowie vegetationsfreie Flächen und unproduktive Vegetation sein. Zu Siedlungsflächen zählen neben überbautem Industrie- und Siedlungsareal auch Verkehrsflächen und Erholungs- und Grünanlagen. Siedlungsflächen nehmen aktuell 15.3% der Bodenbedeckung der Gemeinden im 20 km Umkreis ein. Der Boden im Umkreis von 20 km zum geplanten EKKM wird hauptsächlich landwirtschaftlich genutzt (ca. 56%). Ein ziemlich grosser Teil (ca. 26%) des Gebietes ist bewaldet. In der näheren Umgebung des Standortes wird vorwiegend Wechselwirtschaft (Acker - Wiese) betrieben. Die Anbau- und Weideflächen sind durch kleinere Waldflächen unterbrochen. Grosse Gemüseanbauflächen befinden sich im Bezirk Erlach – der grösste Teil davon etwa 10 km vom Standort entfernt – in den Gemeinden Müntschemier, Treiten und Finsterhennen.

Wenn der nähere Umkreis betrachtet wird – also die Gemeinden, die ganz oder teilweise in Zone 1 liegen – dann bestätigt sich das subjektive Bild einer landwirtschaftlich geprägten Gegend mit geringer Besiedlungsdichte, welches bei einem Besuch des Standortes entsteht und das sich auch in den Bevölkerungszahlen widerspiegelt. Der Anteil der Siedlungsflächen des näheren Umkreises liegt bei 8.4%, jener der landwirtschaftlichen Flächen liegt ähnlich wie im weiteren Umkreis, bei 56.9%. Dafür nehmen die Waldflächen mit 31% und die unproduktiven Flächen mit 3.7% einen grösseren Anteil ein. Aare, Saane und Wohlensee sind für die Fischerei von Bedeutung.

Tabelle 3.1-7: Bodennutzung im Umkreis von 20 km vom Standort nach 4 Hauptbereichen, Zahlen der aktuellen Erhebung 2004/09

KANTON Bezirk / Amt / District Gemeinde	Gesamt- fläche ¹⁾	Siedlungs- flächen ²⁾	Landwirtschaft- liche Flächen ³⁾	Bestockte Flächen	Unproduktive Flächen
	ha	in %	in %	in %	in %
BERN					
Amt Aarberg					
Aarberg	792	23.48	44.32	29.55	2.65
Bargen	789	6.97	70.47	18.63	3.93
Grossaffoltern	1510	10.86	62.32	26.03	0.79
Kallnach	1062	9.04	75.80	12.62	2.54
Kappelen	1088	10.94	73.90	14.34	0.83
Lyss	1178	35.57	30.22	33.79	0.42
Meikirch	1026	9.36	64.04	26.51	0.10
Niederried	455	5.27	53.19	36.48	5.05
Radelfingen	1472	6.73	57.81	31.45	4.01
Rapperswil	1820	8.63	62.64	28.63	0.11
Schüpfen	1980	10.76	55.81	32.93	0.51
Seedorf	2094	7.69	59.60	32.43	0.29
Amt Bern					
Bern	5159	45.07	18.98	33.59	2.36
Bolligen	1656	12.38	43.30	44.02	0.30
Bremgarten	188	46.28	32.45	16.49	4.79
Ittigen	421	60.33	24.47	14.25	0.95
Kirchlindach	1192	8.47	66.86	23.74	0.92
Köniz	5108	18.38	50.47	30.79	0.35
Muri	765	49.54	26.14	21.83	2.48
Oberbalm	1235	4.62	74.33	20.89	0.16
Ostermundigen	598	42.64	31.77	25.42	0.17
Stettlen	355	22.25	50.99	26.48	0.28
Wohlen	3622	8.34	54.69	32.69	4.28

KANTON Bezirk / Amt / District Gemeinde	Gesamt- fläche ¹⁾	Siedlungs- flächen ²⁾	Landwirtschaft- liche Flächen ³⁾	Bestockte Flächen	Unproduktive Flächen
	ha	in %	in %	in %	in %
Zollikofen	541	41.96	44.18	12.57	1.29
Amt Biel					
Biel / Bienne	2125	45.41	8.00	45.32	1.27
Leubringen / Evillard	364	29.40	30.22	40.38	0.00
Amt Büren					
Büetigen	362	9.94	62.71	26.52	0.83
Busswil	307	19.54	51.14	28.34	0.98
Diessbach	628	7.80	59.87	32.32	0.00
Dotzigen	422	14.93	55.69	26.07	3.32
Meienried	67	2.99	70.15	16.42	10.45
Wengi	706	7.65	72.95	16.71	2.69
Amt Erlach					
Erlach	345	15.36	44.64	28.12	11.88
Brüttelen	661	7.11	69.89	22.39	0.61
Finsterhennen	357	11.20	71.43	15.97	1.40
Gals	791	8.09	52.97	33.75	5.18
Gampelen	1080	10.74	56.85	25.09	7.31
Ins	2390	9.54	66.65	20.96	2.85
Lüscherz	543	7.73	44.57	46.04	1.66
Müntschemier	488	18.65	77.87	1.84	1.64
Siselen	553	7.05	73.78	18.63	0.54
Treiten	474	8.23	73.00	17.09	1.69
Tschugg	332	10.84	43.98	44.88	0.30
Vinelz	463	13.82	50.97	34.99	0.22
Amt Fraubrunnen					
Ballmoos	147	3.40	72.79	22.45	1.36

KANTON Bezirk / Amt / District Gemeinde	Gesamt- fläche ¹⁾	Siedlungs- flächen ²⁾	Landwirtschaft- liche Flächen ³⁾	Bestockte Flächen	Unproduktive Flächen
	ha	in %	in %	in %	in %
Bangerten	220	6.36	61.82	31.82	0.00
Deisswil	213	14.08	60.56	25.35	0.00
Diemerswil	281	6.05	74.02	19.93	0.00
Iffwil	503	7.95	55.47	36.58	0.00
Moosseedorf	632	30.54	30.22	35.92	3.32
Münchenbuchsee	890	34.27	38.43	26.97	0.34
Scheunen	219	3.20	45.66	51.14	0.00
Urtenen	716	20.25	44.41	30.31	5.03
Wiggiswil	143	16.78	68.53	12.59	2.10
Zuzwil	348	7.47	66.38	25.86	0.29
Amt Laupen					
Laupen	408	25.74	38.97	30.15	5.15
Clavaleyres	98	4.08	79.59	16.33	0.00
Ferenbalm	923	11.38	67.93	18.96	1.73
Frauenkappelen	929	6.78	42.20	41.01	10.01
Golaten	278	8.27	51.44	20.50	19.78
Gurbrü	183	19.13	71.04	9.84	0.00
Kriechenwil	476	5.46	54.41	39.92	0.21
Mühleberg	2629	9.21	53.33	32.83	4.64
Münchenwiler	247	11.74	65.99	21.05	1.21
Neuenegg	2196	8.97	52.32	38.02	0.68
Wileroltigen	411	6.57	62.04	28.71	2.68
District La Neuveville					
La Neuveville	681	18.36	18.50	62.70	0.44
Prêles	701	10.41	62.34	26.96	0.29

KANTON Bezirk / Amt / District Gemeinde	Gesamt- fläche ¹⁾	Siedlungs- flächen ²⁾	Landwirtschaft- liche Flächen ³⁾	Bestockte Flächen	Unproduktive Flächen
	ha	in %	in %	in %	in %
Amt Nidau					
Nidau	152	84.21	0.00	3.95	11.84
Aegerten	216	29.17	37.50	28.24	5.09
Bellmund	381	14.70	51.97	33.07	0.26
Brügg	501	34.33	29.54	31.54	4.59
Bühl	298	7.05	88.93	3.36	0.67
Epsach	341	6.45	77.71	14.08	1.76
Hagneck	181	12.71	66.30	12.71	8.29
Hermrigen	345	7.54	50.14	42.03	0.29
Ipsach	460	7.39	69.57	22.83	0.22
Jens	190	50.53	45.26	3.68	0.53
Ligerz	178	12.92	32.02	51.12	3.93
Merzligen	226	10.62	72.12	16.81	0.44
Mörigen	216	21.30	59.26	16.67	2.78
Orpund	395	20.76	39.24	37.47	2.53
Port	243	41.15	25.51	29.22	4.12
Scheuren	210	10.48	55.71	25.71	8.10
Schwadernau	412	10.19	74.27	14.56	0.97
Studen	270	42.22	38.89	18.15	0.74
Sutz-Lattrigen	361	21.33	44.04	31.58	3.05
Täuffelen	440	23.41	59.77	10.68	6.14
Tüscherz-Alfermée	332	7.53	7.53	84.64	0.30
Twann	909	8.25	30.03	57.76	3.96
Walperswil	699	9.59	76.82	7.73	5.87
Worben	279	29.39	62.37	7.53	0.72

KANTON Bezirk / Amt / District Gemeinde	Gesamt- fläche ¹⁾	Siedlungs- flächen ²⁾	Landwirtschaft- liche Flächen ³⁾	Bestockte Flächen	Unproduktive Flächen
	ha	in %	in %	in %	in %
Amt Schwarzenburg					
Albligen	428	7.48	56.31	34.81	1.40
Wahlern	4054	7.87	62.78	27.18	2.17
Amt Seftigen					
Belp	1761	17.04	54.74	25.16	3.07
Kehrsatz	443	21.22	54.63	22.35	1.81
Niedermuhlern	720	6.11	75.83	18.06	0.00
Rüeggisberg	3570	4.34	64.29	29.55	1.82
Wald (BE)	1328	6.25	74.55	19.20	0.00
FRIBOURG					
District La Sarine					
Fribourg	932	63.20	13.41	16.95	6.44
Granges-Paccot	398	31.16	45.73	15.33	7.79
La Sonnaz	690	7.39	66.38	22.17	4.06
See-Bezirk					
Barberêche	913	5.70	59.91	19.93	14.46
Büchslen	161	8.70	78.26	13.04	0.00
Courgevaux	341	15.84	57.48	26.10	0.59
Courlevon	327	5.20	57.19	37.61	0.00
Courtepin	408	25.49	46.32	27.70	0.49
Cressier (FR)	415	10.84	69.40	19.52	0.24
Fräschels	314	10.51	71.34	17.20	0.96
Galmiz	905	7.85	70.61	18.67	2.87
Gempenach	166	6.02	75.30	18.67	0.00
Greng	101	13.86	73.27	9.90	2.97
Gurmels	1721	10.40	68.91	20.05	0.64

KANTON Bezirk / Amt / District Gemeinde	Gesamt- fläche ¹⁾	Siedlungs- flächen ²⁾	Landwirtschaft- liche Flächen ³⁾	Bestockte Flächen	Unproduktive Flächen
	ha	in %	in %	in %	in %
Jeuss	177	8.47	80.23	10.73	0.56
Kerzers	1222	15.96	68.58	14.81	0.65
Kleinbösing	301	9.30	64.78	20.93	4.98
Lurtigen	230	6.09	60.00	33.91	0.00
Meyriez	33	90.91	3.03	0.00	6.06
Misery-Courtion	1143	7.17	75.24	17.32	0.26
Muntelier	113	36.28	26.55	33.63	3.54
Murten	1201	21.65	51.54	26.31	0.50
Ried bei Kerzers	757	11.89	80.45	7.13	0.53
Salvenach	384	7.81	69.53	22.66	0.00
Ulmiz	286	6.64	67.48	25.87	0.00
Villarepos	472	8.05	58.05	33.90	0.00
Bas-Vully	995	13.77	70.15	12.56	3.52
Haut-Vully	757	13.08	70.54	13.21	3.17
Wallenried	388	20.88	61.60	17.27	0.26
Sense-Bezirk					
Alterswil	1608	6.59	76.55	16.23	0.62
Bösing	1432	9.29	75.21	14.73	0.77
Düdingen	3082	12.43	67.42	13.24	6.91
Heitenried	905	6.74	73.59	18.67	0.99
Schmiten	1355	13.14	72.10	14.39	0.37
St. Antoni	1685	7.48	72.40	18.99	1.13
Tafers	837	14.93	63.68	21.27	0.12
Ueberstorf	1613	7.44	72.72	18.54	1.30
Wünnewil-Flamatt	1321	19.38	63.13	16.96	0.53

KANTON Bezirk / Amt / District Gemeinde	Gesamt- fläche ¹⁾	Siedlungs- flächen ²⁾	Landwirtschaft- liche Flächen ³⁾	Bestockte Flächen	Unproduktive Flächen
	ha	in %	in %	in %	in %
NEUCHÂTEL					
District de Neuchâtel					
Cornaux	472	31.14	45.76	22.25	0.85
Cressier	860	15.93	27.91	54.30	1.86
Le Landeron	1026	15.20	39.67	43.47	1.66
Marin-Epagnier	337	46.29	32.64	12.76	8.31
Thielle-Wavre	207	21.26	74.88	0.97	2.90
SOLOTHURN					
Bezirk Bucheggberg					
Balm bei Messen	216	7.41	60.19	32.41	0.00
Biezwil	418	6.70	51.91	41.39	0.00
Brunnenthal	91	14.29	74.73	9.89	1.10
Messen	705	6.95	63.26	29.36	0.43
Schnottwil	717	8.65	59.00	32.22	0.14
VAUD					
District d'Avenches					
Avenches	1753	19.62	63.49	15.86	1.03
Bellerive	221	23.53	62.90	9.95	3.62
Chabrey	394	7.61	43.91	36.55	11.93
Constantine	281	14.95	68.68	14.23	2.14
Cudrefin	1586	8.01	60.59	22.70	8.70
Faug	347	19.60	54.76	25.07	0.58
Montmagny	382	4.45	72.51	21.20	1.83
Mur	177	14.69	75.14	9.04	1.13
Oleyres	190	7.37	70.53	22.11	0.00
Vallamand	235	19.57	57.02	22.13	1.28

KANTON Bezirk / Amt / District Gemeinde	Gesamt- fläche ¹⁾	Siedlungs- flächen ²⁾	Landwirtschaft- liche Flächen ³⁾	Bestockte Flächen	Unproduktive Flächen
	ha	in %	in %	in %	in %
Villars-le-Grand	424	8.25	86.79	3.07	1.89
Total	125'703	15.29	56.29	26.2	2.23

Quelle: Bundesamt für Statistik (BFS)

¹⁾ Punktfächen (statistische Angabe, entspricht nicht der amtlichen Vermessung)

²⁾ Die Siedlungsflächen umfassen: Gebäude- und Industriareale, besondere Siedlungsflächen, Erholungs- und Grünanlagen, Verkehrsflächen

³⁾ Die landwirtschaftlichen Nutzflächen umfassen: Wiesen- und Ackerland, Obstbau, Rebbau und Gartenbau

⁴⁾ Die bestockten Flächen umfassen: Wald, Gebüschwald und Gehölze

⁵⁾ Die unproduktiven Flächen umfassen: Stehende Gewässer, Fließgewässer, unproduktive Vegetation und vegetationslose Flächen

3.1.3.1 Bodennutzungsentwicklung in der Standortumgebung

Die Entwicklung der Bodennutzung in der Umgebung des Standortes ist in Tabelle 3.1-8 gezeigt. Der Trend, dass die Siedlungsflächen sich in den letzten Jahren ausgedehnt haben, ist deutlich erkennbar. Die Zunahme um ca. 2.5% der Gesamtfläche geht zu Lasten der Landwirtschaftsflächen, welche um dieselbe Zahl abgenommen haben. Die Siedlungsfläche hat sich im betrachteten Gebiet seit Anfang der 1980er-Jahre um 3'100 ha vergrößert. Der Anteil der Waldflächen und unproduktiven Flächen ist mit 26.2% und 2.2% konstant geblieben.

Tabelle 3.1-8: Entwicklung der vier Hauptklassen der Bodennutzung im Umkreis (20 km) des Standortes

	1979/85	1992/97	2004/09
Siedlungsflächen	12.80%	14.13%	15.29%
Landwirtschaftsflächen	58.89%	57.44%	56.29%
Bestockte Flächen	26.07%	26.21%	26.20%
Unproduktive Flächen	2.24%	2.22%	2.23%

Quelle: Bundesamt für Statistik (BFS)

Es ist zu erwarten, dass die beobachtete Entwicklung weiter fortschreitet und sich der Anteil der Siedlungsflächen vergrößert und der Anteil der landwirtschaftlich genutzten Fläche kleiner wird.

3.1.3.2 Bewertung

Der Standort und die Standortumgebung sind hinsichtlich Bodennutzung für den Bau und den Betrieb einer Kernanlage geeignet. In dem dünn besiedelten Raum mit vorwiegender landwirtschaftlicher Nutzung sind nur wenige Nutzungskonflikte zu erwarten, zumal die BKW AG Eigentümerin der im Rahmen des Neubaus permanent zu bebauenden Flächen ist. Der Einbezug der raumplanerischen Instrumente und die Berücksichtigung der Einflüsse des Projektes auf die Umwelt sind in separaten Berichten des Rahmenbewilligungsgesuches [41] und [33] behandelt.

3.2 Verkehrswege, industrielle Anlagen

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

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

- Industrieanlagen (Kap. 3.2.1)
- Militärische Anlagen (Kap. 3.2.2)
- Erdgashochdruckanlagen (Kap. 3.2.3)
- Transportwege (Kap. 3.2.4)
- Propangastransporte auf Strasse oder Schiene (Kap. 3.2.5)
- Benzintransporte auf Strasse oder Schiene (Kap. 3.2.6)
- Chlorgastransporte auf Strasse oder Schiene (Kap. 3.2.7)
- Luftverkehr (Kap. 3.2.4.3).

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

3.2.1 Industrieanlagen

Im Umkreis von ca. 2 km des Standortes des EKKM befinden sich ausser dem Wasserkraftwerk Mühleberg und dem KKM keine anderen industriellen Betriebe.

Im Ort Mühleberg befindet sich eine Tankstelle in 2.2 km Entfernung vom Standort. In den umliegenden Ortschaften sind Kleingewerbebetriebe ansässig. In 2.3 km Entfernung östlich des Standortes befindet sich die Deponie Teuftal, in der gegenwärtig Schlacken (aus der Kehrichtverbrennung), Feststoff- und Reaktorabfälle deponiert werden. Die in der Deponie entstehenden Gase werden in einem Blockheizkraftwerk mit 180 kW verbrannt. Die Deponiekapazität wird voraussichtlich im Jahr 2035 erreicht werden.

Die nächsten grösseren Gewerbebezonen liegen in je ca. 7 km Entfernung in Aarberg (Chräjeninsel, 50'000 m²), Kerzers und Bern. In Aarberg ist eine grössere Zuckerfabrik ansässig. Das nächstgelegene Industriequartier Berns ist Gumme (Bern-Brünnen), dort sind ein technisches Zentrum der Swisscom, eine zentrale Verteilstelle der Coop Supermarktkette inkl. eigener Kehrichtverbrennungsanlage und die Schokoladenfabrik Tobler von Suchard ansässig. Östlich schliesst das im Jahr 2008 eröffnete Einkaufszentrum Westside an. In 8.5 km Entfernung in Niederwangen befindet sich die Schweizer Zentrale von Cruzell, dort werden Impfstoffe hergestellt. Ein weiterer Grossbetrieb in 8.5 km Entfernung ist das Produktionszentrum von Wander in Neueneegg.

Wie aus der Beschreibung zu sehen ist, bedeuten diese umliegenden Industriebetriebe für den Standort keine Gefährdung. Ausser den beiden Stromproduktionsanlagen der BKW befinden sich keine Industriebetriebe in näherer Umgebung; die oben erwähnten Industriezonen liegen bereits in grösserer Entfernung vom Standort, sodass keine Interaktionen mit dem geplanten

Kernkraftwerk zu erwarten sind. Somit gibt es für die Auslegung der neuen Anlage bzgl. Gefährdung durch Industriebetriebe keine Konsequenzen.

Auch für die Zukunft ist nicht zu erwarten, dass Gewerbegebiete in unmittelbarer Standortnähe entstehen.

Das Kantonale Laboratorium Bern bestätigt, dass ausser dem Kernkraftwerk und dem Wasserkraftwerk keine ihnen bekannten relevanten Gefahrenpotentiale im Kantonalen Risikokataster mit möglichen Auswirkungen von Ereignissen auf das EKKM erfasst sind. Nicht im Risikokataster erfasst sind geheime Anlagen des VBS.

Eine Gefährdung durch industrielle Anlagen in der Umgebung des Standortes EKKM kann somit ausgeschlossen werden. Die mögliche Gefährdung durch das Wasserkraftwerk Mühleberg wird in Kap. 3.2.1.1 beschrieben; die Beschreibung der möglichen Gefährdung durch militärische Anlagen ist in Kap. 3.2.2 enthalten. Für die Bewertung der möglichen gegenseitigen Einwirkungen zwischen dem EKKM und dem bestehendem KKM siehe Kap. 3.6.4¹.

Für das EKKM ist ein Hybridkühlturm geplant. Kühlwasser, das für den Hauptkühlkreislauf aus der Aare entnommen wird, wird vor der Verwendung im Hybridkühlturm durch eine Wasseraufbereitungsanlage gereinigt. Eine eventuelle industrielle Verschmutzung des Flusswassers hätte entsprechend keine Auswirkungen auf die Kühlleistung.

3.2.1.1 Wasserkraftwerk Mühleberg

Das Wasserkraftwerk Mühleberg der BKW befindet sich in Standortnähe, es kann daher zu gegenseitigen Einwirkungen kommen.

Die Konzession für das Wasserkraftwerk läuft 2017 aus. Im Zuge einer Konzessionserneuerung wird es zu baulichen Massnahmen kommen, insbesondere Turbinen und Generatoren stossen dann an ihr Lebenszeitende und müssen erneuert werden. Eine allenfalls notwendige Koordination von Bauarbeiten am Wasserkraftwerk und Vorarbeiten für das EKKM wird seitens der BKW-FMB AG erfolgen.

Neben den möglichen Auswirkungen eines vollständigen Bruches des Staumauers, die in Kap. 3.4.3.3 beschrieben sind, gibt es folgende mögliche Einwirkungen:

- Freisetzung von Chemikalien, insbesondere Schmiermittel, Brenn- und Treibstoffe
- Blockierung von Zufahrtswegen bei Grosstransporten.

Im Wasserkraftwerk lagern nur Kleinmengen an Chemikalien, die für den Betrieb und Unterhalt des Kraftwerkes notwendig sind. Die Lagerung von Chemikalien unterliegt strengen Auflagen, es wird strikte darauf geachtet, dass keine Öle und Brenn- und Treibstoffe in die Umwelt gelangen. Die Wahrscheinlichkeit, dass Chemikalien ins Wasser gelangen und den Kühlwasserbetrieb des EKKM beeinträchtigen, ist daher vernachlässigbar klein.

¹ Die BKW ist bestrebt, das bestehende KKM nach Inbetriebnahme des EKKM 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 BKW und die am EKKM beteiligten Partner in der ersten Phase nach Inbetriebnahme des EKKM weiterhin gewährleisten zu können.

Eine Blockade von Zufahrtswegen des Wasserkraftwerkes ist hingegen vor allem beim Transport von Grosskomponenten für den Bau des EKKM zu erwarten. Am Wasserkraftwerk werden Grosskomponenten wie z.B. Generatoren nur in sehr grossen Zeitabständen (Jahrzehnte) gewartet oder ausgetauscht. Eine Abstimmung für Bau- und Revisionsphasen beider Kraftwerke wird von den Betreibern erfolgen. Es wird ebenfalls darauf geachtet werden, dass die Zufahrt für Rettungskräfte immer möglich ist.

3.2.2 Militärische Anlagen

Waffenplätze, Schiessplätze, Militärflugplätze und Übersetzstellen sind im Sachplan Militär SPM¹ aufgelistet. Daraus geht hervor, dass sich gegenwärtig in der unmittelbaren Umgebung des Standortes keine für die Sicherheit relevanten militärischen Anlagen befinden; in unmittelbarer Nähe des geplanten EKKM befindet sich lediglich eine militärische Übersetzstelle (Nr. 1301.425 Mühleberg / KKW, siehe auch [33] und [41]). Für Einzelheiten zu militärischen Standorten wird auf die zuständigen Bundesbehörden verwiesen: gemäss Bundesgesetz über den Schutz militärischer Anlagen [30] ist es verboten, Beschreibungen und Berichte über militärische Anlagen in- und ausserhalb der Schweiz ohne Bewilligung zu veröffentlichen oder in Verkehr zu bringen.

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 EKKM.

Im Rahmen des Gesuches zur Baubewilligung werden die o.g. Aussagen aktualisiert, und allfällige Gefährdungen aufgrund der genannten Übersetzstelle untersucht werden.

3.2.3 Auswirkungen von Störfällen an Erdgashochdruckanlagen

3.2.3.1 Erdgashochdruckleitungen

Im weiteren Umkreis des Standortes EKKM verlaufen zwei 70 bar Leitungen des Schweizerischen Erdgastransportnetzes [41]. Die nächstgelegene Gasleitung von Altavilla-Mülchi via Bern-Forsthaus und Laupen (Nennweite 16'') verläuft etwa 4.5 km südlich des Standortes; die Leitung Altavilla- Mülchi via Walperswil (Nennweite 24'') verläuft westlich und nördlich des Standortes und nähert sich bis auf 6.5 km. Beide Gasleitungen liegen hinter Hügelzügen.

3.2.3.1.1 Massgebende Störfallszenarien

Gemäss Rahmenbericht "Sicherheit von Erdgas-Hochdruckanlagen" [87] ist an Erdgashochdruckleitungen 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. 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.

¹ <http://www2.vbs.admin.ch/internet/gs/raum/spm/deutsch/planungbund/spm/index.html>

Erfolgt eine Zündung des Gases, dann entsteht ein Fackelbrand oder bei sofortiger Zündung ein Feuerball (Maximalereignis). Der Feuerball hält 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.

Beim Totalversagen einer Erdgashochdruckleitung ohne Zündung kühlt sich das Gas durch Expansion auf Normaldruck ab, erwärmt sich jedoch durch Vermischung mit der Umgebungsluft rasch auf die Umgebungstemperatur. Die Dichte des Erdgas- / Luft-Gemisches ist dabei annähernd gleich der Dichte der Umgebungsluft, so dass sich kein Schweregas bildet.

3.2.3.1.2 Folgen für die Bevölkerung und Umwelt

Der Standort EKKM ist 4.5 km Kilometer von der nächstgelegenen 16"/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 Rahmenbericht "Sicherheit von Erdgas-Hochdruckanlagen" [87] berechnet.

Berechnungen gemäss diesem Rahmenbericht ergeben für die 16"/70 bar Leitung eine maximale Gefährdungsdistanz für Personen im Freien (R_1 Feuerball) von ca. 140 m.

3.2.3.2 Druckreduzier- und Messstationen (DRM-Stationen)

Gemäss den Überlegungen im [87] können bei einer DRM-Station die zwei Störfallszenarien Totalversagen der Zuleitung mit Brand und Explosion auftreten. Die Wirkungsdistancen für das Szenario Explosion (Druckwelle) sind viel kleiner als die der Brandszenarien. Deshalb sind im Allgemeinen nur die Brandszenarien relevant. Insofern sind mit Berücksichtigung der Erdgashochdruckleitung indirekt auch die Gefahren einer DRM-Station erfasst. Deshalb müssen DRM-Stationen nicht gesondert berücksichtigt werden.

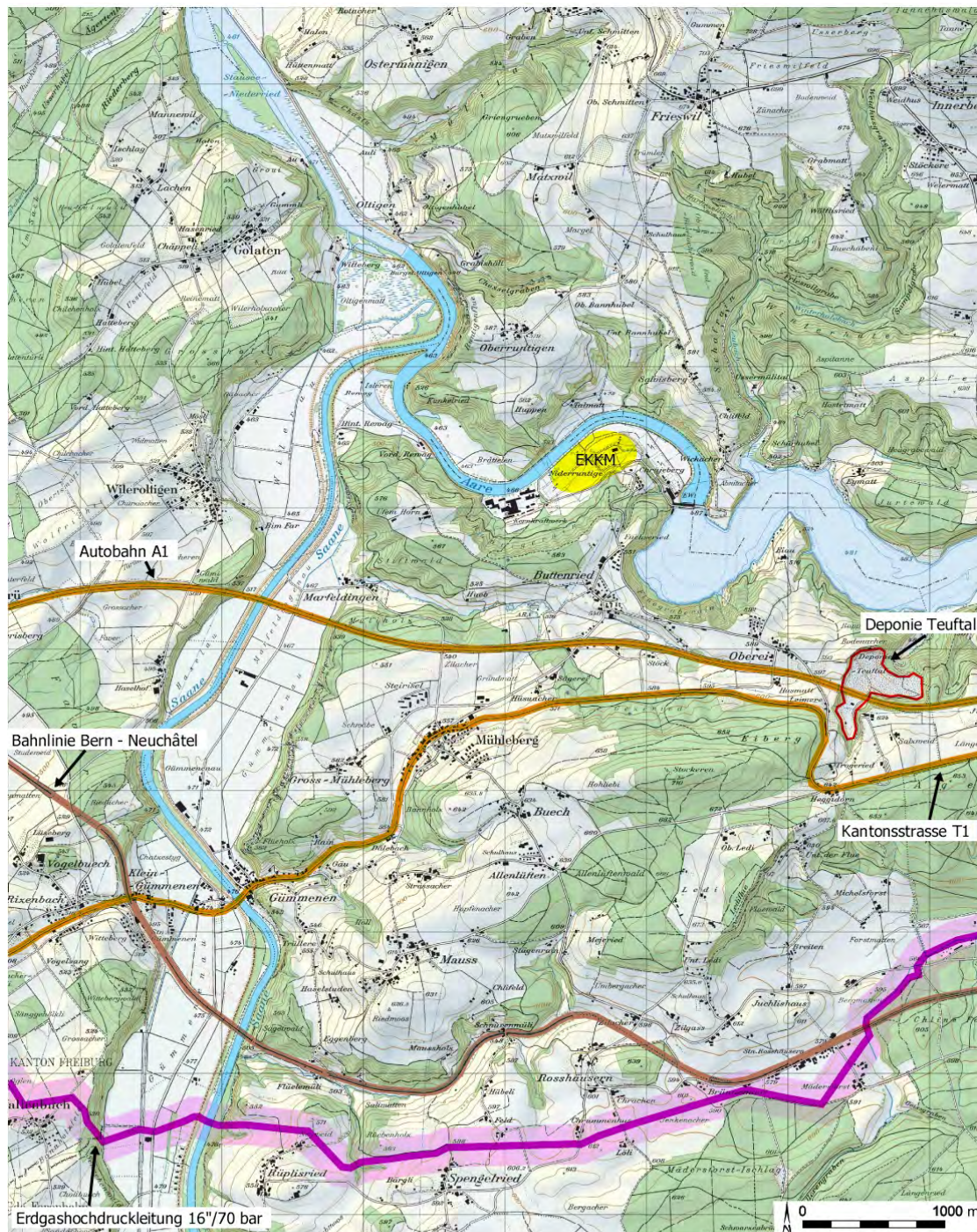
3.2.3.3 Beurteilung für den Standort EKKM

Der Standort EKKM liegt mit einer Entfernung von 4.5 km von der nächstgelegenen 16"/70 bar Leitung weit ausserhalb des grössten Letalitätsradius R_1 (Feuerball) für Personen im Freien, welcher gemäss [87] ca. 140 m beträgt (siehe Abbildung 3.2-1).

In der Schweiz betragen die grössten vorkommenden Gefahrenradien (48"/70 bar Leitung) nach 1997 [87] ca. 390 m (R_1 Feuerball Personen im Freien). Damit erübrigt sich eine Betrachtung weiter entfernt liegender Leitungen.

Eine Gefährdung durch einen Störfall an einer Erdgashochdruckleitung oder DRM-Station kann daher ausgeschlossen werden.

Abbildung 3.2-1: EKKM: Übersichtsplan industrielle Gefährdungen



Letalitätsradius R_1 (1%)
Feuerball Personen im Freien
infolge Hitzeabstrahlung
(gem. Rahmenbericht 97)

suisse plan Ingenieure AG

08707-2

16.06.2009

3.2.4 Verkehrswege

3.2.4.1 Strassen

Die Autobahn A1 Bern-Lausanne verläuft südlich des Standortes in einem Abstand von ca. 1.5 km. Die Kantonsstrasse T1 Bern-Lausanne befindet sich ebenfalls südlich des Standortes in einem Abstand von ca. 2 km.

Der Zugang zum Standort erfolgt aus Osten von der Autobahn A1, über den Halbanschluss Mühleberg, über die Kantonsstrasse T1 und über die Strasse Oberei-Buttenried. Diese Route ist aktuell als Ausnahmetransportroute vom Typ Versorgungsroute 1 für eine lichte Höhe bis 5.2 m und ein Gewicht von bis zu 480 t ausgebaut. Ausnahmetransporte finden sowohl zum Kernkraftwerk Mühleberg als auch zum Wasserkraftwerk statt. Aus Westen ist der Standort über die Kantonsstrasse T1 und über die Strasse Mühleberg-Buttenried zu erreichen. Eine Nebenstrasse verläuft über das Wehr des Wasserkraftwerks Mühleberg von Buttenried nach Frieswil resp. Illiswil. Seit 2001 führt die A1 über Murten hinaus nach Yverdon und Lausanne. Dadurch nahm der Verkehr auf der Autobahn deutlich zu, wie in Tabelle 3.2-1 zu erkennen ist. 2002 betrug der durchschnittliche Tagesverkehr auf der A1 auf dem Saane-Viadukt 28'377 Motorfahrzeuge und nahm seither bis 2007 nur noch leicht zu.

Tabelle 3.2-1: Strassenverkehr der zwei wichtigsten Verkehrsverbindungen in Standortnähe

Durchschnittlicher Tagesverkehr der Motorfahrzeuge (Total des Verkehrs beider Richtungen in 24 h)				
Zählstelle	Jahr			
	1990	1995	2000	2005/07
Saane-Viadukt (A1 Bern-Lausanne)	12'882	14'021	¹⁾ 21'400	^{1) 2)} 29'022
Heggidorn (T1 Bern-Lausanne)	4'318	5'476	6'818	³⁾ 6606

Quelle: Bundesamt für Statistik (BFS)

¹⁾ Bis 2000 führte die A1 nur bis Murten, seit 2001 ist die A1 von Bern bis Yverdon durchgehend ausgebaut

²⁾ Zahl für 2007

³⁾ Zahl für 2005

Es ist zu erwarten, dass der Verkehr weiterhin leicht zunehmen wird; dies kann aus der weiter zunehmenden Bevölkerung und gleich bleibender bis wachsender Mobilität geschlossen werden. Der Kanton Fribourg hat eine grössere Bevölkerungsdynamik als der Kanton Bern, sodass auch eine Zunahme des Pendlerverkehrs auf der A1 plausibel erscheint. Die Eignung des Standortes wird jedoch durch diese erwartete Weiterentwicklung nicht tangiert. Der Standort in Mühleberg ist zentral im Schweizer Mittelland gelegen und verkehrstechnisch gut angebunden.

3.2.4.2 Bahnverkehr

Die Bahnlinie Bern-Neuchâtel ist die nächstgelegene Bahnlinie und führt 4 km südlich am Standort vorbei, die nächstgelegenen Bahnhöfe sind Rosshäusern und Gümmenen, ein eigener Bahnanschluss ist nicht vorhanden. Bereits in einem Minimalabstand von 6 km befindet sich die Bahnlinie Aarberg-Kerzers. Der Zugsverkehr auf dieser Bahnlinie ist seit 1998 etwa gleich geblieben (siehe Tabelle 3.2-2).

Tabelle 3.2-2: Bahnverkehr (Werktag) auf der Linie Bern-Kerzers

Anzahl Personenzüge pro Tag			
Bahnlinie	Jahr		
	1998/1999	2000/2001	2005
Bern-Kerzers hin und zurück	70	68	76

Quelle: Kursbuch der SBB

3.2.4.3 Flugverkehr

Eine Beurteilung der Gefährdung resp. Standorteignung hinsichtlich des Luftverkehrs wird in Kapitel 3.6.2.25 gegeben.

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

3.2.5.1 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 Gas-Luftgemische nur innerhalb dieser Grenzen brennbar sind [85].

3.2.5.2 Massgebende Störfallszenarien

Die Auswirkungen von Störfällen bei Flüssiggas-Tankanlagen sind in [85] beschrieben. Störfälle bei Propan-Transporten auf Schiene und Strasse können vereinfacht als mobile, freistehenden 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. Je nach Topographie muss eine abdriftende und verzögert gezündete Gaswolke berücksichtigt werden [85].

3.2.5.3 Auswirkungen

3.2.5.3.1 Ausbreitung

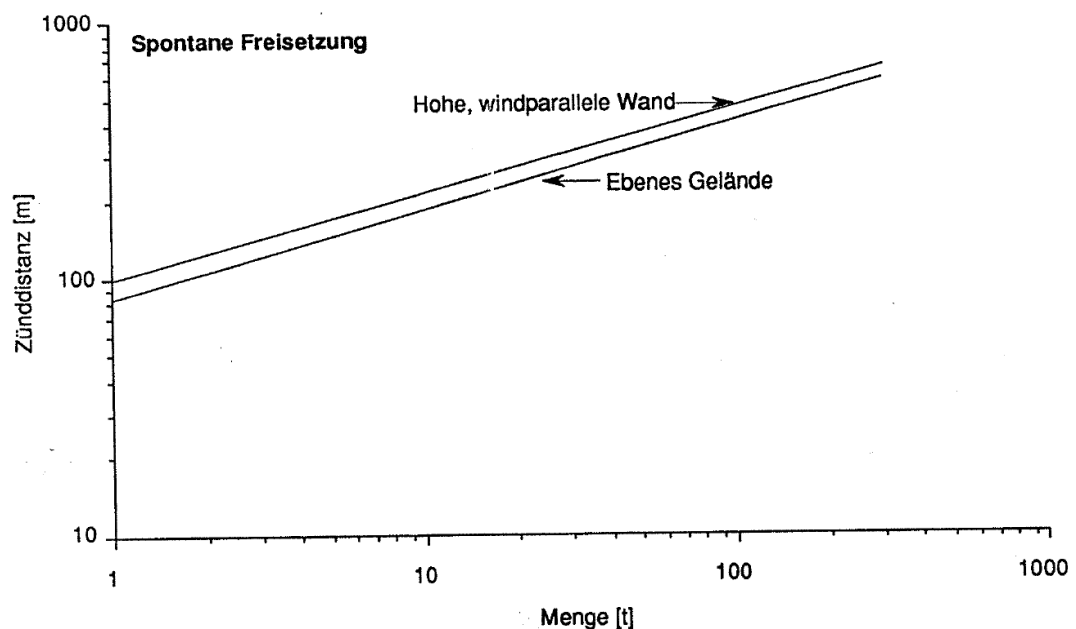
Wird brennbares Flüssiggas in grossen Mengen (Tonnenbereich) in kurzer Zeit freigesetzt, so entsteht eine Gaswolke, welche im Innern eine Brennstoffkonzentration über der oberen Explosionsgrenze aufweist. Der auftretende Maximaldruck beträgt im Freien 0.05 bar.

Bei einer spontanen Freisetzung von 46 t Propan muss gemäss Abbildung 3.2-2 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 (gemäss Abbildung 3.2-2).

Für das Diagramm (Abbildung 3.2-2) wurde ein vom VDI entwickeltes und auf Windkanalmessungen basierendes Programm [88] eingesetzt. Die Windkanalversuche wurden mit druckloser Freisetzung durchgeführt, d.h. das Diagramm ist nur für derartige Freisetzungsarten einsetzbar.

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

Abbildung 3.2-2: Distanz der unteren Explosionsgrenze in Abhängigkeit von der plötzlich freigesetzten Menge [85]



3.2.5.3.2 Brand

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 [85]. 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 3.2-3: 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

Lachenbrand und Freistrahbrand

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 [85].

3.2.5.3.3 Gaswolkenexplosionen

Die Eigenschaften von Propangas haben 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. Dabei ist mit vorhandenen Zündquellen zu rechnen. Die kleine Menge möglichen Entweichens in die Kanalisation spielt dabei eine untergeordnete Rolle.

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 [85].

3.2.5.4 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 [85]. Bei einer spontanen Freisetzung und Zündung von 46 t Flüssig-Propan beträgt der dreifache Feuerballradius und entsprechend die Gefährdungsdistanz für Personen etwa 300 m (siehe Tabelle 3.2-3). Eine spontane Freisetzung und Zündung von 20 t Flüssig-Propan ergibt eine Gefährdungsdistanz für Personen im Freien von rund 225 m (siehe Tabelle 3.2-3).

3.2.5.5 Beurteilung für den Standort EKKM

Die nächstgelegenen Verkehrsstrassen in der Umgebung des Standortes sind:

- Autobahn A1 Bern-Lausanne, ca. 1.5 km südlich des Kraftwerks
- Kantonsstrasse T1 Bern-Lausanne, etwa 2 km südlich des Kraftwerks.

Die nächstgelegene Bahnlinie ist die Verbindung Bern-Neuchâtel, die in einem Abstand von etwa 4 km am KKM vorbeiführt. Gemäss "Planungshilfe Koordination Raumplanung und Störfallvorsorge entlang von risikorelevanten Bahnanlagen" (ARE, 2008)¹ handelt es sich dabei nicht um eine risikorelevante Bahnanlage.

Die Aare, die unmittelbar am Standort vorbeifliesst, wird lediglich von Freizeitbooten befahren.

Der Abstand zu Strassen und Bahnlinien ist gross, insbesondere da diese auch noch hinter einer bewaldeten Anhöhe verlaufen, sodass eine Gefährdung für den Standort durch Transportunfälle sehr unwahrscheinlich ist.

Im Gesuch zur Baubewilligung wird dieser Aspekt nochmals angeschaut werden.

3.2.6 Benzintransporte

3.2.6.1 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 [86] zu finden.

¹ <http://www.are.admin.ch/dokumentation/publikationen/00017/00291/index.html?lang=de>

3.2.6.2 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 [86].

3.2.6.3 Beurteilung für den Standort EKKM

Es sind keine Benzintransporte in der Nähe des Geländes vorgesehen. Deshalb sind keine Gefährdungen durch Benzintransporte für den Standort EKKM auszumachen.

3.2.7 Chlortransporte

Laut 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 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.

3.2.7.1 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 der Chlorgaswolke kann mehrere km² erreichen. Form und Richtung hängen vom Wind und der Topografie ab.

Die Wahrscheinlichkeit einer Spontanverdampfung mit einer grossen Menge Chlor ist sehr klein. Sie ist zudem für Menschen im Freien bzw. in gelüfteten Räumen gefährlich, nicht jedoch für Bauten und Anlagen.

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

3.2.7.2 Beurteilung für den Standort EKKM

Auf Grund der Distanz zu den Bahnlinien kann 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 Meteorologie

Die Einflüsse des Wetters sind für die Auslegung des EKKM wichtig. In Punkto Sicherheit liegt das Interesse auf der Seite der seltenen aber sehr kräftigen Ereignisse, welchen das Kernkraftwerk trotzdem Stand halten muss. Eine Problematik bei der Analyse der Datensätze ist, dass die Datenreihen am Standort Mühleberg selbst mit einer Länge von 20 Jahren zu kurz sind, um die Extremwetterereignisse anhand der Daten bewerten zu können. Mit Hilfe der Extremwertstatistik werden die Extremereignisse bis zu einer Wiederkehrperiode von 10'000 Jahren abgeschätzt.

3.3.1 Meteorologische Daten

Um eine möglichst gute Abbildung der lokalen Meteorologie zu erhalten, werden Messdaten vom Standort Mühleberg und einigen umliegenden Stationen analysiert. Die Messstationen sind Teil des SwissMetNet, dem Netzwerk der MeteoSchweiz. Die Daten des SwissMetNet durchlaufen die Qualitätskontrolle der MeteoSchweiz.

In unmittelbarer Umgebung des EKKM werden an zwei Orten Daten erhoben, am Meteomast in der Nähe des bestehenden Kernkraftwerks KKM und beim Richtstrahlmast Stockeren auf der Anhöhe südlich des Kernkraftwerks. Diese Datenreihen reichen bis in die Jahre 1987 zurück.

Der Meteomast Mühleberg, 110 m hoch, befindet sich in einer Entfernung zum KKM von etwa 800 m ONO auf einer Talsohle. Die Lufttemperaturen werden auf 10, 60 und 110 m ü.B. gemessen, zwecks Berechnung von vertikalen Temperaturgradienten. Der Wind wird auf 10 und 110 m ü.B. erfasst. Die Werte (Windmittelwerte und Temperaturmomentanwerte, siehe Tabelle 3.3-1) der Messanlagen von KKM werden in 10-Minuten-Abständen gleichzeitig zum Grossrechner MeteoSchweiz in Zürich und zum Rechner des KKM übermittelt.

Der Richtstrahlmast Stockeren ist 70 m hoch und steht etwa 2 km SSO vom KKM entfernt auf dem Hügel von Stockeren. Er ist mit einem Windmesser auf 70 m ü.B. ausgerüstet. Dieser Windmesser liegt knapp 200 m über dem obersten Niveau des Meteomastes, sodass die vertikalen Windrichtungsscherungen zwischen 3 Punkten untersucht werden können.

Von der Station Bern-Liebelfeld liegen Datenreihen von meteorologischen Parametern über eine Zeitdauer von 150 Jahren vor. Dieser Datensatz wird für die langjährige Veränderung des Klimas in der Region Mühleberg berücksichtigt. Die Station Bern wurde im August 2006 nach Bern-Zollikofen verlegt. Deshalb werden die Daten nur bis zum Zeitpunkt der Verlegung verwendet.

Die Messstation Wynau wurde für die vorliegende Untersuchung zusätzlich gewählt, da sie im Hinblick auf die Messungen der relativen Feuchte zu Mühleberg ähnlicher ist als Bern und weil sie ebenfalls direkt an der Aare liegt. In Mühleberg wird keine relative Feuchte gemessen.

Zusätzlich liegen Messungen der Blitzdichten auf dem ganzen Gebiet der Schweiz von Météorage¹ vor. Diese wurden für die Analysen von der MeteoSchweiz zusammengestellt.

Abbildung 3.3-1 und Abbildung 3.3-2 zeigen die Lage der meteorologischen Messanlagen. In Tabelle 3.3-1 sind die Messstationen und Parameter zusammengefasst, welche für die Analysen berücksichtigt wurden. Die zeitliche Auflösung für die Zeitreihen am Standort Mühleberg und Stockeren beträgt 10-Minuten. Auf Grund dieser Basis wurden Stundenmittelwerte für die

¹ <http://www.meteorage.com/>

Parameter Wind und Temperatur, sowie Stundensummen des Niederschlags gerechnet. Die Stundenwerte wurden aus den 10-Minutenwerten *:10 bis *:00 gebildet, so dass wir das Mittel respektive die Summe von voller Stunde zu voller Stunde erhalten. 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 aufeinanderfolgenden Tageswerten gerechnet. Für die Analyse der Zeitreihen von Bern und Wynau standen nur Stundenwerte im Zeitsystem der MeteoSchweiz (*:50-*:40) zur Verfügung, welche für die Analysen verwendet wurden.

Abbildung 3.3-1: Situationsplan der meteorologischen Messanlagen rund um Mühleberg. Das rote Rechteck bezeichnet das Kernkraftwerk Mühleberg, die roten Kreise die beiden Messmasten Meteomast (oben) und Richtstrahlmast Stockeren (unten).



Abbildung 3.3-2: Situationsplan der meteorologischen Messanlage in Wynau. Der rote Kreis lokalisiert die Messanlage.



Tabelle 3.3-1: Meteoplanen. Die Messdaten stammen von den beiden Messstationen im Umkreis von 2 km vom KKM sowie von den Stationen Wynau und Bern. Die Blitzdaten stammen von Météorage¹.

Meteoplanen	Messung	Aufstellhöhen der Messgeräte	Messperiode	Zeitliche Auflösung
Meteomast Mühleberg: Kote: 483 m ü.M. Koordinaten: 587,85/202,45	Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Böenspitze	110 m ü.B. 10 m ü.B.	1987-2007	10 min
	Lufttemperatur	110 m ü.B. 60 m ü.B. 10 m ü.B.	1987-2007	10 min
	Niederschlag	1.5 m ü.B.	1987-2007	10 min
Richtstrahlmast Stockeren Kote: 700 m ü.M. Koordinaten:	Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Böenspitze	70 m ü.B.	1990-2007	10 min

¹ <http://www.meteorage.com/>

588,22/200,10	Lufttemperatur	70 m ü.B.	1990-2007	10 min
Wynau BE Kote: 422 m ü.M. Koordinaten: 626,40/233,85	Lufttemperatur	2 m ü.B.	1981-2007	1 h
	Relative Feuchte	2 m ü.B.	1981-2007	1 h
	Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Böenspitze	10 m ü.B.	1981-2007	1 h
	Niederschlag	1.5 m ü.B.	1981-2007	1 h
Bern-Liebelfeld Kote: 453 m ü.M. Koordinaten: 608, 10/194, 60	Lufttemperatur	2 m ü.B.	1864-2006 1981-2006	1 Tag 1 h
	Relative Feuchte	2 m ü.B.	1981-2006	1 h
	Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Böenspitze	10 m ü.B.	1981-2006	1 h
	Niederschlag	1.5 m ü.B.	1864-2006 1981-2006	1 Tag 1 h
	Schnee		1931-2006	1 Tag
Ganze Schweiz	Boden-Blitze		2000-2007	1 Jahr

Quelle: Meteo- Schweiz

3.3.2 Methodik

Die Parameter werden sowohl statistisch auf ihre gemessenen Extremwerte als auch auf ihre Mittelwerte und Variabilitäten hin untersucht.

Da die Datenreihen zu kurz sind, um gute Aussagen über die seltenen Ereignisse zu machen, werden in einer weiteren Analyse die Stärke der Extremereignisse des Wetters und deren Wiederkehrperioden mittels Extremwertstatistik ermittelt. Hierfür wurde die Blockmax-Methode angewendet. Dabei bildet man von der gesamten Datenreihe zeitliche Blöcke, von denen dann jeweils die Extremen in die Statistik einfließen. Als Blockgrösse wurde für die langen 150-jährigen Datenreihe von Bern 1 Jahr gewählt. Bei den kurzen Datenreihen ab 1981 und später 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.

Die Verteilungsfunktion der Blockmaxima unterliegt einer "generalized extreme value distribution" (generalisierte Extremwertverteilung, GEV). Sie ist durch die 3 Parameter k (shape), σ (scale) und μ (location) bestimmt. Diese Parameter inklusive der 95% Konfidenzintervalle wurden

mit Hilfe der Mathematik Software MATLAB¹ geschätzt. Die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (probability density function, pdf) $f(x)$ hat die Form

$$f(x|k, \mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma} \cdot \left(1 + k \cdot \frac{x - \mu}{\sigma}\right)^{-1 - \frac{1}{k}} \cdot e^{-\left(1 + k \cdot \frac{x - \mu}{\sigma}\right)^{\frac{1}{k}}}$$

Diese Funktion ist so normiert, dass die Fläche unter der Kurve 1 ergibt.

Die kumulative Verteilungsfunktion (cdf: cumulative distribution function) $F(X)$ ergibt sich durch die Integration der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion von $-\infty$ bis X für alle X . Sie wird für die Berechnung der Wiederkehrperioden verwendet.

$$F(X) = \int_{-\infty}^X f(x|k, \mu, \sigma) \cdot dx$$

Mit Hilfe der kumulativen Verteilungsfunktion wurden die Wiederkehrperioden $T_{return}(\theta)$ bestimmt, wobei θ den Wiederkehrwert bezeichnet.

$$T_{return}(\theta) = d \cdot \frac{1}{1 - F(\theta)}^2$$

Für den Wiederkehrwert $\theta(T)$ 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.

Je kürzer die Datenreihe desto grösser die Unsicherheit bzw. das Konfidenzintervall für die Berechnung der Wiederkehrperiode des seltenen Ereignisses.

3.3.3 Lokale Meteorologie am Standort Mühleberg

Die Betrachtungszeiträume zur Untersuchung der lokalen Meteorologie am Standort Mühleberg sind in der Tabelle 3.3-1 ersichtlich. Im Betrachtungszeitraum 1987-2007 sind generell keine signifikanten Änderungen in den Daten festzustellen; meteorologische Prozesse ändern sich nur sehr langsam, und die Zeitkonstanten für die Änderungsprozesse sind viel grösser als der Betrachtungszeitraum. Diese Aussage wird gestützt durch die Berichte "Windbank oberes Aaretal" [49], "Datenverfügbarkeit und -qualität der ANETZ-Stationen³ der Kernanlagen".

¹ The Mathworks, 2008: Statistics Toolbox 6, User's Guide

² M. Mudelsee, 2002, *Statistische Methoden in der Meteorologie – Extremwertverteilungen*, Short Course Notes, und M. Mudelsee, 2007, *Fehlergrenzen von Extremwerten des Wetters*
<http://www.manfredmudelsee.com/>

³ Automatisches meteorologisches Beobachtungsnetz der MeteoSchweiz (10 Min. und Stundenmittelwerte)

3.3.4 Windverhältnisse

Windböen

Die Böenspitze entspricht der Windspitze über 1 s, wie sie im ANETZ gemessen wird. Die stärksten Böen treten im Zusammenhang mit Stürmen in den Wintermonaten auf. Bei Westwindlagen sind die Windgeschwindigkeiten höher als bei Ostwind. Tabelle 3.3-2 zeigt die historisch höchsten Windböen während der Messperiode, Tabelle 3.3-3 die monatlichen stärksten registrierten Böen.

Tabelle 3.3-2: Höchste registrierte Windböen während der Messperiode

Ort		Zeitperiode	Maximum (Jahr)
Meteomast	10 m ü.B.	1987-2007	28.4 m/s (1999)
Meteomast	110 m ü.B.	1987-2007	41.5 m/s (1999)
Stockeren	70 m ü.B.	1987-2007	50.8 m/s (1999)
Bern	10 m. ü.B.	1981 - 2007	37.1 m/s (1999)
Wynau	10 m. ü.B.	1981 - 2007	34.3 m/s (1990)

Tabelle 3.3-3: Absolute Maxima der Windböen (m/s) für jeden Monat während der gesamten Messperiode

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Meteomast 10 m ü.B.	23.4	23.9	22.0	20.9	19.3	20.6	20.7	21.3	18.3	23.1	22.0	28.4
Meteomast 110 m ü.B.	29.2	30.2	28.1	25.2	20.7	29.7	24.1	26.2	32.4	32.0	26.8	41.5
Stockeren 70 m ü.B.	36.8	33.5	32.0	33.0	25.7	31.5	28.9	29.9	26.1	34.1	32.3	50.8
Bern 10 m. ü.B.	33.6	30.2	28.5	22.0	22.0	24.5	20.7	27.7	21.1	29.3	25.4	37.1
Wynau 10 m. ü. B.	32.2	34.3	27.2	30.2	21.5	27.2	26.3	23.6	23.3	27.6	26.1	30.1

Von den 74 Stunden pro Jahr mit Böenspitzen über 20 m/s (72 km/h) auf dem Stockeren sind 98% mit SW-Winden verbunden. Nur 2% sind mit NO-Winden verknüpft.

Die Extremwertstatistiken von Abbildung 3.3-3,

Abbildung 3.3-4, Tabelle 3.3-4 und Tabelle 3.3-5 zeigen, dass auf dem 10-m-Niveau in Mühleberg mit Winden bis zu 30 m/s, auf 110 m bis 46 m/s, auf dem Stockeren bis 35 m/s und in Bern und Wynau mit mehr als 40 m/s zu rechnen ist.

Abbildung 3.3-3: GEV Verteilung und Histogramme (normiert) der Böenspitzen für Bern 1981-2006, Wynau 1981-2007, Stockeren 1987-2007 und Mühleberg (10 m und 110 m ü.B.) 1987-2007 [m/s]

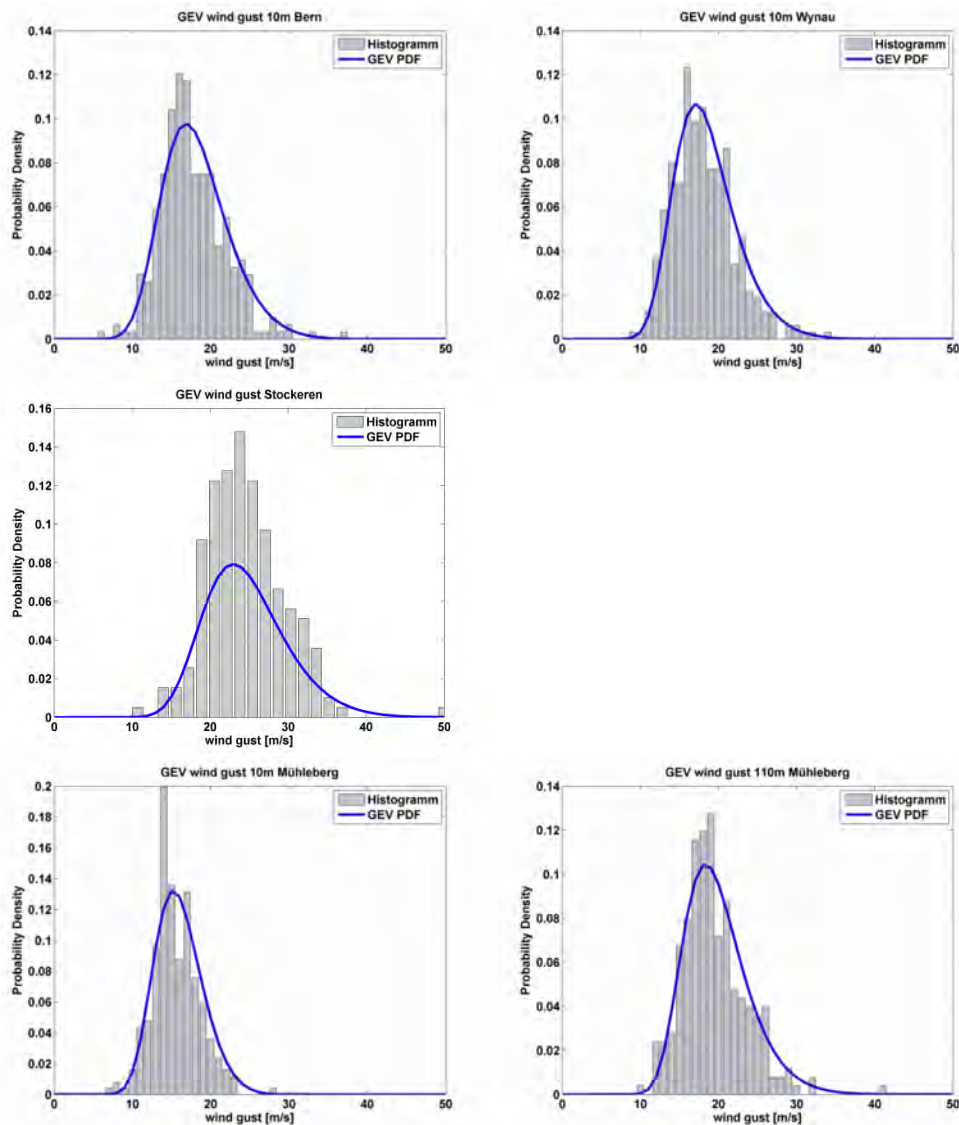


Tabelle 3.3-4: Parameter der GEV Verteilungen von Abbildung 3.3-3

Parameter	Bern	Wynau	Mühleberg 10 m	Mühleberg 110 m	Stockeren
k	-0.1121	-0.0838	-0.1599	-0.0697	-0.1101
σ	3.7863	3.4550	2.8132	3.5258	4.6682
μ	16.3957	16.7760	14.7406	18.0771	22.4048

Tabelle 3.3-5: Erwartete maximale Böenspitze für verschiedene Wiederkehrperioden [m/s].
(KI = Konfidenzintervall)

Bern	50-jährlich	100-jährlich	200-jährlich	1'000-jährlich	10'000-jährlich
Böenspitze [m/s]	33.7	34.9	36.1	38.4	41.1
KI 95% [m/s]	[29.6 ; 38.9]	[30.4 ; 40.8]	[31.1 ; 42.7]	[32.5 ; 46.7]	[33.9 ; 51.9]

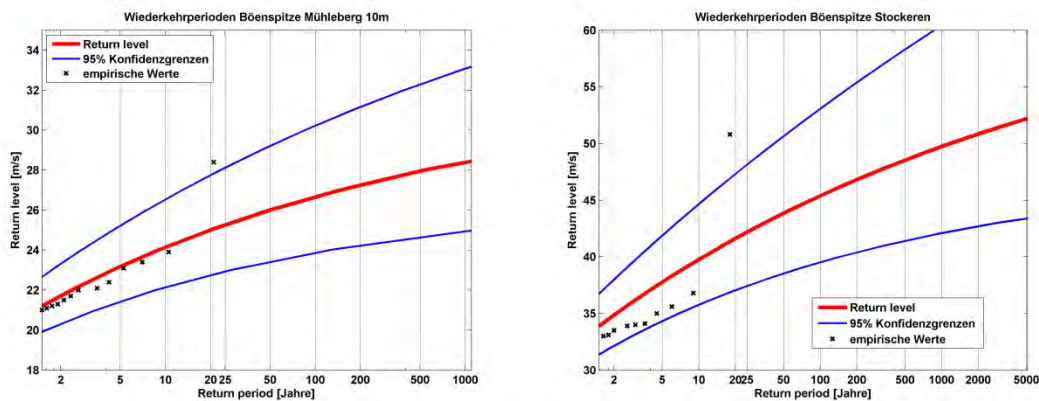
Wynau	50-jährlich	100-jährlich	200-jährlich	1'000-jährlich	10'000-jährlich
Böenspitze [m/s]	33.9	35.2	36.5	39.2	42.5
KI 95% [m/s]	[29.3 ; 40.2]	[30.1 ; 42.6]	[30.8 ; 45.0]	[32.1 ; 50.3]	[33.6 ; 57.8]

Mühleberg 10 m	50-jährlich	100-jährlich	200-jährlich	1'000-jährlich	10'000-jährlich
Böenspitze [m/s]	26.0	26.7	27.3	28.4	29.6
KI 95% [m/s]	[23.4 ; 29.2]	[23.9 ; 30.2]	[24.3 ; 31.2]	[24.9 ; 33.1]	[25.6 ; 35.3]

Mühleberg 110 m	50-jährlich	100-jährlich	200-jährlich	1'000-jährlich	10'000-jährlich
Böenspitze [m/s]	36.3	37.8	39.3	42.4	46.3
KI 95% [m/s]	[31.4 ; 42.8]	[32.3 ; 45.4]	[33.2 ; 47.9]	[34.8 ; 53.8]	[36.7 ; 62.2]

Stockeren	50-jährlich	100-jährlich	200-jährlich	1'000-jährlich	10'000-jährlich
Böenspitze [m/s]	43.8	45.4	46.8	49.7	53.1
KI 95% [m/s]	[38.5 ; 50.7]	[39.5 ; 53.1]	[40.4 ; 53.1]	[42.1 ; 60.4]	[43.9 ; 66.8]

Abbildung 3.3-4: Wiederkehrperioden der Böenspitze für Mühleberg 10 m. ü.B.und Stockeren. Das Rekordergebnis von 1999 mit 28.4 m/s am Meteomast 10 m. ü.B. in Mühleberg hatte eine Wiederkehrperiode von 830 Jahren. Das gleiche Ereignis auf dem Stockeren hatte sogar eine 2'000-jährliche Wiederkehrperiode.



Windgeschwindigkeiten

Die grössten Geschwindigkeiten treten jeweils in den Wintermonaten auf, wie Tabelle 3.3-6 bis Tabelle 3.3-9 mit der Statistiken zu den Monatsmaxima und den mittleren Monatsmaxima zeigen.

Tabelle 3.3-6: Höchste Stundenmittelwerte der Windgeschwindigkeit (m/s) für jeden Monat während der gesamten Messperiode

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Meteomast 10 m ü.B.	9.6	9.6	9.2	9.2	8.6	7.9	6.6	6.8	6.9	7.8	9.7	10.9
Meteomast 110 m ü.B.	14.9	14.0	13.6	13.9	13.0	12.6	10.2	10.4	10.4	12.5	14.2	18.1
Stockeren 70 m ü.B.	23.6	20.4	18.8	18.5	16.8	15.4	14.6	15.4	14.1	19.2	18.4	27.8
Bern 10 m. ü. B.	13.1	14.5	12.3	9.4	9.3	9.7	8.7	9.3	8.6	11.0	12.0	15.5
Wynau 10 m. ü.B.	11.8	13.2	11.5	13.0	11.1	8.5	8.4	9.1	9.0	10.1	10.6	12.6

Tabelle 3.3-7: Mühleberg 1987-2007 Mittelwerte (Mean) und Standardabweichung (Std) der Monatsmaxima gerechnet aus Stundenwerten Meteomast 10 (m/s)

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Mean	6.4	6.7	6.8	6.0	5.6	5.3	5.5	5.0	5.3	5.8	5.7	6.1
Std.	1.1	1.2	1.3	1.1	1.1	1.0	1.0	0.9	1.0	0.9	1.0	1.0

Tabelle 3.3-8: Mühleberg 1987-2007 Mittelwerte (Mean) und Standardabweichung (Std) der Monatsmaxima gerechnet aus Stundenwerten Meteomast 110 m ü.B. (m/s)

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Mean	10.1	10.5	10.3	9.3	8.6	8.6	8.5	7.9	8.5	9.5	9.3	9.9
Std.	1.8	1.9	1.9	1.7	1.6	1.5	1.5	1.4	1.6	1.6	1.7	1.9

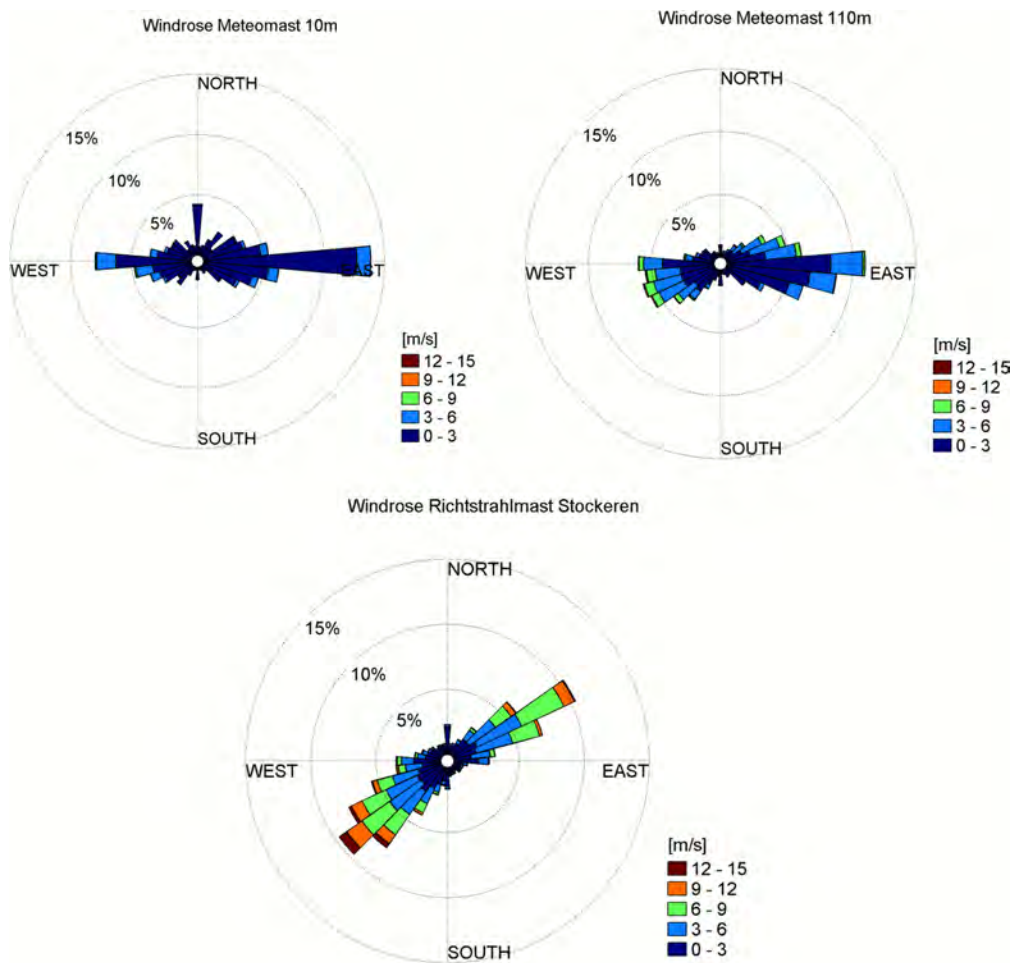
Tabelle 3.3-9: Mühleberg 1987-2007 Mittelwerte (Mean) und Standardabweichung (Std) der Monatsmaxima gerechnet aus Stundenwerten Stockerenmast 70 m ü.B. (m/s)

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Mean	16.3	16.1	14.8	13.7	12.7	12.0	11.2	12.0	12.2	14.9	14.5	16.4
Std.	3.3	3.3	3.1	2.7	2.5	2.4	2.3	2.3	2.6	2.9	2.9	3.3

Windrichtungen

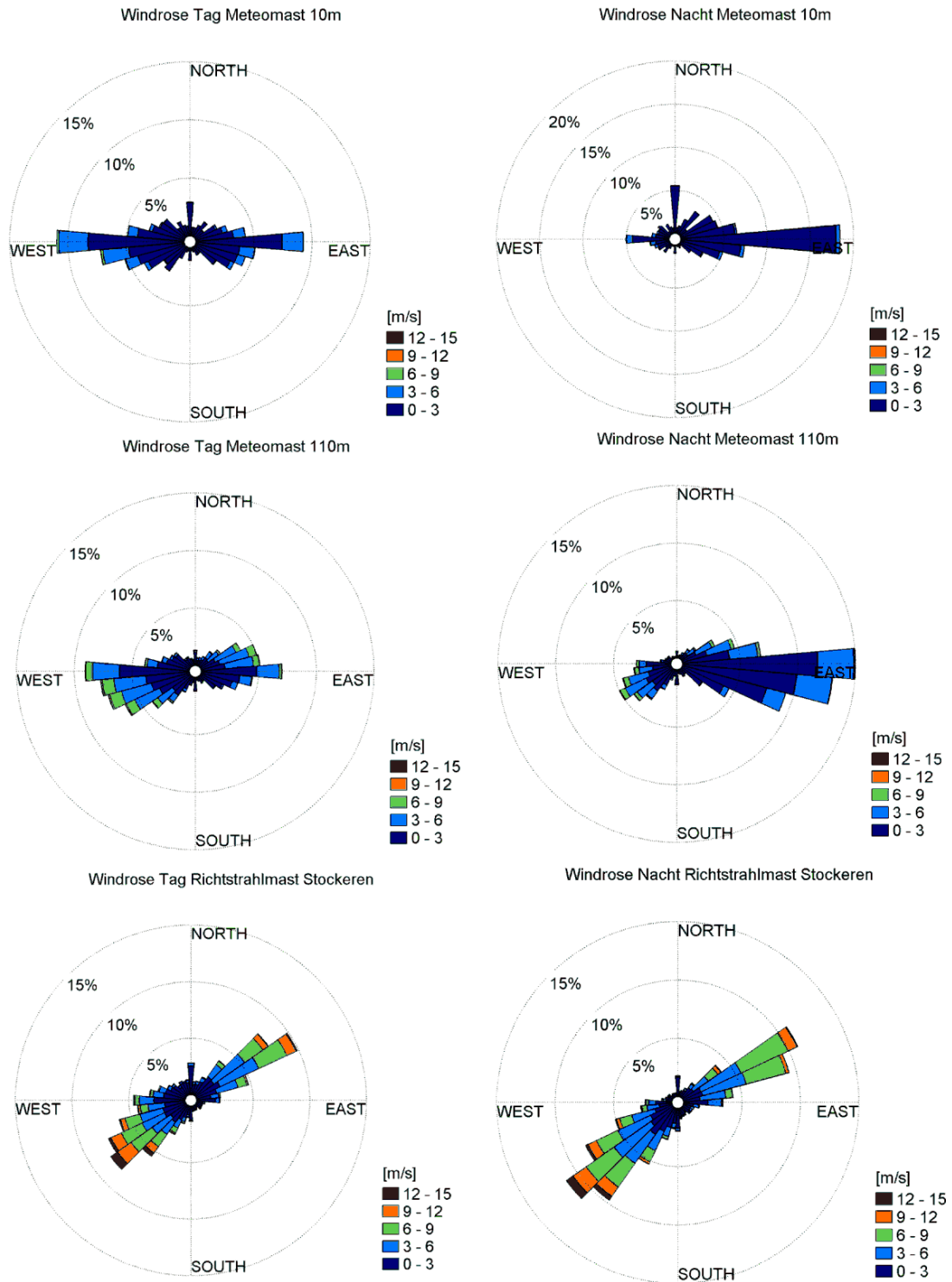
Die Windrichtungsverteilung beim Meteomast 10 m ü.B. ist generell von West und Ostwinden geprägt (Abbildung 3.3-5). Dies kann mit der Topografie begründet werden. Das Tal, in dem Aare, Wohlensee, das Kernkraftwerk und der Meteomast liegen, hat eine West-Ost Ausrichtung. Auf 110 m ü.B. lässt sich ein leichter Einfluss der Südwestwinde feststellen. Die West-Ost-Charakteristik bleibt jedoch erhalten. Auf dem Richtstrahlmast Stockeren auf der Anhöhe zeigt sich eine Windrichtungsverteilung mit Südwest-Nordost-Charakteristik. Die Topografie vermag das Windfeld vom Stockerenmast bis zur Talsohle beim Kernkraftwerk um 45° zu drehen.

Abbildung 3.3-5: Windrosen der 10-Minuten Mittelwerte vom Meteomast 10 m und 110 m ü.B. und vom Richtstrahlmast Stockeren



Beim Meteomast dominieren nachts (19-7 Uhr) die Ostwinde, während tagsüber (7-19 Uhr) die Westwinde leicht überwiegen (Abbildung 3.3-6).

Abbildung 3.3-6: Windrosen der 10-Minuten Mittelwerte vom Meteomast 10 (oben) und 110 m ü.B. (mitte) und Richtstrahlmast Stockeren (unten) zu Tag- (7-19 Uhr) (links) und Nachtzeiten (19-7 Uhr) (rechts)



Windstille

Die Winde werden in der Talsohle in Bodennähe beim Meteomast abgeschwächt, sodass es drei Mal so häufig zu Windstille kommt wie auf 110 m ü.B. oder 5 Mal so häufig wie auf dem Stockerenmast (siehe Tabelle 3.3-10). Die Windstille wird definiert als Windgeschwindigkeit < 0.5 m/s.

Tabelle 3.3-10: Anzahl 10 Min.-Messungen pro Jahr am Meteomast und Stockerenmast mit Windstille

Ort		Windstille
Meteomast	10 m ü.B.	12'284 (23.3%)
Meteomast	110 m ü.B.	4160 (7.9%)
Stockeren	70 m ü.B.	2599 (4.9%)

Tornados

Grundsätzlich kann es in der Schweiz zur Bildung von Tornados kommen. Beobachtungen von Tornados sind im Internet bei TorDACH¹ und dem Schweizer Sturmarchiv² dokumentiert.

In der Analyse von Tornados werden diese in sechs Klassen unterteilt; dazu verwendet man die sogenannte Fujita-Skala. Die Dimensionen des Schadenszugs sind aus einer französischen Studie übernommen [28], Tabelle 3.3-11:

Tabelle 3.3-11: Tornadoklassierung

Fujita-Skala	Böenspitzen über ¼-Meile (mph)	3-Sekunden Böen Speed (mph)	Schadenzug (Länge, Breite)
F0	40 - 72	45 - 78	3.8 km, 70 m
F1	73 - 112	79 - 117	3.8 km, 70 m
F2	113 - 157	118 - 161	5.1 km, 150 m
F3	158 - 207	162 - 209	10.2 km, 320 m
F4	208 - 260	210 - 261	19.2 km, 260 m
F5	261 - 318	262 - 317	19.2 km, 260 m

Abbildung 3.3-7 zeigt die Karte der Schweiz mit den Lokalisationen der Tornadobeobachtungen. Auch wenn die dokumentierten Beobachtungen ab 1890 (Tabelle 3.3-12) vor allem im Jurabogen vom Genfer- bis zum Bodensee anzutreffen sind, ist es nicht auszuschliessen, dass sich auch in den Alpen ein Tornado bilden kann.

¹ <http://www.tordach.org/>

² <http://www.sturmarchiv.ch>

Es können zwei Situationen der Entstehung unterschieden werden. Einerseits im Sommer durch starke Konvektion, wenn sich mehrere Gewitterzellen zu einer Superzelle vereinigen, andererseits bei starken Weststürmen, welche vor allem im Winter anzutreffen sind.

In der Schweiz ist gemäss Dotzek [92] und gemäss Vorgabe der nuklearen Aufsichtsbehörde [93] mit einer Häufigkeit von 2-3 Tornados pro Jahr zu rechnen. Dies ergäbe für die Periode von 1890-2008 eine Anzahl von 240-350 Tornados. Diese Zahlen sind zwar weit davon entfernt von der Anzahl der dokumentierten Beobachtungen (Tabelle 3.3-12), 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 werden noch 15 Vermutungen dazu genommen, dann erhält man einen Wert von 2.8 Tornados pro Jahr, was mit dem Wert von Dotzek (2003) übereinstimmt.

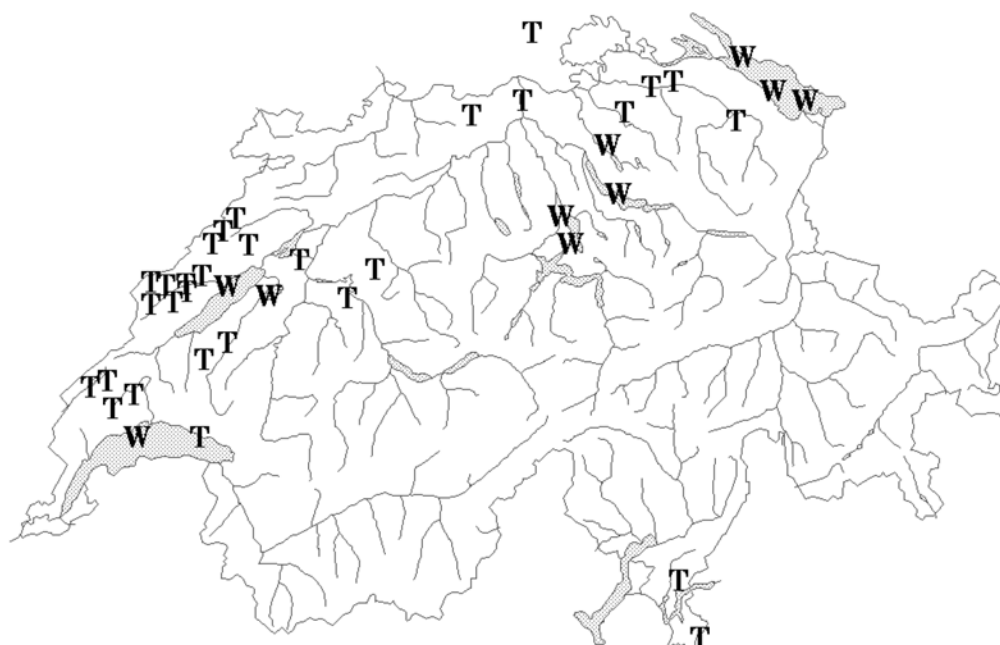
Tabelle 3.3-12: Tornadobeobachtungen in der Schweiz ab 1890-2008. Hier nicht aufgelistet sind Vermutungen von Tornadoereignissen. Die Häufung der Ereignisse in den letzten 10 Jahren ist darauf zurückzuführen, dass heute dem Thema mehr Beachtung geschenkt wird und viel mehr gesehen und dokumentiert werden.

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

Nummer	Datum	Ort	Stärke
28	21.08.2005	Pfyn (TG)	F1
29	28.06.2006	Full (AG)	

Die Gefährdung durch Tornados für den Standort wird in Kapitel 3.6.2.22.1 näher behandelt.

Abbildung 3.3-7: Karte der Schweiz¹: Tornado- (T) und Wasserhosen- (W) Beobachtungen sind markiert



3.3.5 Lufttemperaturen und relative Feuchtigkeit

Lufttemperaturen

Die absoluten Temperaturextreme zeigt Tabelle 3.3-13. Während die Maxima alle im Sommer 2003 erzielt wurden, gibt es bei den Minima einen grossen Unterschied zwischen Bern und Mühleberg, was auf die unterschiedlich langen Datenreihen zurückzuführen ist. Dasselbe gilt für die höchsten und tiefsten Tages- (Tabelle 3.3-14) resp. Monatsmittelwerte (Tabelle 3.3-15). Die mittlere Temperatur für jeden Monat reicht von 0 °C im Winter bis zu 18 °C im Sommer (Tabelle 3.3-16).

¹ Aus Arbeitsbericht MeteoSchweiz Nr. 226

Tabelle 3.3-13: Rekordtemperaturen in Bern und Mühleberg.

Ort	Zeitperiode	Maximum (Jahr)	Minimum (Jahr)
Bern	1864 - 2006	37.0 °C (2003)	-23.0 °C (1929)
Mühleberg 10 m ü.B.	1987 - 2007	36.1 °C (2003)	-14.3 °C (2005)
Mühleberg 60 m ü.B.	1987 - 2007	35.1 °C (2003)	-14.2 °C (2005)
Mühleberg 110 m ü.B.	1987 - 2007	34.7 °C (2003)	-15.6 °C (1991)

Tabelle 3.3-14: Höchste / tiefste Tagesmittelwerte der Temperatur [°C]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
Meteomast 10 m ü.B. 1987-2007	-9.6	-10.0	-8.3	0.9	3.5	7.3	10.2	9.9	4.9	-0.5	-5.7	-10.2	Min
	12.5	11.1	15.7	17.5	21.6	24.7	24.8	26.1	20.9	19.0	12.1	13.2	Max
Meteomast 110 m ü.B. 1987-2007	-10.0	-11.9	-8.5	-0.3	2.6	6.5	9.4	9.6	4.3	-0.8	-8.2	-11.2	Min
	11.7	10.9	15.2	18.8	22.9	26.0	26.2	27.1	23.5	19.1	12.6	12.6	Max
Bern 10 m. ü.B. 1864-2006	-17.3	-20.1	-10.8	-3.3	1.3	3.0	8.4	7.4	2.2	-7.5	-10.4	-15.9	Min
	11.9	12.2	15.4	18.6	23.2	26.0	27.5	26.6	22.4	18.4	15.5	14.0	Max
Wynau 10 m. ü.B. 1981-2007	-18.8	-12.4	-10.1	-1.5	3.8	7.0	10.1	10.3	4.8	-1.8	-7.1	-10.5	Min
	11.2	10.5	15.2	16.9	21.9	25.0	25.5	25.2	21.4	17.7	12.5	11.9	Max

Tabelle 3.3-15: Höchste / tiefste Monatsmittelwerte der Temperatur [°C]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
Meteomast 10 m ü.B. 1987-2007	-1.8	-1.9	1.7	6.9	9.5	13.7	15.9	15.0	11.1	6.9	2.1	-0.4	Min
	4.5	5.3	9.0	13.0	14.9	21.5	21.8	21.9	16.6	12.5	7.3	4.0	Max
Meteomast 110 m ü.B. 1987-2007	-2.2	-1.6	1.3	6.5	9.3	13.7	15.7	14.7	10.8	6.6	-0.2	-1.4	Min
	4.2	6.0	8.9	13.7	15.0	21.7	22.0	22.5	16.7	12.7	7.1	3.6	Max
Bern 10 m. ü.B. 1864-2006	-7.0	-8.7	-1.2	4.6	8.3	12.4	14.5	13.5	8.6	3.9	-0.1	-9.7	Min
	3.5	5.6	8.9	12.3	17.7	21.7	22.1	21.9	17.7	13.1	7.2	4.5	Max
Wynau 10 m. ü.B. 1981-2007	-5.7	-4.8	1.6	6.1	9.6	14.1	16.0	15.1	10.8	6.4	1.5	-0.5	Min
	4.3	5.0	8.7	12.6	15.0	22.2	21.7	21.7	16.6	12.5	8.0	3.8	Max

Tabelle 3.3-16: Monatsmittelwerte der Temperatur [°C]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Meteomast 10 m ü.B. 1987-2007	0.7	1.8	5.5	8.7	13.2	16.3	18.3	18.0	14.0	9.9	4.3	1.4
Meteomast 110 m ü.B. 1987-2007	0.5	1.9	5.4	8.6	13.2	16.2	18.4	18.2	14.0	9.7	3.8	1.1
Bern 10 m. ü.B. 1981-2006	-0.2	0.9	5.1	8.2	12.9	16.3	18.6	18.1	14.0	9.6	3.9	1.1
Wynau 10 m. ü.B. 1981-2007	0.1	0.7	4.8	8.3	13.0	16.4	18.5	17.8	13.9	9.6	4.0	1.3

Die Meteomastmessungen zeigen zudem , dass der tägliche Temperaturgang mit zunehmender Höhe ausgeglichener wird, und dass im 110 m-Niveau im Mittel die tiefsten Tagestemperaturen und die höchsten Nachttemperaturen gemessen werden (Tabelle 3.3-17).

Tabelle 3.3-17: Tages- und Nachtmittel der Temperatur am Meteomast Mühleberg und auf dem Stockerenmast (Angaben in °C)

Messort	Mittel 7-19 Uhr	Mittel 19-7 Uhr
Meteomast 10 m	11.0	7.8
Meteomast 60 m	10.7	8.0
Meteomast 110 m	10.6	8.1
Stockeren 70 m	9.2	7.7

Die saisonale Verteilung der Monatsmaxima ist bimodal. Deshalb wurde für die Extremwertstatistik (Tabelle 3.3-18) 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 3.3-19 könnten sich durch die Erwärmung aufgrund des Klimawandels im Laufe des 21. Jahrhunderts verändern (siehe Kap. 3.3.11).

Tabelle 3.3-18: Parameter der GEV Verteilungen der Temperatur

Parameter	Bern 1981-2006 min	Bern 1981-2006 max	Mühleberg 10 m 1987-2007 min	Mühleberg 10 m 1987-2007 max	Mühleberg 110 m 1987-2007 min	Mühleberg 110 m 1987-2007 max
k	-0.2061	-0.3776	-0.3249	-0.3479	-0.3314	-0.3812
σ	4.6556	4.0694	4.3876	3.9173	4.4316	4.0535
μ	4.2174	25.7195	2.9871	25.5709	3.2361	24.7449

Tabelle 3.3-19: Erwartete tiefste (min) / höchste (max) Stundenmittel der Temperatur [°C] für Bern und Mühleberg für verschiedene Wiederkehrperioden. In eckigen Klammern ist das 95% Konfidenzintervall angegeben.

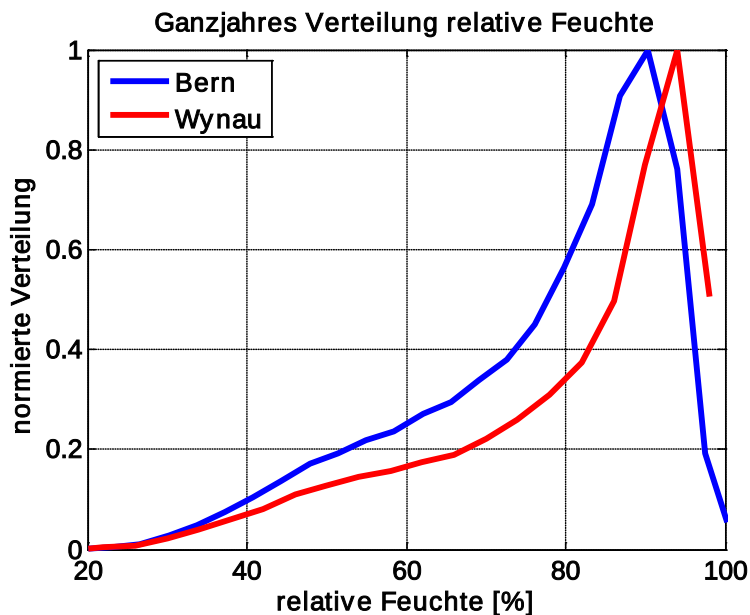
Wiederkehrperiode	Bern 1981-2006 min	Bern 1981-2006 max	Mühleberg 10 m 1987-2007 min	Mühleberg 10 m 1987-2007 max	Mühleberg 110 m 1987-2007 min	Mühleberg 110 m 1987-2007 max
50 Jahre	-19.8 [-15.0;-26.5]	35.2 [32.5;38.7]	-14.4 [-10.3;-20.2]	35.3 [32.1;39.5]	-14.6 [-10.5;-20.3]	34.2 [30.9;38.6]
100 Jahre	-20.8 [-15.5;-28.3]	35.5 [32.6;39.2]	-14.8 [-10.5;-21.1]	35.6 [32.3;40.2]	-15.0 [-10.7;-21.2]	34.5 [31.0;39.2]
200 Jahre	-21.6 [-15.9;-29.9]	35.8 [32.8;39.6]	-15.1 [-10.6;-21.9]	35.9 [32.4;40.7]	-15.3 [-10.9;-22.0]	34.7 [31.1;39.7]
1'000 Jahre	-23.0 [-16.5;-33.1]	36.1 [32.9;40.3]	-15.7 [-10.8;-23.3]	36.3 [32.6;41.6]	-15.9 [-11.1;-23.3]	35.0 [31.3;40.5]
10'000 Jahre	-24.5 [-17.1;-36.8]	36.3 [33.0;40.8]	-16.1 [-11.0;-24.7]	36.6 [32.7;42.4]	-16.2 [-11.2;-24.6]	35.2 [31.3;41.1]

Relative Luftfeuchtigkeit

Die relative Luftfeuchtigkeit variiert lokal durch die Verdunstungsmöglichkeiten in der Umgebung. Das bestehende Kernkraftwerk Mühleberg liegt direkt an der Aare, wie die Station Wynau. Deshalb wurden die Daten von Wynau zusätzlich zur Datenreihe von Bern analysiert (siehe Abbildung 3.3-8).

Bei der Station Wynau kommen Feuchtwerte > 90% häufiger vor als bei der Station Bern. Auf der Gegenseite kommt es in Bern auch zu Werten > 100%.

Abbildung 3.3-8: Normierte Verteilung der relativen Feuchte (der Wert = 1 bedeutet, dass dieser Wert am häufigsten vorkommt). Die Kurve für Wynau endet bei 98%. Der Wert entspricht der Häufigkeit in der Klasse 96-100% während der letzte Wert für Bern die Häufigkeit der Klasse von 99-103% angibt.



3.3.6 Vereisung

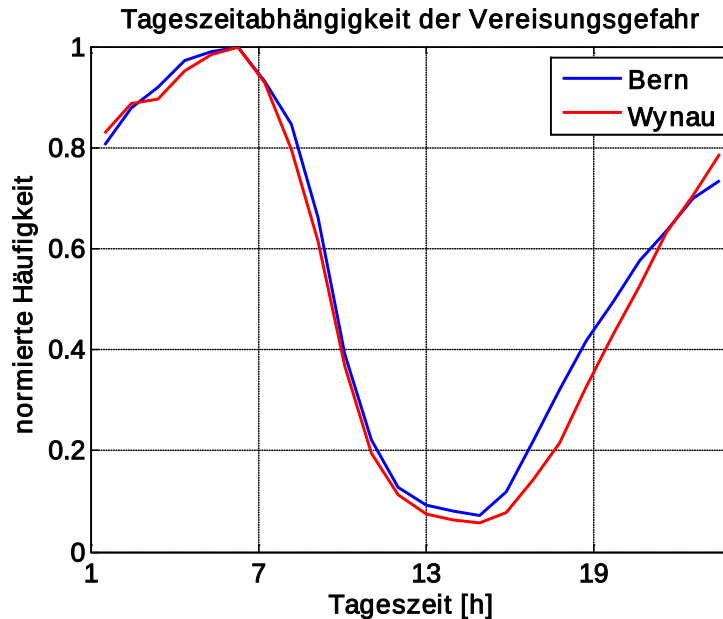
Für eine Abschätzung der Gefahr von Vereisung wurden zwei Bedingungen berücksichtigt. Einerseits eine Temperatur zwischen -5 und 0 °C und andererseits eine relative Feuchte von > 90%. Diese Bedingungen werden in den Monaten Oktober bis April erreicht. Anhand der Analyse für Bern und Wynau zeigt sich, dass in Wynau häufiger Vereisung auftreten kann als in Bern (siehe Tabelle 3.3-20).

Tabelle 3.3-20: Anzahl der monatlichen Stunden mit Gefahr für Vereisung

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Bern	87	46	18	3	0	0	0	0	0	4	41	89
Wynau	103	96	54	12	0	0	0	0	0	6	48	93

Die beiden Bedingungen unterliegen auch einem starken Tagesgang (siehe Abbildung 3.3-9). So ist die Gefahr in den frühen Morgenstunden am grössten, während sie um die Mittagszeit praktisch gleich Null ist.

Abbildung 3.3-9: Verteilung der Vereisungsgefahr in Funktion der Tageszeit. Die Gefahr der Vereisung ist von der Tageszeit abhängig.



3.3.7 Niederschlag

Die beiden Messstationen Mühleberg und Bern liegen etwa 12 km voneinander entfernt. Der Korrelationskoeffizient in den Niederschlagsmessungen beträgt 0.87. An beiden Standorten muss mit einer Niederschlagsmenge von ungefähr 1'000 mm pro Jahr gerechnet werden. Die Niederschlagsmenge hat einen Jahresgang mit doppelt so hohem Niederschlag im Sommer wie im Winter. Die Unterschiede zwischen Bern und Mühleberg in der höchsten Stunden- (Tabelle 3.3-21 und Tabelle 3.3-22) resp. Tagesniederschlagsmenge (Tabelle 3.3-21 und Tabelle 3.3-22) sind auf die unterschiedliche Länge der Datenreihen zurückzuführen. Grossereignisse sind zum Teil nur in der 140-jährigen Datenreihe von Bern zu finden, da sie zeitlich vor dem Beginn der Messreihe von Mühleberg liegen. Der Korrelationskoeffizient, die gleiche Jahressumme und die ähnlichen monatlichen Mittelwerte (Tabelle 3.3-25 und Tabelle 3.3-26) zeigen, dass das Niederschlagsregime in Mühleberg und Bern ähnlich ist. Wynau liegt in einem leicht niederschlagsreicheren Gebiet mit einer Jahressumme, die um 15% höher ist als in Bern.

Tabelle 3.3-21: Höchste stündliche Niederschlagsmenge Mühleberg, Bern und Wynau (mm)

Ort	Zeitperiode	Maximum (Jahr)
Mühleberg	1988 - 2007	22.4 mm (2007)
Bern	1981 - 2006	40.4 mm (1981)
Wynau	1981 - 2007	35.4 mm (1999)

Tabelle 3.3-22: Höchste stündliche Niederschlagsmenge Mühleberg, Bern und Wynau (mm)

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Mühleberg 1988-2007	6.5	6.5	7.4	9.7	13.1	22.4	21.7	20.3	16.8	12.5	7.6	11.4
Bern 1981-2006	6.8	8.8	10.1	20.9	21.7	34.0	40.4	25.9	23.2	16.9	15.9	8.2
Wynau 1981-2007	9.2	7.8	8.0	9.1	17.2	27.1	29.2	35.4	27.0	29.7	9.1	7.2

Tabelle 3.3-23: Höchste Tagesniederschlagsmenge Mühleberg, Bern und Wynau (mm)

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Mühleberg 1988-2007	36.9	38.2	40.3	46.2	55.8	67.6	48.4	75.3	56.2	57.7	46.0	38.0
Bern 1864-2006	52.8	87.9	56.3	56.3	64.9	78.5	66.4	76.3	67.9	88.9	67.9	61.6
Wynau 1981-2007	51.7	72.5	55.5	44.4	46.1	49.0	53.1	78.7	92.3	52.4	51.2	40.8

Tabelle 3.3-24: Höchste 5-Tagesniederschlagsmenge Mühleberg, Bern und Wynau (mm)

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Mühleberg 1988-2007	76.9	69.7	84.8	91.9	112.8	110.0	93.2	142.3	92.5	83.6	70.1	93.8
Bern 1864-2006	126.4	148.0	119.0	109.6	113.6	137.9	108.3	125.4	123.7	173.0	128.1	92.7
Wynau 1981-2007	99.7	152.6	96.1	94.7	95.6	85.6	82.9	112.6	163.7	92.3	136.2	113.2

Tabelle 3.3-25: Minimale, mittlere und maximale monatliche Niederschlagsmenge Mühleberg (mm)

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Min	11.4	8.7	17.1	9.8	27.7	20.4	35.4	9.8	12.3	0.3	11.0	25.6
Mittel	51.2	55.4	65.5	80.7	99.5	107.2	103.9	108.1	90.7	84.9	72.6	69.7
Max	144.7	114.8	251.2	181.9	219.2	238.0	201.4	261.5	194.5	141.1	185.3	131.1

Tabelle 3.3-26: Minimale, mittlere und maximale monatliche Niederschlagsmenge Bern (mm)

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Min	4.7	1.3	4.5	0.0	17.0	20.2	1.2	10.5	0.7	1.8	2.5	0.4
Mittel	54.8	53.3	64.9	77.9	98.4	112.7	108.7	111.0	90.0	81.6	72.9	64.2
Max	174.4	186.9	303.2	208.8	188.7	276.3	240.8	255.6	252.3	296.6	270.5	194.3

Mit einer "generalized extreme value distribution" (GEV) wurden Wiederkehrperioden der Extremereignisse für den stündlichen und täglichen Niederschlag ermittelt (siehe Abbildung 3.3-10 bis Abbildung 3.3-12). Die Werte für die Wiederkehrperioden ab 1'000 Jahren wurden im stündlichen Niederschlag weggelassen, da diese die Extremwerte der täglichen Niederschlagsmenge weit übersteigen und die Weltrekorde für stündlichen Niederschlag brechen würden, was in der Schweiz nicht zu erwarten ist. Die Extrapolation bei der Extremwertstatistik bei stündlichen Niederschlagsmengen ist somit nicht zweckmässig. Für eine Analyse von Starkniederschlägen werden die Extremwerte der Tagessumme des Niederschlags als realistischer eingestuft als die der Stundensumme. Zur Bestimmung der Extremwertverteilung der Tageswerte für Bern konnte auf eine zeitlich fünf Mal längere Datenreihe zurückgegriffen werden als bei den Stundenwerten. Ein dreimaliges Überschreiten des 50-jährigen Ereignisses von Bern kann in der 140-jährigen Datenreihe erwartet werden, was tatsächlich der Fall war und in Abbildung 3.3-13 aufgezeigt wird. Die Extremwertverteilungen der Tagessummen von Bern, Wynau und Mühleberg liefern ähnliche Resultate, was für ähnliche Niederschlagsregimes spricht. Falls ein 10'000-jährliches Ereignis eintritt, würde innerhalb eines Tages ungefähr 13% der Jahressumme an Niederschlag fallen.

Abbildung 3.3-10: GEV Verteilung und Histogramme (normiert) der stündlichen Niederschlagsmenge für Bern 1981-2006 und Mühleberg 1988-2007 [mm]

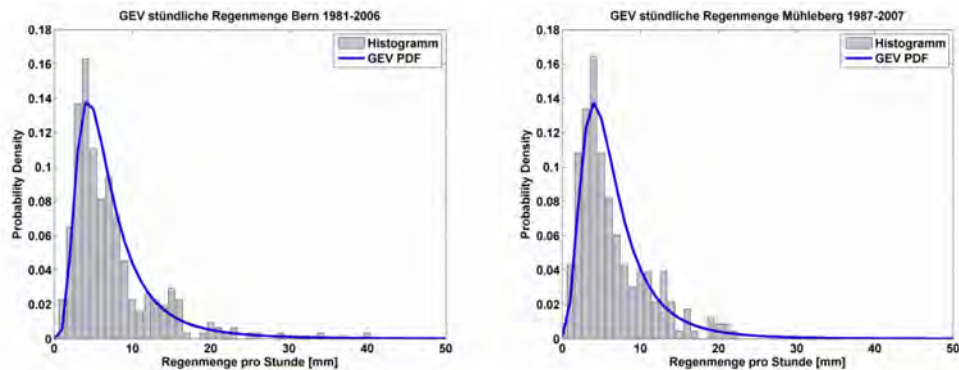


Tabelle 3.3-27: Parameter der GEV Verteilungen der stündlichen Niederschlagsmengen von Abbildung 3.3-10

Parameter	Bern 1981-2006	Mühleberg 1988-2007
k	0.2949	0.2323
σ	2.7485	2.7424
μ	5.0006	4.5782

Tabelle 3.3-28: Erwartete höchste Stundensumme [mm] für verschiedene Wiederkehrperioden

Bern 1981 - 2006	50-jährlich	100-jährlich	200-jährlich
Niederschlag [mm]	57.1	71.1	88.2
KI 95% [m/s]	[36.4 ; 93.3]	[42.9 ; 123.3]	[50.3 ; 162.5]

Mühleberg 1988 - 2007	50-jährlich	100-jährlich	200-jährlich
Niederschlag [mm]	44.9	54.1	64.8
KI 95% [m/s]	[27.2 ; 78.8]	[30.8 ; 101.5]	[34.8 ; 130.3]

Abbildung 3.3-11: GEV Verteilung und Histogramme (normiert) der täglichen Niederschlagsmenge für Bern 1864-2006, Wynau 1981-2007 und Mühleberg 1988-2007 [mm]

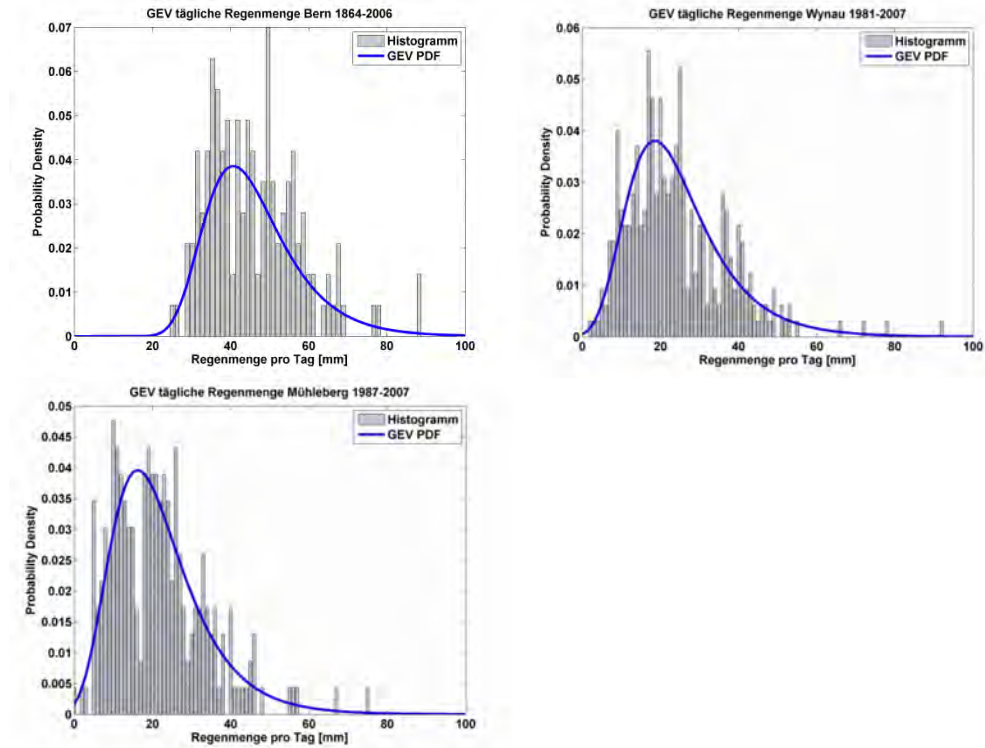


Tabelle 3.3-29: Parameter der GEV Verteilungen der Tagessumme der Niederschlagsmenge von Abbildung 3.3-11

Parameter	Bern 1864-2006	Wynau 1981-2007	Mühleberg 1988-2007
k	-0.0106	0.0273	0.0182
σ	9.5420	9.6728	9.2910
μ	40.5567	18.7753	16.3743

Tabelle 3.3-30: Erwartete höchste Tagessumme [mm] für verschiedene Wiederkehrperioden

Bern 1864 - 2006	50-jährlich	100-jährlich	200-jährlich	1'000-jährlich	10'000-jährlich
Niederschlag [mm]	77.0	83.4	89.7	104.1	124.3
KI 95% [m/s]	[63.8 ; 96.7]	[67.0 ; 109.3]	[69.9 ; 123.0]	[75.6 ; 159.5]	[81.8 ; 225.4]

Wynau 1981 - 2007	50-jährlich	100-jährlich	200-jährlich	1'000-jährlich	10'000-jährlich
Niederschlag [mm]	86.4	94.4	102.7	122.4	152.1
KI 95% [m/s]	[65.1 ; 118.4]	[69.3 ; 133.9]	[73.4 ; 150.6]	[82.2 ; 194.6]	[93.5 ; 272.9]

Mühleberg 1988 - 2007	50-jährlich	100-jährlich	200-jährlich	1'000-jährlich	10'000-jährlich
Niederschlag [mm]	79.4	86.7	94.1	111.6	137.5
KI 95% [m/s]	[56.2 ; 117.7]	[59.5 ; 133.9]	[62.6 ; 151.6]	[69.1 ; 198.7]	[77.0 ; 284.3]

Abbildung 3.3-12: Wiederkehrperioden (rote Linie) der Niederschlags-Tagessumme für Bern (links) und Mühleberg (rechts). Der Wiederkehrwert von 80 mm wird in 50 Jahren jeweils 1 Mal erwartet.

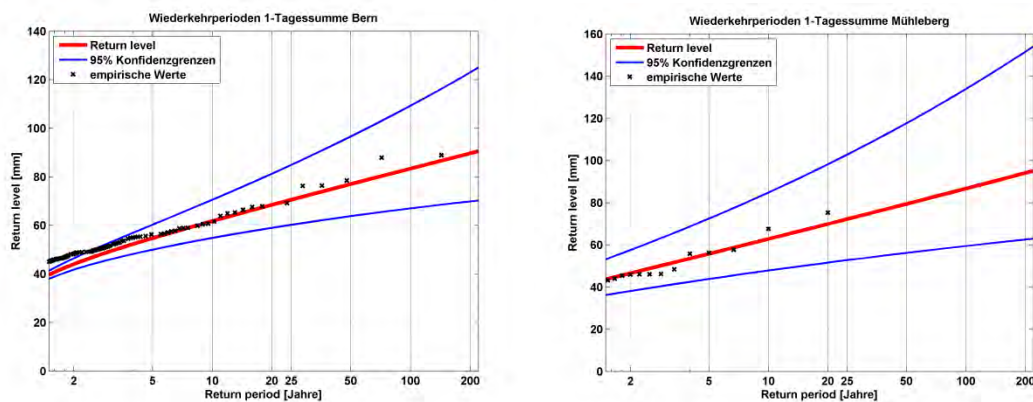
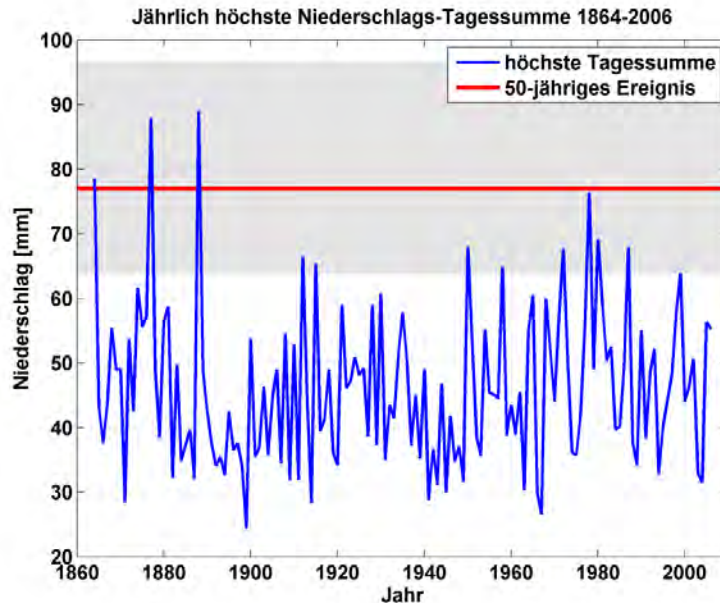


Abbildung 3.3-13 zeigt als blaue Linie die höchste Tagessumme des Niederschlags pro Jahr der Datenreihe von Bern und als rote Linie das 50-jährliche Extremereignis. Es wurde in diesen 140 Jahren der Statistik entsprechend 3 Mal überschritten. Der graue Balken ist das 95% Konfidenzintervall.

Abbildung 3.3-13: Jahreshöchstwerte der Niederschlags-Tagessumme [mm] und 50-jährliches Ereignis (rot) mit 95% Konfidenzintervall (grauer Balken)



3.3.8 Schnee

Für statistische Aussagen zur Schneehöhe kann auf die Datenreihe von Bern zurückgegriffen werden. Das 100-jährliche Ereignis der maximalen Gesamtschneehöhe liegt bei 66 cm und wurde 1931 das letzte Mal mit 95 cm überschritten, wie Abbildung 3.3-14 zeigt. Tabelle 3.3-31 zeigt die Gesamtschneehöhe und Schneelast für Wiederkehrperioden bis 10'000 Jahre.

Abbildung 3.3-14: Grösste jährliche Schneeanhäufungen in Bern

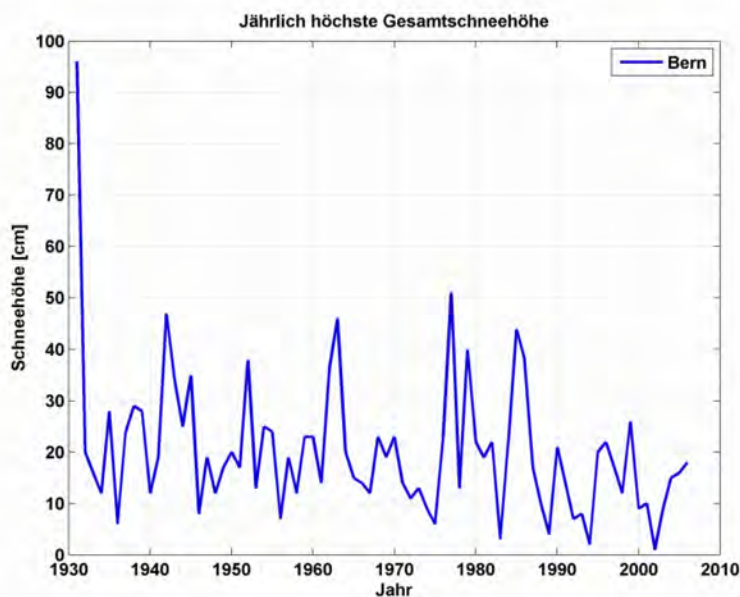


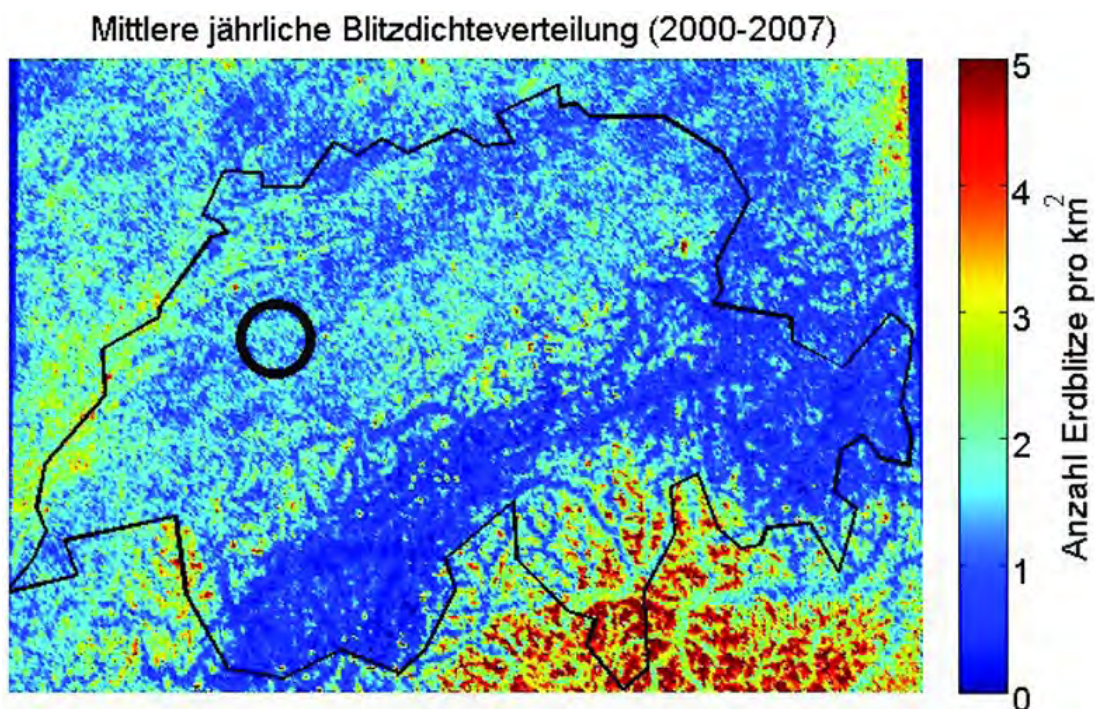
Tabelle 3.3-31: Erwartete höchste Gesamtschneehöhe [cm] und Schneelasten für verschiedene Wiederkehrperioden (KI = Konfidenzintervall). Für die mittlere Raumlast von Schnee wurde gemäss [91] 3kN/m^3 angenommen.

Bern 1931 - 2006	50-jährlich	100-jährlich	200-jährlich	1'000-jährlich	10'000-jährlich
Schneehöhe [cm]	56	66	76	102	149
KI 95% [m/s]	[38 ; 87]	[42 ; 109]	[46 ; 135]	[55 ; 217]	[66 ; 411]
Schneelast [kN/m^2]	1.7	2.0	2.3	3.1	4.5

3.3.9 Blitze

Die mittlere jährliche Blitzdichteverteilung der Schweiz (Abbildung 3.3-15) zeigt eine starke Blitzaktivität (> 5 Blitze pro km^2 im Jahr) im Tessin und erhöhte Aktivität auf den Jurahöhen und dem Alpennordhang entlang. Das Mittelland ist mit 1 bis 2 Blitzen pro km^2 im Jahr betroffen; die Region Mühleberg registriert im Mittel pro Jahr 1.5 Blitze pro km^2 . Die Blitzsaison dauert ein halbes Jahr, von Mitte April bis Mitte Oktober. In den Wintermonaten ist die Aktivität annähernd Null.

Abbildung 3.3-15: Mittlere jährliche Blitzdichte in der Schweiz von Blitzen, die den Boden erreichen. Der schwarze Kreis lokalisiert den Standort Mühleberg.



Der Standort Mühleberg liegt an der Aare in der Nähe des Wohlensees auf einer Fläche von etwa 0.1 km^2 . Bei einer Blitzdichte von 1.5 Blitzen/km^2 im Jahr werden pro Jahr 0.15 Blitze den Standort treffen. Dies entspricht ein Mal alle 6.7 Jahre.

3.3.10 Hagel

Gemäss der Hagelgefahrenkarte der Schweizerischen Hagelversicherungs-Gesellschaft wird das Risiko für die Umgebung von Mühleberg als leicht erhöht eingestuft¹. Tabelle 3.3-32 zeigt die Anzahl Hageljahre in der Umgebung von Mühleberg im Zeitraum von 1961-2004. 1 Hageljahr bedeutet, dass mindestens ein Mal pro Jahr Hagel gefallen ist.

Durchschnittlich treten Hagelereignisse in der Region alle 1.3-2.7 Jahre auf.

Tabelle 3.3-32: Anzahl Hageljahre in der Umgebung von Mühleberg im Zeitraum von 1961-2004

Ort	Anzahl Hageljahre 1961–2004
Bern	25
Mühleberg	31
Frauenkappelen	18
Kallnach	22
Kerzers	28
Laupen	16
Wohlen bei Bern	30

Quelle: Schweizerische Hagel-Versicherungs-Gesellschaft

3.3.11 Erwartete Weiterentwicklung, Klimaerwärmung

3.3.11.1 Die letzten 150 Jahre

Die homogenisierten Datenreihen [90] von Abbildung 3.3-16 zeigt für beide Stationen den gleichen Verlauf über die 150 Jahre. 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. Bei der jährlichen Niederschlagsmenge (Abbildung 3.3-17) lässt sich bis jetzt noch kein Trend abschätzen.

¹ Quelle: Schweizerische Hagel-Versicherungs-Gesellschaft. <http://www.hagel.ch/>, (Stand 15.9.2008)

Abbildung 3.3-16: Mittlere Temperatur der letzten 150 Jahre in Bern und Basel. Das gleitende Mittel zeigt einen deutlichen Anstieg in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts.

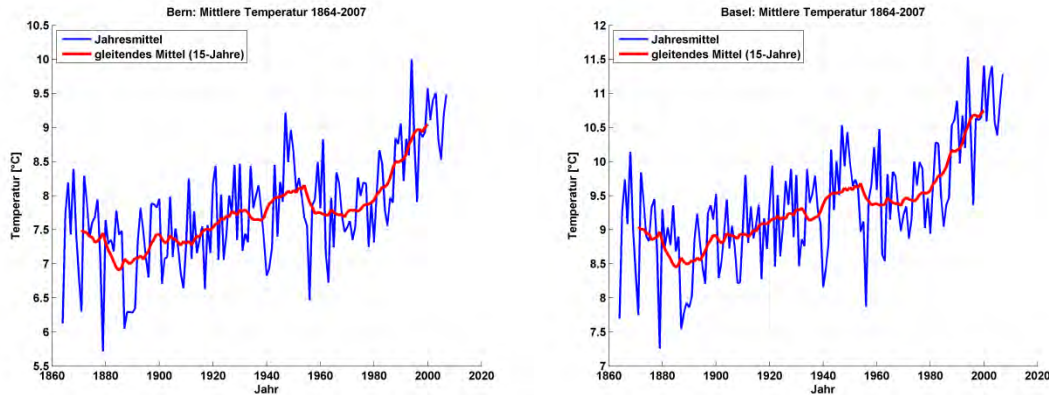
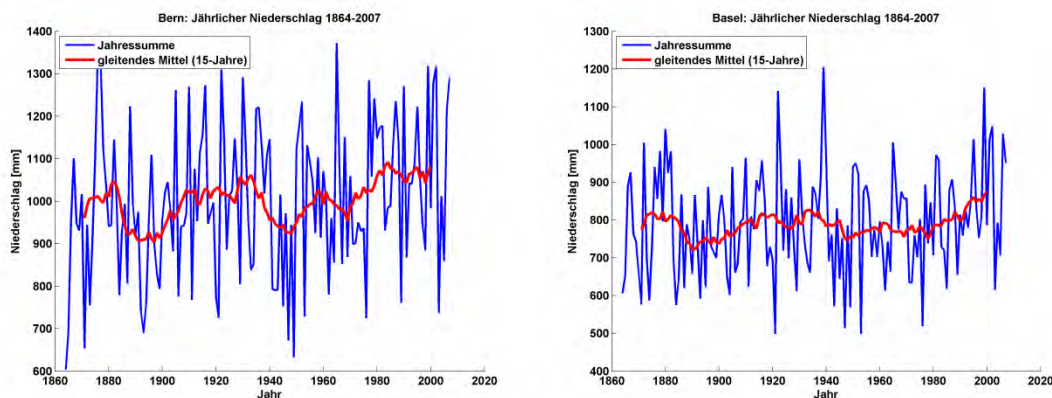


Abbildung 3.3-17: Jährliche Niederschlagsmenge der letzten 150 Jahre in Bern und Basel



3.3.11.2 Klimaprognosen für das 21. Jahrhundert

Die globalen Klimamodelle (siehe z.B. [15] oder [38]) lassen vermuten, dass die mittlere Temperatur von 1990 bis 2100 global um ca. 3.0 °C steigen wird.

Für die Region Schweiz werden trockenere Sommer und nassere Winter vorhergesagt. Bis 2070 zeigen die Modellläufe im Mittel für den Sommer eine Zunahme von ca. 3.8 °C und im Winter eine Zunahme von ca. 2.6 °C in der Temperatur (siehe auch Tabelle 3.3-33). Durch die Verschiebung der Temperaturverteilung zu höheren Temperaturen verschieben sich auch die Wiederkehrwerte der 50- und 100-jährlichen Ereignisses.

Tabelle 3.3-33: Saisonale Aufteilung der Zunahme der Temperatur für die Jahre 2030, 2050 und 2070 gegenüber 1990. Angegeben ist der Median und in Klammern das 95% Konfidenzintervall. (Nach OcCC [15])

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 bis 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)

Bei den Niederschlagsmengen wird eine Zunahme von mehr als 10% im Winter und eine Abnahme grösser als 20% im Sommer erwartet. Durch die steigende Temperatur wird auch eine Zunahme der Häufigkeit von Starkniederschlägen erwartet. Mit der Erwärmung wird auch die Schneefallgrenze steigen und die Häufigkeit von Schnee im Mittelland abnehmen. Zudem wird gefallener Schnee weniger lange liegen bleiben.

Für die Windstärken ist die Prognose unsicher, da sich mit dem ändernden Klima auch die Zugbahn der Tiefdruckgebiete verändert. Starke Tiefdruckgebiete sind seit 1930 häufiger geworden, deren Zugbahnen haben sich aber nordwärts verschoben. Die Anzahl Starkwindtage (Böenspitzen > 90 km/h) hat in Zürich in den letzten 150 Jahren abgenommen [50]. Die zukünftige Entwicklung ist jedoch schwierig zu interpretieren: die Klimamodelle zeigen noch grosse Unsicherheiten. Einerseits wirkt die Zunahme des Wasserdampfes in der Atmosphäre verstärkend auf Intensität und Häufigkeit von Sturmtiefen, andererseits werden die Temperaturgegensätze zwischen Arktis und tropischen Regionen geringer und somit auch das Potential für starke Tiefdruckbildung.

Für Tornados lässt sich keine genaue Aussage machen über die Entwicklung der Tornadoaktivität in der Schweiz, da die Gewitterlagencharakteristik von Jahr zu Jahr verschieden ist.

3.3.12 Ausbreitungsklassen für den Standort Mühleberg

Die Bestimmung der Ausbreitungsklassen erfolgte nach Dokument KTA 1508 [89]. Die Diffusionskategorien A-F wurden mit Hilfe des Temperaturgradienten und der mittleren Geschwindigkeit in 10 m Höhe gemäss Tabelle 7-2 in genanntem Dokument KTA 1508 bestimmt.

Aus den Tabelle 3.3-34 bis Tabelle 3.3-37 ist ersichtlich, dass die Kategorie D mehr als ein Drittel der Zeit überwiegt. Dies ist auch in der Aufteilung für jeden Monat der Fall. Nur in den Nachtstunden von Frühling bis Herbst überwiegen die Kategorien E und F.

Tabelle 3.3-34: Häufigkeit der Ausbreitungskategorien A-F. Gezählt wurden jede Stunde von 2/1987 bis 12/2007

Klasse	Anzahl Stunden 1987-2007	Prozentualer Anteil
Klasse A:	12632	6.90%
Klasse B:	7678	4.20%
Klasse C:	18655	10.20%
Klasse D:	68882	37.60%
Klasse E:	36741	20.00%
Klasse F:	36640	20.00%
Fehlende Messwerte:	2107	1.10%

Tabelle 3.3-35: Anzahl Stunden pro Monat je Ausbreitungsklasse zwischen 2/1987 bis 12/2007

Klasse	A	B	C	D	E	F	Fehlwerte
Jan	890	393	1289	6805	3235	2205	63
Feb	452	342	1292	6188	2818	3111	28
Mrz	1552	558	1939	5634	2528	3388	25
Apr	1150	970	2131	5136	2423	3297	13
Mai	1759	1001	2038	4773	2650	3357	46
Jun	1667	902	1653	4742	2785	3283	88
Jul	1177	929	1667	4629	3043	3734	445
Aug	1060	757	1356	4397	3130	4409	515
Sep	638	595	1375	5098	3490	3582	342
Okt	786	487	1276	6457	3772	2728	118
Nov	826	320	1173	7100	3506	1795	400
Dez	675	424	1466	7923	3361	1751	24

Tabelle 3.3-36: Mittlere Anzahl Stunden pro Monat je Ausbreitungsklasse am Tag (6-18 UTC)

Klasse	A	B	C	D	E	F
Jan	27	14	42	181	73	34
Feb	16	13	47	169	55	37
Mrz	48	25	80	161	37	21
Apr	52	43	91	141	24	10
Mai	76	44	89	136	22	6
Jun	72	42	74	146	21	5
Jul	54	43	76	156	29	7
Aug	48	36	62	156	41	23
Sep	29	28	62	162	51	23
Okt	32	22	54	178	59	26
Nov	25	13	43	190	60	21
Dez	20	14	43	200	70	25

Tabelle 3.3-37: Mittlere Anzahl Stunden pro Monat je Ausbreitungsklasse in der Nacht (18-6 UTC)

Klasse	A	B	C	D	E	F
Jan	18	6	22	160	89	76
Feb	5	4	14	125	79	111
Mrz	26	2	12	107	84	141
Apr	3	3	11	104	91	147
Mai	8	4	8	92	105	154
Jun	7	1	5	80	111	151
Jul	2	2	3	64	116	170
Aug	3	1	3	53	108	187
Sep	1	0	3	81	116	148
Okt	5	1	6	130	121	104
Nov	14	2	13	148	107	65
Dez	12	6	27	178	90	58

Die 4-Parametrische Ausbreitungsstatistik basiert auf den Daten der Jahre 1989–2007 da für den Niederschlag erst ab Oktober 1988 Daten vorhanden sind. Die tabellierten Werte sind Anzahl Stunden [h] im Zeitraum vom 1989-2007. (Tabelle 3.3-38 bis Tabelle 3.3-61).

Tabelle 3.3-38: 4-Parametrische Ausbreitungsstatistik: kein Niederschlag, Ausbreitungsklasse A

ABK	Windrichtung [°]	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	94	94	59	46	7	0	0	0	0	0	300	0.2
A	45-75	95	98	151	139	34	3	0	0	0	0	520	0.3
A	75-105	173	279	299	441	199	20	1	0	0	0	1412	0.8
A	105-135	187	405	283	177	18	0	0	0	0	0	1070	0.6
A	135-165	119	188	61	1	0	0	0	0	0	0	369	0.2
A	165-195	127	62	4	6	1	0	0	0	0	0	200	0.1
A	195-225	297	191	23	9	1	0	0	0	0	0	521	0.3
A	225-255	611	1053	241	116	19	4	0	0	0	0	2044	1.2
A	255-285	389	1114	615	463	152	26	0	0	0	0	2759	1.7
A	285-315	204	352	160	102	22	0	0	0	0	0	840	0.5
A	315-345	130	132	78	31	2	1	0	0	0	0	374	0.2
A	345-15	154	133	84	41	5	0	0	0	0	0	417	0.3
Summe		2580	4101	2058	1572	460	54	1	0	0	0		
%		1.5	2.5	1.2	0.9	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

Tabelle 3.3-39: 4-Parametrische Ausbreitungsstatistik: kein Niederschlag, Ausbreitungsklasse B

ABK	Windrichtung [°]	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	51	57	49	53	3	0	0	0	0	0	213	0.1
B	45-75	84	73	95	163	31	4	2	0	0	0	452	0.3
B	75-105	113	182	203	366	74	14	0	0	0	0	952	0.6
B	105-135	126	240	223	122	5	0	0	0	0	0	716	0.4
B	135-165	71	81	17	2	0	0	0	0	0	0	171	0.1
B	165-195	58	44	2	0	0	0	0	0	0	0	104	0.1
B	195-225	119	69	13	2	1	0	0	0	0	0	204	0.1
B	225-255	266	369	141	119	22	3	0	0	0	0	920	0.6
B	255-285	230	599	414	495	91	22	4	0	0	0	1855	1.1
B	285-315	135	196	98	74	6	0	0	0	0	0	509	0.3
B	315-345	78	82	57	30	9	0	0	0	0	0	256	0.2
B	345-15	58	49	33	25	5	1	0	0	0	0	171	0.1
Summe		1389	2041	1345	1451	247	44	6	0	0	0		
%		0.8	1.2	0.8	0.9	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

Tabelle 3.3-40: 4-Parametrische Ausbreitungsstatistik: kein Niederschlag, Ausbreitungsklasse C

ABK	Windrichtung [°]	Windgeschwindigkeit [m/s]										Total	%
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18		
C	15-45	91	83	96	150	17	1	0	0	0	0	438	0.3
C	45-75	125	146	178	541	295	33	2	0	0	0	1320	0.8
C	75-105	190	350	592	2056	1314	202	1	0	0	0	4705	2.8
C	105-135	214	407	456	446	44	1	0	0	0	0	1568	0.9
C	135-165	110	92	24	4	0	0	1	0	0	0	231	0.1
C	165-195	64	43	3	2	0	0	0	0	0	0	112	0.1
C	195-225	117	74	13	8	0	0	0	0	0	0	212	0.1
C	225-255	318	369	149	293	188	60	6	0	0	0	1383	0.8
C	255-285	321	623	551	1315	943	169	17	2	0	0	3941	2.4
C	285-315	177	222	158	133	33	0	0	0	0	0	723	0.4
C	315-345	117	117	63	70	20	0	0	0	0	0	387	0.2
C	345-15	107	75	55	90	18	3	0	0	0	0	348	0.2
Summe		1951	2601	2338	5108	2872	469	27	2	0	0		
%		1.2	1.6	1.4	3.1	1.7	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0		

Tabelle 3.3-41: 4-Parametrische Ausbreitungsstatistik: kein Niederschlag, Ausbreitungsklasse D

ABK	Windrichtung [°]	Windgeschwindigkeit [m/s]										Total	%
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18		
D	15-45	508	343	246	265	34	3	0	0	0	0	1399	0.8
D	45-75	703	641	520	892	295	44	2	0	0	0	3097	1.9
D	75-105	1137	1927	2214	4283	2129	332	22	0	0	0	12044	7.2
D	105-135	1171	1646	1431	1406	261	17	0	0	0	0	5932	3.6
D	135-165	472	253	63	7	0	0	1	0	0	0	796	0.5
D	165-195	349	154	24	4	2	0	0	0	0	0	533	0.3
D	195-225	870	334	56	53	4	0	0	0	0	0	1317	0.8
D	225-255	1883	1242	449	893	490	197	65	2	0	0	5221	3.1
D	255-285	1214	1584	1374	3910	2634	956	190	30	0	0	11892	7.1
D	285-315	660	786	784	1128	218	14	0	0	0	0	3590	2.2
D	315-345	568	416	317	195	31	9	0	0	0	0	1536	0.9
D	345-15	700	384	254	185	18	1	0	0	0	0	1542	0.9
Summe		10235	9710	7732	13221	6116	1573	280	32	0	0		
%		6.1	5.8	4.6	7.9	3.7	0.9	0.2	0.0	0.0	0.0		

Tabelle 3.3-42: 4-Parametrische Ausbreitungsstatistik: kein Niederschlag, Ausbreitungsklasse E

ABK	Wind- richtung [°]	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	486	511	314	108	6	0	0	0	0	0	1425	0.9
E	45-75	788	1083	696	361	33	2	0	0	0	0	2963	1.8
E	75-105	1902	3240	3171	2121	232	10	0	0	0	0	10676	6.4
E	105-135	932	1125	730	366	67	0	0	0	0	0	3220	1.9
E	135-165	179	137	49	18	0	0	0	0	0	0	383	0.2
E	165-195	140	108	37	13	0	0	0	0	0	0	298	0.2
E	195-225	463	222	68	36	0	0	0	0	0	0	789	0.5
E	225-255	893	634	229	107	26	5	6	0	0	0	1900	1.1
E	255-285	530	524	401	556	105	24	2	0	0	0	2142	1.3
E	285-315	391	426	455	362	17	1	0	0	0	0	1652	1.0
E	315-345	548	461	359	148	0	0	0	0	0	0	1516	0.9
E	345-15	850	733	471	119	3	1	0	0	0	0	2177	1.3
Summe		8102	9204	6980	4315	489	43	8	0	0	0		
%		4.9	5.5	4.2	2.6	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

Tabelle 3.3-43: 4-Parametrische Ausbreitungsstatistik: 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	368	537	512	249	1	0	0	0	0	0	1667	1.0
F	45-75	1323	2265	2535	933	14	0	0	0	0	0	7070	4.2
F	75-105	3762	5394	5150	3216	101	0	0	0	0	0	17623	10.6
F	105-135	240	372	405	297	11	0	0	0	0	0	1325	0.8
F	135-165	58	71	46	15	1	0	0	0	0	0	191	0.1
F	165-195	44	47	38	15	0	0	0	0	0	0	144	0.1
F	195-225	111	70	56	28	0	0	0	0	0	0	265	0.2
F	225-255	249	214	170	100	3	0	0	0	0	0	736	0.4
F	255-285	180	204	163	117	18	1	0	0	0	0	683	0.4
F	285-315	171	170	161	110	4	0	0	0	0	0	616	0.4
F	315-345	237	226	171	104	1	0	0	0	0	0	739	0.4
F	345-15	538	584	426	198	3	0	0	0	0	0	1749	1.1
Summe		7281	10154	9833	5382	157	1	0	0	0	0		
%		4.4	6.1	5.9	3.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

Tabelle 3.3-44: 4-Parametrige Ausbreitungsstatistik: Niederschlag bis 0.5 mm/h,
Ausbreitungsklasse A

ABK	Windrichtung [°]	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	6	6	3	0	0	0	0	0	0	0	15	0.0
A	45-75	5	4	5	4	3	0	0	0	0	0	21	0.0
A	75-105	27	33	18	9	3	2	0	0	0	0	92	0.1
A	105-135	14	19	11	6	0	0	0	0	0	0	50	0.0
A	135-165	5	3	1	0	0	0	0	0	0	0	9	0.0
A	165-195	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	3	0.0
A	195-225	4	1	2	2	0	0	0	0	0	0	9	0.0
A	225-255	10	18	10	17	5	3	0	0	0	0	63	0.0
A	255-285	12	22	41	69	44	8	0	0	0	0	196	0.1
A	285-315	9	8	16	35	3	1	0	0	0	0	72	0.0
A	315-345	4	7	12	2	0	0	0	0	0	0	25	0.0
A	345-15	2	11	4	0	1	0	0	0	0	0	18	0.0
Summe		99	133	124	144	59	14	0	0	0	0		
%		0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

Tabelle 3.3-45: 4-Parametrige Ausbreitungsstatistik: Niederschlag bis 0.5 mm/h,
Ausbreitungsklasse B

ABK	Windrichtung [°]	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	3	0	0	2	0	0	0	0	0	0	5	0.0
B	45-75	1	2	1	0	0	0	2	0	0	0	6	0.0
B	75-105	3	12	16	13	0	0	0	0	0	0	44	0.0
B	105-135	3	7	9	2	0	0	0	0	0	0	21	0.0
B	135-165	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0.0
B	165-195	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0.0
B	195-225	1	5	1	1	0	0	0	0	0	0	8	0.0
B	225-255	6	11	17	25	8	1	0	0	0	0	68	0.0
B	255-285	5	20	28	47	14	7	1	0	0	0	122	0.1
B	285-315	6	15	7	10	2	2	0	0	0	0	42	0.0
B	315-345	2	2	3	2	1	0	0	0	0	0	10	0.0
B	345-15	2	1	1	1	1	0	0	0	0	0	6	0.0
Summe		33	78	83	103	26	10	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 3.3-46: 4-Parametrische Ausbreitungsstatistik: Niederschlag bis 0.5 mm/h, Ausbreitungsklasse C

ABK	Windrichtung [°]	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	2	2	3	0	0	0	0	0	0	0	7	0.0
C	45-75	7	3	3	6	0	0	0	0	0	0	19	0.0
C	75-105	8	25	20	46	20	1	0	0	0	0	120	0.1
C	105-135	10	24	18	15	2	0	0	0	0	0	69	0.0
C	135-165	5	1	1	0	0	0	1	0	0	0	8	0.0
C	165-195	6	1	1	1	0	0	0	0	0	0	9	0.0
C	195-225	6	4	2	2	0	0	0	0	0	0	14	0.0
C	225-255	7	13	15	39	32	14	5	0	0	0	125	0.1
C	255-285	21	33	43	181	149	49	6	0	0	0	482	0.3
C	285-315	14	16	19	20	7	1	0	0	0	0	77	0.0
C	315-345	5	10	4	3	1	0	0	0	0	0	23	0.0
C	345-15	6	6	5	1	2	0	0	0	0	0	20	0.0
Summe		97	138	134	314	213	65	12	0	0	0		
%		0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

Tabelle 3.3-47: 4-Parametrische Ausbreitungsstatistik: Niederschlag bis 0.5 mm/h, Ausbreitungsklasse D

ABK	Windrichtung [°]	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	58	55	22	10	2	0	0	0	0	0	147	0.1
D	45-75	71	90	42	26	2	0	0	0	0	0	231	0.1
D	75-105	151	297	224	224	30	6	0	0	1	0	933	0.6
D	105-135	168	220	111	69	5	0	0	0	0	0	573	0.3
D	135-165	38	24	11	0	0	0	0	0	0	0	73	0.0
D	165-195	18	11	10	6	0	0	0	0	0	0	45	0.0
D	195-225	46	29	10	9	1	0	0	0	0	0	95	0.1
D	225-255	132	77	73	134	89	32	17	2	0	0	556	0.3
D	255-285	93	161	304	966	696	205	67	9	0	0	2501	1.5
D	285-315	59	143	282	491	151	24	0	0	0	0	1150	0.7
D	315-345	52	129	133	48	3	0	0	0	0	0	365	0.2
D	345-15	119	124	58	28	5	0	0	0	0	0	334	0.2
Summe		1005	1360	1280	2011	984	267	84	11	1	0		
%		0.6	0.8	0.8	1.2	0.6	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0		

Tabelle 3.3-48: 4-Parametrische Ausbreitungsstatistik: Niederschlag bis 0.5 mm/h, Ausbreitungsklasse E

ABK	Windrichtung [°]	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	39	65	27	12	1	0	0	0	0	0	144	0.1
E	45-75	72	90	40	11	0	0	0	0	0	0	213	0.1
E	75-105	248	308	163	50	4	0	0	0	0	0	773	0.5
E	105-135	151	187	84	17	1	0	0	0	0	0	440	0.3
E	135-165	25	18	11	3	0	0	0	0	0	0	57	0.0
E	165-195	11	10	6	3	0	0	0	0	0	0	30	0.0
E	195-225	11	19	6	2	0	0	0	0	0	0	38	0.0
E	225-255	40	34	31	17	1	1	1	0	0	0	125	0.1
E	255-285	51	54	61	85	19	2	0	0	0	0	272	0.2
E	285-315	17	36	67	73	3	0	0	0	0	0	196	0.1
E	315-345	37	44	50	27	0	0	0	0	0	0	158	0.1
E	345-15	87	78	55	12	0	0	0	0	0	0	232	0.1
Summe		789	943	601	312	29	3	1	0	0	0		
%		0.5	0.6	0.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

Tabelle 3.3-49: 4-Parametrische Ausbreitungsstatistik: Niederschlag bis 0.5 mm/h, Ausbreitungsklasse F

ABK	Windrichtung [°]	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	6	9	6	2	0	0	0	0	0	0	23	0.0
F	45-75	23	21	8	5	0	0	0	0	0	0	57	0.0
F	75-105	110	112	48	16	0	0	0	0	0	0	286	0.2
F	105-135	15	25	14	11	0	0	0	0	0	0	65	0.0
F	135-165	2	3	1	2	0	0	0	0	0	0	8	0.0
F	165-195	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0.0
F	195-225	2	3	2	1	0	0	0	0	0	0	8	0.0
F	225-255	3	5	6	4	0	0	0	0	0	0	18	0.0
F	255-285	1	7	8	8	2	0	0	0	0	0	26	0.0
F	285-315	0	3	5	5	0	0	0	0	0	0	13	0.0
F	315-345	0	5	2	6	0	0	0	0	0	0	13	0.0
F	345-15	4	8	9	6	0	0	0	0	0	0	27	0.0
Summe		166	201	110	66	2	0	0	0	0	0		
%		0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

Tabelle 3.3-50: 4-Parametrische Ausbreitungsstatistik: Niederschlag 0.5-3 mm/h,
Ausbreitungsklasse A

ABK	Windrichtung [°]	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	2	4	1	1	0	0	0	0	0	0	8	0.0
A	45-75	3	4	4	9	4	0	1	0	0	0	25	0.0
A	75-105	7	17	15	4	1	0	0	0	0	0	44	0.0
A	105-135	8	11	15	2	0	0	0	0	0	0	36	0.0
A	135-165	0	6	0	1	0	0	0	0	0	0	7	0.0
A	165-195	1	3	2	0	0	0	0	0	0	0	6	0.0
A	195-225	2	1	2	3	0	0	0	0	0	0	8	0.0
A	225-255	7	7	14	17	4	3	0	0	0	0	52	0.0
A	255-285	4	5	24	81	35	7	0	0	0	0	156	0.1
A	285-315	3	11	16	20	1	0	0	0	0	0	51	0.0
A	315-345	4	4	7	1	1	0	0	0	0	0	17	0.0
A	345-15	9	7	1	1	1	0	0	0	0	0	19	0.0
Summe		50	80	101	140	47	10	1	0	0	0		
%		0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

Tabelle 3.3-51: 4-Parametrische Ausbreitungsstatistik: Niederschlag 0.5-3 mm/h,
Ausbreitungsklasse B

ABK	Windrichtung [°]	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	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0.0
B	45-75	2	0	3	3	0	1	1	0	0	0	10	0.0
B	75-105	2	1	7	2	0	0	0	1	0	0	13	0.0
B	105-135	1	6	5	0	0	0	0	0	0	0	12	0.0
B	135-165	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0.0
B	165-195	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.0
B	195-225	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	3	0.0
B	225-255	2	6	2	16	5	0	1	0	0	0	32	0.0
B	255-285	3	6	13	41	21	7	4	0	0	0	95	0.1
B	285-315	1	7	13	7	3	1	0	0	0	0	32	0.0
B	315-345	3	4	2	2	0	0	0	0	0	0	11	0.0
B	345-15	1	4	5	1	0	0	0	0	0	0	11	0.0
Summe		17	37	50	75	29	9	6	1	0	0		
%		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

Tabelle 3.3-52: 4-Parametrische Ausbreitungsstatistik: Niederschlag 0.5-3 mm/h,
Ausbreitungsklasse C

ABK	Windrichtung [°]	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	4	3	2	1	0	0	0	0	0	0	10	0.0
C	45-75	3	5	2	2	0	0	0	0	0	0	12	0.0
C	75-105	4	10	15	14	5	0	0	0	0	0	48	0.0
C	105-135	7	11	8	11	0	0	0	0	0	0	37	0.0
C	135-165	4	2	0	2	0	0	0	0	0	0	8	0.0
C	165-195	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	5	0.0
C	195-225	3	3	1	4	0	0	0	0	0	0	11	0.0
C	225-255	4	6	11	28	13	12	6	0	0	0	80	0.0
C	255-285	8	11	40	148	114	45	11	0	0	0	377	0.2
C	285-315	4	11	12	31	10	7	0	0	0	0	75	0.0
C	315-345	2	3	0	2	1	1	0	0	0	0	9	0.0
C	345-15	3	4	3	2	2	0	0	0	0	0	14	0.0
Summe		48	70	95	246	145	65	17	0	0	0		
%		0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

Tabelle 3.3-53: 4-Parametrische Ausbreitungsstatistik: Niederschlag 0.5-3 mm/h,
Ausbreitungsklasse D

ABK	Windrichtung [°]	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	30	46	21	5	1	0	0	0	0	0	103	0.1
D	45-75	42	62	12	10	0	0	0	0	0	0	126	0.1
D	75-105	72	153	121	103	19	1	0	0	0	1	470	0.3
D	105-135	81	136	76	57	8	0	0	0	0	0	358	0.2
D	135-165	18	27	1	4	1	0	0	0	0	0	51	0.0
D	165-195	13	11	7	4	0	0	0	0	0	0	35	0.0
D	195-225	28	29	22	5	1	0	0	0	0	0	85	0.1
D	225-255	75	71	81	142	37	15	9	1	0	0	431	0.3
D	255-285	57	136	253	750	485	196	66	5	1	0	1949	1.2
D	285-315	24	108	242	368	110	14	0	0	0	0	866	0.5
D	315-345	28	80	86	37	3	0	0	0	0	0	234	0.1
D	345-15	48	94	56	15	3	0	0	0	0	0	216	0.1
Summe		516	953	978	1500	668	226	75	6	1	1		
%		0.3	0.6	0.6	0.9	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0		

Tabelle 3.3-54: 4-Parametrische Ausbreitungsstatistik: Niederschlag 0.5-3 mm/h, Ausbreitungsklasse E

ABK	Windrichtung [°]	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	9	28	18	3	0	0	0	0	0	0	58	0.0
E	45-75	22	53	21	6	0	0	0	0	0	0	102	0.1
E	75-105	104	125	59	31	2	0	0	0	0	0	321	0.2
E	105-135	77	76	28	11	1	0	0	0	0	0	193	0.1
E	135-165	11	12	3	1	0	0	0	0	0	0	27	0.0
E	165-195	8	8	0	1	0	0	0	0	0	0	17	0.0
E	195-225	18	12	6	4	0	0	0	0	0	0	40	0.0
E	225-255	30	31	20	11	0	0	0	0	0	0	92	0.1
E	255-285	21	30	40	51	4	0	0	0	0	0	146	0.1
E	285-315	4	18	31	27	8	0	0	0	0	0	88	0.1
E	315-345	10	23	23	12	0	0	0	0	0	0	68	0.0
E	345-15	23	38	19	5	0	0	0	0	0	0	85	0.1
Summe		337	454	268	163	15	0	0	0	0	0		
%		0.2	0.3	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

Tabelle 3.3-55: 4-Parametrische Ausbreitungsstatistik: Niederschlag 0.5-3 mm/h, Ausbreitungsklasse F

ABK	Windrichtung [°]	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	2	2	2	1	0	0	0	0	0	0	7	0.0
F	45-75	4	13	7	0	0	0	0	0	0	0	24	0.0
F	75-105	24	37	17	5	0	0	0	0	0	0	83	0.0
F	105-135	5	4	7	1	0	0	0	0	0	0	17	0.0
F	135-165	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0.0
F	165-195	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2	0.0
F	195-225	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0.0
F	225-255	0	1	3	3	0	0	0	0	0	0	7	0.0
F	255-285	1	0	2	5	1	0	0	0	0	0	9	0.0
F	285-315	0	2	2	2	0	0	0	0	0	0	6	0.0
F	315-345	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0.0
F	345-15	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0.0
Summe		37	66	42	19	1	0	0	0	0	0		
%		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

Tabelle 3.3-56: 4-Parametrige Ausbreitungsstatistik: Niederschlag mehr als 3 mm/h, Ausbreitungsklasse A

ABK	Windrichtung [°]	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	2	0	0	0	0	0	0	0	2	0.0
A	45-75	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0.0
A	75-105	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0.0
A	105-135	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0.0
A	135-165	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0.0
A	165-195	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0.0
A	195-225	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0.0
A	225-255	0	2	4	5	1	0	0	0	0	0	12	0.0
A	255-285	0	0	3	16	5	1	0	0	0	0	25	0.0
A	285-315	0	1	2	8	0	0	0	0	0	0	11	0.0
A	315-345	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0.0
A	345-15	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0.0
Summe		1	9	15	32	6	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 3.3-57: 4-Parametrige Ausbreitungsstatistik: Niederschlag mehr als 3 mm/h, Ausbreitungsklasse B

ABK	Windrichtung [°]	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	1	0	0	0	0	0	0	1	0.0
B	45-75	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.0
B	75-105	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
B	105-135	1	2	3	0	0	0	0	0	0	0	6	0.0
B	135-165	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
B	165-195	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
B	195-225	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
B	225-255	1	0	1	8	5	0	0	0	0	0	15	0.0
B	255-285	0	0	0	12	5	1	2	0	0	0	20	0.0
B	285-315	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	0.0
B	315-345	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0.0
B	345-15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
Summe		2	3	7	21	10	1	2	0	0	0		
%		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

Tabelle 3.3-58: 4-Parametrische Ausbreitungsstatistik: Niederschlag mehr als 3 mm/h, Ausbreitungsklasse C

ABK	Windrichtung [°]	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	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.0
C	75-105	0	0	4	3	2	0	0	0	0	0	9	0.0
C	105-135	0	5	1	1	0	0	0	0	0	0	7	0.0
C	135-165	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	0.0
C	165-195	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.0
C	195-225	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2	0.0
C	225-255	0	0	0	10	4	1	0	0	0	0	15	0.0
C	255-285	0	1	5	22	20	6	4	0	0	0	58	0.0
C	285-315	2	0	4	2	2	0	1	0	0	0	11	0.0
C	315-345	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0.0
C	345-15	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	3	0.0
Summe		3	7	18	41	29	8	5	0	0	0		
%		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

Tabelle 3.3-59: 4-Parametrische Ausbreitungsstatistik: Niederschlag mehr als 3 mm/h, Ausbreitungsklasse D

ABK	Windrichtung [°]	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	4	7	1	2	0	0	0	0	0	0	14	0.0
D	45-75	2	11	5	5	2	0	0	0	0	0	25	0.0
D	75-105	6	20	23	26	5	0	0	0	0	0	80	0.0
D	105-135	9	21	12	5	3	0	1	0	0	0	51	0.0
D	135-165	3	9	2	1	0	0	0	0	0	0	15	0.0
D	165-195	1	6	0	2	0	0	0	0	0	0	9	0.0
D	195-225	1	2	3	4	0	1	0	0	0	0	11	0.0
D	225-255	8	19	29	35	7	3	1	0	0	0	102	0.1
D	255-285	4	18	45	111	92	36	19	6	0	0	331	0.2
D	285-315	0	8	30	28	12	3	0	0	0	0	81	0.0
D	315-345	2	13	13	2	2	0	0	0	0	0	32	0.0
D	345-15	5	12	6	3	0	0	0	0	0	0	26	0.0
Summe		45	146	169	224	123	43	21	6	0	0		
%		0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

Tabelle 3.3-60: 4-Parametrige Ausbreitungsstatistik: Niederschlag mehr als 3 mm/h, Ausbreitungsklasse E

ABK	Windrichtung [°]	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	4	2	1	0	0	0	0	0	0	0	7	0.0
E	45-75	3	4	1	3	0	0	0	0	0	0	11	0.0
E	75-105	2	8	7	9	2	0	0	0	0	0	28	0.0
E	105-135	3	14	8	2	0	0	0	0	0	0	27	0.0
E	135-165	1	4	0	2	0	0	0	0	0	0	7	0.0
E	165-195	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
E	195-225	0	5	2	1	0	0	0	0	0	0	8	0.0
E	225-255	3	2	6	7	0	0	0	0	0	0	18	0.0
E	255-285	2	2	6	10	1	0	0	0	0	0	21	0.0
E	285-315	0	3	11	3	0	0	0	0	0	0	17	0.0
E	315-345	1	3	6	2	0	0	0	0	0	0	12	0.0
E	345-15	3	4	0	1	0	0	0	0	0	0	8	0.0
Summe		22	51	48	40	3	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		

Tabelle 3.3-61: 4-Parametrige Ausbreitungsstatistik: Niederschlag mehr als 3 mm/h, Ausbreitungsklasse F

ABK	Windrichtung [°]	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	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0.0
F	45-75	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0.0
F	75-105	0	1	1	2	0	0	0	0	0	0	4	0.0
F	105-135	1	2	0	1	1	0	0	0	0	0	5	0.0
F	135-165	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0.0
F	165-195	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.0
F	195-225	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0.0
F	225-255	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
F	255-285	0	0	1	2	1	0	0	0	0	0	4	0.0
F	285-315	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2	0.0
F	315-345	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0.0
F	345-15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
Summe		1	4	5	9	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		

3.3.13 Bewertung

Die meteorologischen Verhältnisse am Standort entsprechen dem europäischen atlantischen Klima, d.h. einem warmgemäßigten Regenklima ohne aussergewöhnliche Temperaturschwankungen. Das Windprofil ist durch die Tallage des Standortes hauptsächlich West-Ost geprägt, die Extremwerte liegen innerhalb der für die Auslegung von nuklearen Anlagen üblichen Bedingungen.

Generell ist das Klima geeignet für den Bau und Betrieb einer Kernanlage. Die möglichen meteorologisch bedingten Gefährdungen durch z.B. extreme Winde und allfällig daraus resultierende Konsequenzen für die Auslegung des EKKM werden im Kapitel 3.6 behandelt.

Der Betrieb der beiden Wasserkraftwerke Mühleberg und Niederried wird kontrolliert. Die Regelung dazu findet über eine zentrale Leitstelle statt, die sämtliche Wasserkraftwerke an der Aare zwischen Bern und dem Bielersee koordiniert; damit ist eine ausreichende Wassermenge zur Kühlung des bestehenden KKM gewährleistet. Mit dieser Regelung kann das Wasserniveau an der Mühlebergstaumauer nahezu konstant gehalten werden. Die Rückhaltekapazität im Falle eines schnell ansteigenden Wasserpegels ist somit gering, sodass der Einfluss des Wohlensees auf den Abfluss bei Hochwasser zu vernachlässigen ist. Das Wasserkraftwerk resp. Wehr bei Niederried hat ebenfalls eine geringe Rückhaltekapazität.

Aufgrund der zahlreichen Hydroinstallationen in der Aare und der Saane werden keine signifikanten Mengen Geschiebe und Geschwemmsel eingetragen, die den Strom der Aare im Standortbereich behindern könnten.

Die Aare fliesst in einem teils schluchtartig in die Molasse eingetieften Tal. Die Molasse besteht hauptsächlich aus Sandstein mit einer harten Konsistenz, was eine Verlagerung des Flusslaufes durch Überflutungsereignisse oder Erdrutsche ausschliesst. Bei Hochwasserereignissen in der Vergangenheit sind die Position und Sohle des Flusses stabil geblieben. Regelmässig durchgeführte Messungen des Aareprofils zwischen dem WKW und der Saanemündung zeigen wenig Änderungen.

3.4.1.2 Hydrologische Ereignisse

Für den Standort des EKKM sind verschiedene hydrologische Ereignisse von Bedeutung. Die wichtigsten Ereignisse sind Hochwasserereignisse und Überflutungen als Folge von Staumauerbrüchen.

Hochwasser werden von besonderen hydrometeorologischen Situationen verursacht. Diese führen zu selten auftretenden extremen Abflussereignissen. Sie werden durch ihre Abflussmengen und ihre Jährlichkeit charakterisiert.

Im Einzugsgebiet des Standortes befinden sich mehrere Staumauern. Staumauerbrüche führen ebenfalls zu extremen Abflussereignissen, sie unterscheiden sich jedoch von den hydrometeorologisch bedingten Hochwassern durch eine kürzere Dauer und durch ein potenziell höheres Schadensmass. Abhängig von der Grösse der Stauhaltung und den Geländeeigenschaften können sie höhere Abflussmengen und Intensitäten haben als ein extremes Hochwasser, weshalb diese Ereigniskategorie am bedeutendsten ist.

Da der Standort des EKKM nahe an der Saanemündung liegt (ca. 2 km), werden für beide Ereigniskategorien sowohl das Einzugsgebiet der Aare als auch jenes der Saane betrachtet.

3.4.2 Hochwasser

Für den Standort des EKKM gibt es Untersuchungen zu verschiedenen Hochwasserereignissen. Basierend auf den ermittelten Abflüssen werden die jeweiligen Flutkoten errechnet. Die Hochwasserereignisse werden zum einen in der Extremhochwasserstudie (EHW) des Kantons Bern [6] bestimmt und zum anderen aufgrund der Hochwasserstatistik.

3.4.2.1 Abflüsse, EHW

Die Szenarien der Extremhochwasserstudie basieren auf hydrologischen Modellen, mit welchen aus Daten extremer Witterungsereignisse ein Gerinneabfluss ermittelt wird. Es ist also ein deterministisches Verfahren. Die Witterungsereignisse werden bestimmt, indem Daten von Wetterlagen, die in der Vergangenheit zu grossen Hochwasserereignissen führten, mit Aufschlägen versehen oder kombiniert werden, sodass ein mögliches Maximalereignis entsteht. Da aus der Studie nur Mittelwerte des Tagesabflusses bekannt sind, werden diese korrigiert, um den Tagesmaximalwert zu erhalten [11]. Für die Saane beträgt der Korrekturfaktor 1.45, für die Aare mit den grösseren Retentionsflächen 1.05. Die resultierenden Abflüsse der drei für den Standort maximalen Ereignisse sind in Tabelle 3.4-1 dargestellt.

Tabelle 3.4-1: Abflüsse der betrachteten EHW-Szenarien

Szenario	Szenario EHW	Beschreibung	Q_{Aare} (m ³ /s)	Q_{Saane} (m ³ /s)
A	1972_87_J	Typ 3 10-tägige Superposition zweier Ereignisse	580	1309
B	1999_J_2	Typ 3 30-tägig, 3 Niederschlagswellen mit zusätzlicher Beaufschlagung	816	1051
C	1955_7	Typ 2 Schneeschmelze in tiefen Lagen mit 7-tägigem Niederschlag	326	1444

Für diese Szenarien gibt [6] keine Wiederkehrperiode an.

3.4.2.2 Abflüsse, Hochwasserstatistik

Mit den Daten von vorhandenen Beobachtungsreihen der beiden Pegelstationen Aare, Bern-Schönau und Saane, Laupen können mit dem Standardverfahren des Deutschen Verbands für Wasserwirtschaft und Kulturbau (DVWK) die Hochwasserereignisse mit 1'000-jährlichen Wiederkehrperioden ($HQ_{1'000}$) erschlossen werden [7]. Weil der Pegel am Standort des EKKM neben der Aare auch von der Saane abhängig ist, muss das Standardverfahren durch eine Kombination der Wahrscheinlichkeiten für bestimmte Abflüsse in Aare und in Saane ersetzt werden.

In einer Studie für das KKM [8] wurden 2006 die Abflusskombinationen der Aare und der Saane, die eine Wiederkehrperiode von 1'000 Jahren haben, auf diese Weise ermittelt. Sie sind in Tabelle 3.4-2 angegeben und können für das EKKM übernommen werden, da sich die Abflüsse zwischen beiden Standorten nicht ändern.

Tabelle 3.4-2: Abflusskombinationen von Aare und Saane für das HQ_{1'000} [8]

Szenario	Q _{Aare} (m³/s)	Q _{Saane} (m³/s)
1	310	1230
2	695	1150
3	780	180

Das Szenario 2 erweist sich aufgrund der erreichten Flutkote in der KKM-Studie als massgebend.

3.4.2.3 Abschätzung HQ_{10'000}

Das Ereignis mit 10'000-jährlicher Wiederkehrperiode (HQ_{10'000}) ist ein extrem seltenes Ereignis, das methodisch schwierig zu bestimmen ist. Es wurden drei verschiedene Ansätze angewandt, um das HQ_{10'000} abzuschätzen.

Eine erste Abschätzung bestand darin, die deterministisch bestimmten EHW-Abflüsse mit dem Faktor 1.2 (Faustregel) zu multiplizieren. Dabei wird von den drei EHW-Szenarien das Szenario mit dem höchsten Aareabfluss (Szenario B) gewählt, da dieses zu den höchsten Pegelständen am EKKM führt (siehe Tabelle 3.4-3). Als Abflüsse resultieren damit für die Saane 1'261 m³/s und für die Aare 980 m³/s.

Bei einem Vergleich mit anderen Verfahren zur Bestimmung des HQ_{10'000} ist zu sehen, dass diese Abschätzung für die Aare gut ist. Für die Aare ergibt sich z.B. mit Hilfe des Verfahrens einer sicherheitstechnischen Regel des Kerntechnischen Ausschusses, KTA 2207 [9], ein HQ_{10'000} von 997 m³/s.

Auch die üblicherweise angewandte Regel zur Bestimmung des HQ_{10'000} aus der BWG-Richtlinie zur Sicherheit der Stauanlagen [10] ($HQ_{10'000} = HQ_{1'000} \cdot 1.5$) ergibt einen Wert von 975 m³/s am Wehr Mühleberg.

Bei einem Vergleich der ermittelten Abflüsse ist zu sehen, dass die meisten EHW-Szenarien zwischen den HQ_{1'000}-Szenarien und dem HQ_{10'000} liegen.

Um zu zeigen, dass auch jenseits vom HQ_{10'000} liegende Hochwasserereignisse keine wesentlichen Auswirkungen auf den Standort des EKKM haben, wurde zudem ein noch grösseres und entsprechend selteneres, möglicherweise real nicht auftretendes Ereignis konstruiert. Basierend auf einer Untersuchung zu Flächen-Mengen-Dauer-Beziehungen von Starkniederschlägen in der Schweiz (siehe [106]) wurde als Test für das Modell in der EHW-Studie als PMP (Probable Maximum Precipitation) für das Aareinzugsgebiet ein 2-tägiges Niederschlagsereignis mit einem ganzflächigem Blockniederschlag von 250 mm angenommen. Dieses wurde ermittelt, indem sowohl eine möglichst maximale Hebung als auch ein maximaler Wasserdampfgehalt angenommen wurde. Aus dem hydrologischen Modell resultiert für die Aare ein Scheitelwert von 1'166 m³/s und für die Saane von 2'110 m³/s. Der Hochwasserscheitel der Saane läuft der Aare um 18 h voraus, so dass das Maximum der Aare unterhalb der Saanemündung 2'953 m³/s beträgt. Dieses Szenario ist das PMF (Probable Maximum Flood) für den Standort.

3.4.2.4 Pegel

Um aus den Abflüssen der Szenarien einen Wasserpegel am Standort zu bestimmen, muss mit hydraulischen Modellen gearbeitet werden. Für die Szenarien der EHW-Studie und die Szenarien des $HQ_{1'000}$ wurde dafür das eindimensionale Modell WAPROF, das an der ETH-Z entwickelt wurde, verwendet. Dieses berechnet die Wasserspiegellagen ausgehend von der Staukote am Wehr Niederried. Die Rauheitsbeiwerte orientieren sich an früheren Studien (vgl. Kap. 5.1 aus [8]), in denen die Wasserspiegellagen der Aare zu verschiedenen Abflüssen eingemessen wurden. Mit ihnen konnte der Pegel am KKM abhängig von der Sohlenlage (2004/2006) auf 3-7 cm genau abgebildet werden.

In Tabelle 3.4-3 sind die Pegel der EHW-Szenarien am KKM (Gewiss.-km 155.17) und am EKKM (Gewiss.-km 155.47) [11] gezeigt.

Tabelle 3.4-3: Pegel der EHW-Szenarien

Szenario	Pegel KKM (m ü.M.)	Pegel EKKM (m ü.M.)
A	465.70	465.73
B	465.86	465.92
C	465.29	465.30

Die Unterschiede zwischen den beiden Standorten sind mit 1-12 cm gering. Daher können für die $HQ_{1'000}$ -Szenarien die Ergebnisse der 2006 für das KKM erfolgten hydraulischen Berechnungen [8] für das EKKM übernommen werden. Das massgebliche Szenario (Nr. 2) des $HQ_{1'000}$ erreicht am KKM mit den Annahmen von [8] einen Pegelstand von 465.84 m.

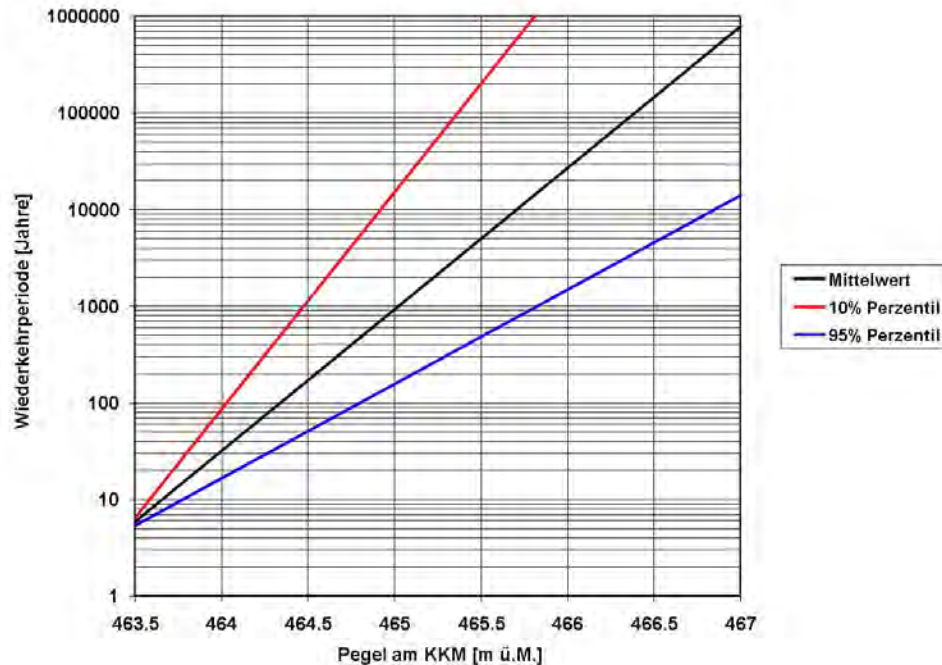
Es kann gezeigt werden, dass die Ergebnisse von [8] für das $HQ_{1'000}$ eher dem 95%-Perzentil der Unsicherheitsverteilung im Wasserpegel entsprechen, da zu konservative Annahmen u.a. zur Ausfallfrequenz der Wehrschützen in Niederried und zur Sedimentbewegungen gemacht wurden. In Tabelle 3.4-4 entsprechen daher die Zahlen der ursprünglichen Studie dem 95%-Perzentil, des Weiteren werden das neu berechnete mittlere Niveau sowie das 10%-Perzentil für verschiedene Hochwasserwiederkehrperioden angegeben.

Tabelle 3.4-4: Wasserpegel am KKM (EKKM) bei verschiedenen Jährlichkeiten

Wiederkehr- periode	Wasserpegel (m ü.M.)		
	10%-Perzentil	Mittelwert	95%-Perzentil
1'000	464.42	465.04	465.84
300	464.20	464.65	465.25
100	464.14	464.42	464.79
30	463.75	463.98	464.27

Aufgrund dieser Zahlen kann eine Kurve zur Hochwassergefährdung (Abbildung 3.4-2) entwickelt werden, die wie folgt aussieht:

Abbildung 3.4-2: Hochwassergefährdungskurve für das KKM (EKKM)



Somit ergibt sich am Standort KKM (EKKM) für ein Abflussereignis mit der Häufigkeit einmal in 1'000 Jahren ein Mittelwert von 465.0 m ü.M. für den Wasserpegel, bzw. ein konservativer 95%-Perzentilwert von 465.8 m ü.M.

Für das $HQ_{10'000}$ kann durch Extrapolation der Gefährdungskurve ein Mittelwert von 465.7 m ü.M. beziehungsweise ein 95%-Perzentilwert von 466.9 m ü.M. am Standort KKM (EKKM) erhalten werden. Dies basiert immer noch auf eindimensionalen Modellen, die bei hohen Abflüssen möglicherweise an ihre Grenzen stossen. Dennoch kann der Mittelwert von 465.7 m ü.M. als weiterer Anhaltspunkt (gegenüber den Werten in Kap. 3.4.2.3) für ein 10'000-jährliches Ereignis gewertet werden. Im eindimensionalen Modell führt die Beschränkung des Flussschlauches mit hypothetisch eingefügten senkrechten Wänden zu einer potentiellen Überschätzung der Pegelstände, u.a. weil ausserhalb des Flussbettes liegende Gebiete nicht berücksichtigt werden.

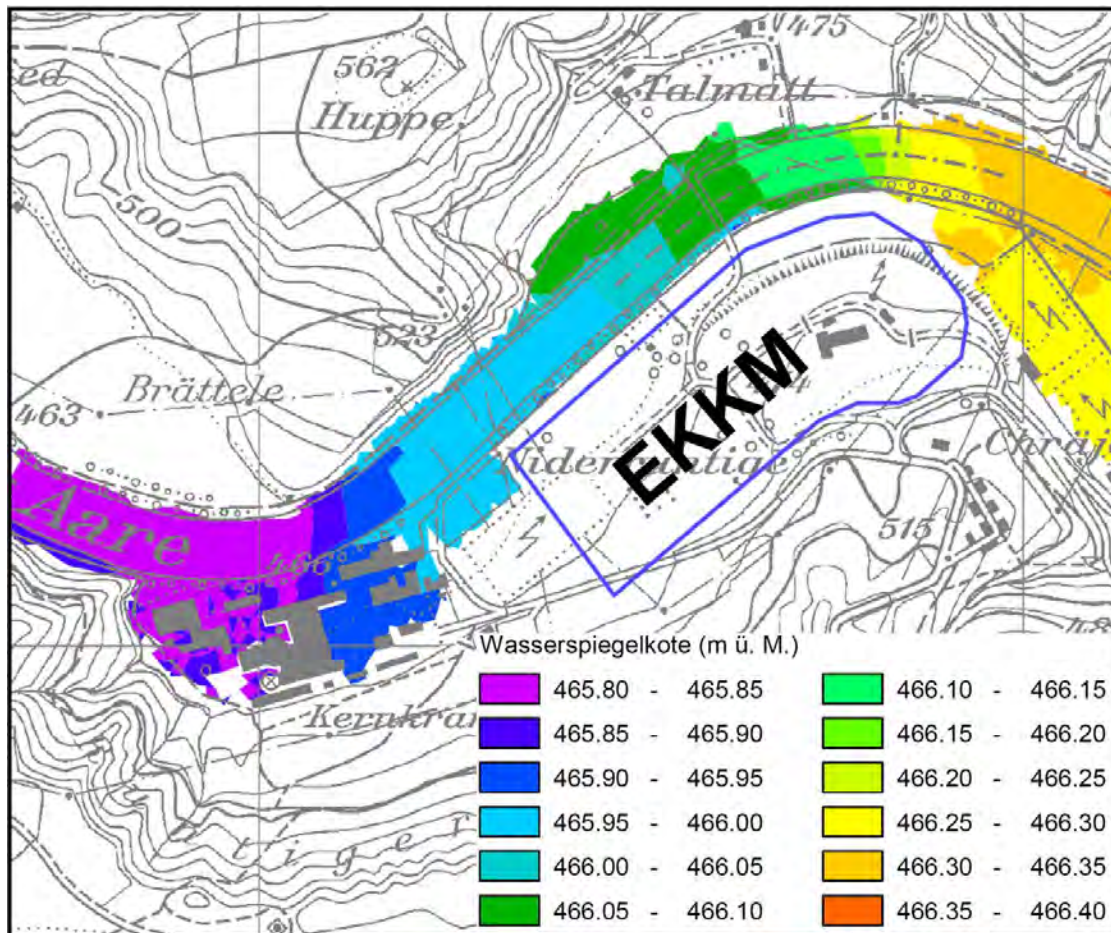
Für das $HQ_{10'000}$ wurde daher eine realitätsnähere zweidimensionale hydraulische Berechnung mit dem Rechenprogramm BASEMENT¹ durchgeführt, in der das Aare- und das Saanetal in einem Terrainmodell abgebildet sind². Die Ergebnisse der Rechnung zeigen, dass weite Teile des Aaretals überflutet werden. Insbesondere werden die Dämme bei Oltigen und bei Niederried überspült. Die Maximalkoten der Aare im Bereich des Standortes des EKKM (siehe Abbildung 3.4-3) liegen bei 465.95-466.3 m ü.M. an den Gewiss.-km 155.4-156.2. Überflutungsbereiche finden sich nur flussaufwärts im Bereich der heutigen Schaltanlage Mühleberg Ost und flussabwärts auf dem Gelände des KKM. In den Ausuferungen im linksufrigen

¹ <http://www.basement.ethz.ch/>

² Für eine Kurzbeschreibung des Vorgehens siehe Kapitel 3.4.3.3.

Bereich werden, ausser im nahen Uferbereich, keine Fliessgeschwindigkeiten über 1 m/s erreicht, die maximalen Intensitäten liegen unter 1 m²/s.

Abbildung 3.4-3: Flutkoten der Aare für das HQ_{10'000}



Der Pegel am Standort des KKM für das HQ_{10'000} von ca. 465.9 m ü.M. stimmt mit den o.g. Extrapolationswerten (Abbildung 3.4-2) überein. Die Wasserspiegel steigen gegenüber der eindimensionalen Rechnung des häufigeren HQ_{1'000} wenig an, da zusätzliche Talquerschnitte durchströmt werden und der Niederrieddamm überströmt wird, sodass die Staukote des Niederriedsees nicht weiter steigen kann.

Mit dem zweidimensionalen Modell wurde ebenfalls das PMF gerechnet. Die resultierenden Flutkoten am Standort liegen bei 466.3 bis 466.7 m ü.M. und steigen damit trotz über 30-prozentiger Erhöhung des Aaregesamtabflusses nur um weitere 40 cm. Selbst extremste Hochwasserereignisse führen daher nicht mehr zu einem wesentlichen Anstieg der Hochwasserkote. Auch bei noch höheren Abflüssen wäre keine deutliche Verschärfung der Gefährdung zu erwarten: Diese tritt erst bei Staumauerbrüchen auf.

3.4.2.5 Extreme Niederschläge am Standort EKKM

Die am Standort erwarteten Niederschlagsmengen sind in Kap. 3.3.7 ausführlich beschrieben.

Bei diesen erwarteten Niederschlagsmengen können Ansammlungen von Wasser auf dem Areal und / oder auf den Dächern der Gebäude durch die zukünftige Anlagekonzeption des EKKM ohne weiteres verhindert werden. Dächer mit hoher Belastbarkeit, redundante und gegen Verstopfung ausgelegte Abfluss- und Drainagekanäle entsprechen dem heutigen Stand der Anlageauslegung.

Aus diesem Grund werden Extremniederschläge am Standort Niederruntigen nicht weiter betrachtet.

3.4.2.6 Vergleiche mit aktuellen Hochwasserereignissen

Die Zuverlässigkeit der Rechnungen kann durch einen Vergleich der Daten von vergangenen Hochwasserereignissen und von aufgezeichneten Pegelständen geprüft werden. An der Aare ist in den letzten Jahren eine Häufung von grossen Hochwasserereignissen zu beobachten. Es liegt nahe, dass daraus intuitiv auf eine Zunahme der Hochwasserereignisse geschlossen wird. Gerade bei Extremereignissen ist es schwierig, einen solchen Schluss statistisch abzusichern. So gibt es, motiviert durch die Forschung am Klimawandel, zahlreiche Untersuchungen an langen Datenreihen, um mögliche Trends abzuleiten. Eine Untersuchung des Trendverhaltens von Hochwasserabflüssen in Baden-Württemberg und Bayern stellt fest, dass es für die Mehrzahl der Pegel keine oder nur sehr schwache Trendsignifikanzen gibt [16]. Im OcCC-Bericht 2003 [17] wurde ebenfalls festgestellt, dass es schwierig ist, Trends im Hochwasserabflussverhalten zu finden. In langen Zeitreihen sind allerdings auch in der Vergangenheit Häufungen von Extremereignissen vorgekommen, denen wieder eine ruhige Periode ohne oder mit wenigen Extremereignissen folgte.

Seit dem Frühjahr 2007 gibt es am KKM eine Pegelmessstelle, sodass das Hochwasserereignis vom August 2007 aufgezeichnet werden konnte. Der maximale Pegelstand am KKM betrug bei diesem Ereignis 464.1 m ü.M. Dabei führte die Aare in Bern maximal 514 m³/s und die Saane in Laupen maximal 830 m³/s. Diese Abflusswerte liegen deutlich unter den hier zugrunde gelegten Abflussszenarien und haben daher auch zu einem Pegel geführt, der deutlich niedriger liegt, als die in Tabelle 3.4-5 zusammengefassten Flutkoten. Vom BAFU wurde das Hochwasserereignis 2007 für den Pegel Hagneck, welcher im Wesentlichen die Summe der Abflussmengen der Aare und der Saane misst, provisorisch als 20-50-jährlich eingestuft¹. Ein gemäss Tabelle 3.4-4 vergleichbares Ereignis mit einem Pegel von 463.98 m ü.M. hat eine Jährlichkeit von 30 Jahren und liegt damit in einem vergleichbaren Bereich.

Das hydraulische Modell der zweidimensionalen Rechnungen wurde an diesem Hochwasserereignis geeicht. Dabei konnte mit Reibungsbeiwerten auf Basis von früheren Studien die gemessenen Pegel an den Messstellen Wasserkraftwerk Niederried, Wasserkraftwerk Mühleberg und Pumpenhaus KKM gut (weniger als 5 cm) kalibriert werden, wenn die Zuflüsse von Saane (Pegel Laupen, BAFU) und Aare (Pegel Schönau, BAFU) sich im Bereich der mit Messflügel ausgemessenen Pegel-Abfluss-Beziehungen befinden. Bei höheren Abflüssen müssen diese Pegel-Abfluss-Beziehungen extrapoliert werden, daher weist der vom BAFU publizierte Abfluss

¹ <http://news-service.admin.ch/NSBSubscriber/message/attachments/10763.pdf>

grössere Unsicherheiten auf. Deshalb kann der gemessene Pegel beim Pumpenhaus des KKM bei den Spitzenwerten nicht gut reproduziert werden, die Abweichung beträgt bis zu 30 cm. Nach dem Abklingen des Hochwassers ist wieder eine gute Übereinstimmung vorhanden. Eine bessere Kalibrierung kann daher durch eine Veränderung der Reibungsbeiwerte nicht erreicht werden, da die Zuflussganglinien bei Hochwasser zu ungenau sind. Es können jedoch über eine Maximum-Likelihood-Schätzung die Abflüsse vieler Aarepegel so korrigiert werden, dass das Hochwasserereignis 2007 über einen langen Abschnitt der Aare ohne widersprüchliche Abflusswerte rekonstruiert werden kann. Dabei werden die unterschiedlichen Ungenauigkeiten der jeweiligen Pegel berücksichtigt. Mit diesen rekonstruierten Daten kann der Pegel am KKM für das Hochwasserereignis 2007 über lange Zeiträume des Ereignisses mit einer Genauigkeit von 10 cm reproduziert werden.

3.4.2.7 Einfluss eines Hochwasserereignisses auf das Grundwasser

Das Grundwasser ist bei Hochwasserereignissen der Aare für den Standort von geringer Relevanz. Wie im Zuge der Baugrunduntersuchungen (siehe Kap. 3.5.1.4.1) festgestellt wurde, ist nur ein schmaler Bereich in Niederruntigen von der Aare beeinflusst: am weitesten reicht dieser Einfluss im Bereich der heutigen Schaltanlage West hinein. Bei einem Hochwasser würde der Grundwasserspiegel in diesem Bereich steigen (ca. 464 m, siehe Abbildung in Kap. 3.5.1.4.1 und nach der Scheitelwelle gegenüber der Aare verzögert zurückgehen. Durch die Untersuchungen sind die Grundwasserverhältnisse bekannt; die zukünftigen Bauwerke des EKKM werden allerdings diese Verhältnisse mutmasslich beeinflussen, dies wird im Rahmen des Gesuches zur Baubewilligung weiter untersucht, sodass die neue Anlage gegen drückendes Grundwasser ausgelegt werden kann.

3.4.2.8 Zusammenfassung der Hochwasseruntersuchungen

Wie in der Zusammenfassung der Hochwasserszenarien in Tabelle 3.4-5 zu sehen ist, stimmen die für das KKM durchgeführten Studien und die für das EKKM gemachten Analysen gut überein.

Tabelle 3.4-5: Zusammenfassung der Hochwasserszenarien

Szenarien	Q_{Aare} (m ³ /s)	Q_{Saane} (m ³ /s)	Pegel KKM (m ü.M.)	Pegel EKKM (m ü.M.)
EHW A	580	1309	465.70	465.73
EHW B	816	1051	465.86	465.92
EHW C	326	1444	465.29	465.30
HQ _{1'000}	695	1150	465.04	(= KKM)
HQ _{10'000}	980	1261	465.95	466.30
PMF instationär	1166	2110	466.25	466.7

Die Untersuchungen zeigen, dass der Hochwasserpegel bei Niederruntigen selbst bei extremsten Hochwassern nicht über 467 m ü.M. liegt. Im Bereich sehr hoher Abflüsse ist ein deutliches Abflachen der Pegel-Abfluss-Kurve festzustellen. Der Standort ist in dieser Hinsicht dank der Talweite gutmütig im Aufnehmen grosser hydrometeorologischer Hochwasser. Nur

Staumauerbrüche können zu einem noch höheren Abfluss führen, dies wird im Folgekapitel behandelt.

3.4.3 Überflutungsereignisse im Einzugsgebiet

Neben hydrometeorologisch bedingten Hochwassern gibt es für den Standort auch Wasserhöchststände, die aus dem Versagen von Stauhaltungen folgen. In Frage kommen mehrere Bauwerke aus den Einzugsgebieten der Aare und der Saane.

In Tabelle 3.4-6 sind die relevanten Stauseen des Aare-Einzugsgebietes gezeigt und in

Tabelle 3.4-7 die relevanten Stauseen des Saane-Einzugsgebietes. Dabei wurden nur Stauseen aufgenommen, deren zurückgehaltenes Stauvolumen über 0.1 Mio. m³ liegt (siehe für einen Überblick auch Abbildung 3.4-4)

Tabelle 3.4-6: Stauseen im Aare-Einzugsgebiet

Stausee	Inbetriebnahme	Mauertyp	Volumen in Mio. m ³	Einzugsgebiet in km ²
Mühleberg	1920	Gewichtsmauer	19	3202
Grimsel (Spitallamm und Seeuferegg)	1932	Bogenmauer resp. Bogengewichtsmauer	101	74.4
Oberaar	1953	Gewichtsmauer	61	19.4
Räterichsboden	1950	Gewichtsmauer	27	130.2
Gelmer	1929	Gewichtsmauer	14	16
Mattenalp	1950	Gewichtsmauer / Erddamm	2.1	36.2
Trübtensee	1950	Gewichtsmauer	1.1	1.8
Spiezmoos	1899	Erdschüttdamm	0.4	1.2
Simmenporte	1908	Gewichtsmauer	0.25	585

Tabelle 3.4-7: Stauseen im Saane-Einzugsgebiet

Stausee	Inbetriebnahme	Mauertyp	Volumen in Mio. m ³	Einzugsgebiet in km ²
Schiffenen	1963	Bogenmauer	58.6	1400
Maigrauge	1872	Gewichtsmauer	0.4	1250
Rossens / Lac de Gruyère	1947	Bogenmauer	173.5	954
Montsalvens	1920	Bogenmauer	12.6	173
Lessoc	1976	Pfeilerkopfmauer	1.5	506
Hongrin	1969	Bogenmauer	53.2	45.6
Rossinière	1972	Gewichtsmauer	2.9	398
Sanetsch	1965	Gewichtsmauer	2.5	10.7
Arnensee	1942	Erdschüttdamm	10.5	7.1

Von diesen Stauanlagen können einige als irrelevant für eine weitergehende Betrachtung ausgewiesen werden, da ihr Versagen in jedem Fall zu Abflüssen führt, die nicht höher als das $HQ_{10'000}$ liegen. Das sind insbesondere Stauanlagen mit kleinem Stauvolumen und Stauanlagen in grösserer Entfernung vom Standort, deren auslaufendes Volumen auf dem Weg bis zum Standort zurückgehalten wird, sodass die Höhe der Flut deutlich gemindert wird und die Flutwelle keine weitergehenden Effekte hat als ein grosses Hochwasser.

Die für das EKKM relevanten Stauanlagen unterliegen der Aufsicht des Bundes. Das bedeutet auch, dass die Anlagen regelmässig überwacht werden. Zudem müssen diese Stauanlagen ohne Schaden, unter Berücksichtigung der n-1-Regel ein Bemessungshochwasser (entsprechend einem $HQ_{1'000}$) ableiten, sowie nur mit kleineren Schäden, ohne Verlust der Stauhaltungsfunktion, ein Sicherheitshochwasser (entsprechend einem $HQ_{10'000}$) überstehen.

In den Berechnungen der Staumauerbruchereignisse verändern sich die zurückgehaltenen Volumina der Stauseen durch ein $HQ_{10'000}$ nicht wesentlich. Für die relevanteste Stauhaltung, das Wasserkraftwerk Mühleberg, kann das reguläre Stauziel von 480.94 m ü.M. eingehalten werden, wenn auch alle Maschinen zur Verfügung stehen. Bei Ausfall einer Maschine steigt der Pegel um 4 cm, bei Ausfall aller Maschinen um 79 cm. Das Risiko von Maschinenausfällen am Wasserkraftwerk Mühleberg ist bei Hochwasser im Gegensatz zu anderen Laufkraftwerken nur geringfügig höher, da ein grosses Seevolumen vorgelagert ist und im nahen Einzugsgebiet wenig Geschwemmsel eingetragen wird.

3.4.3.1 Stauanlagen im Aare-Einzugsgebiet

Die Stauhaltungen der Kraftwerke Oberhasli (KWO) können aus der Betrachtung herausgenommen werden, da im obersten Aaretal und mit den beiden grossen Seen, Brienzersee und Thunersee, genügend Retentionsvolumen zur Verfügung steht, sodass selbst bei einem Bruch aller Stauanlagen der Wasserspiegel am Standort des EKKM unter jenem des HQ_{10'000} bleibt. Die Untersuchungen zu Hochwasserereignissen (siehe Kap. 3.4.2) sind dazu abdeckend.

Von den weiteren Stauwerken im Einzugsgebiet der Aare erreichen ausser der Mauer des Wasserkraftwerkes Mühleberg keine weiteren Stauhaltungen eine Dimension, die eine vertiefte Betrachtung notwendig macht.

Das Wasserkraftwerk Mühleberg wurde in den Jahren 1917- 1920 gebaut und ist als Schwerkriegtsmauer ausgeführt. Die Staumauer staut den Wohlensee auf. Der Wohlensee verlandet relativ schnell. Sein Volumen betrug 1921 25 Mio. m³, aktuell beträgt sein Volumen noch ca. 19 Mio. m³. Die potenziell bei einem Bruch der Staumauer Mühleberg frei werdende Wassermenge reduziert sich durch die Verlandung auch in Zukunft. Aufgrund der Nähe zum Standort ist der Verlust der Stauhaltung näher zu untersuchen.

3.4.3.2 Stauanlagen im Saane-Einzugsgebiet

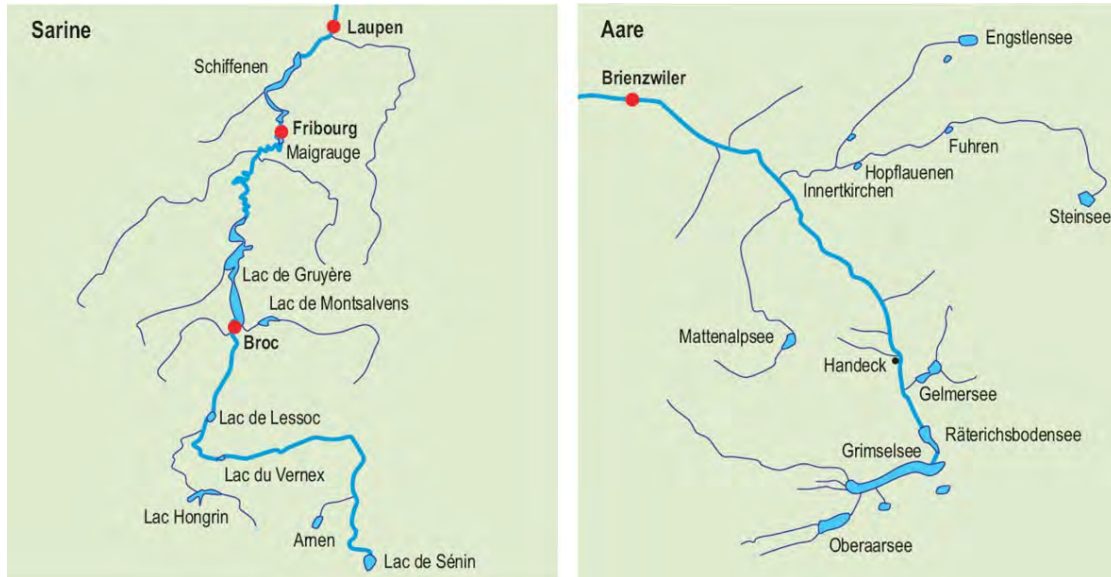
Im Saane-Einzugsgebiet liegen keine natürlichen Seen zwischen den Stauanlagen und der Mündung der Saane in die Aare. Es gibt künstliche Seen, die ein sehr grosses Retentionsvolumen aufweisen können. Daher kann analog zur Aare eine Vielzahl von kleineren Stauhaltungen als irrelevant für den Standort ausgeschlossen werden, weil der Lac de Gruyère und der Schifflensee ihr Volumen aufnehmen können, ohne dass besondere Auswirkungen flussabwärts spürbar wären.

Drei Staumauern des Einzugsgebietes – Hongrin, Rossens und Schifflenen – halten im Vergleich zu den anderen Stauseen ein deutlich höheres Stauvolumen zurück. Für jeden dieser Seen besteht die Möglichkeit eines Entleerens infolge eines Staumauerbruches. Dabei sind die Auswirkungen eines Staumauerbruches in Rossens oder Schifflenen sicher grösser als jene eines Bruches in Hongrin.

Hongrin ist die kleinste der drei Stauhaltungen und hat eine sehr grosse Entfernung zum Standort. Eine Flutwelle aus Schifflenen trifft nach jener von Mühleberg am schnellsten ein, während das Volumen des Lac de Gruyère, welcher durch die Staumauer Rossens aufgestaut wird, das Volumen aller anderen Stauseen deutlich übertrifft, sodass eine relativ lang anhaltende Flut zu erwarten ist.

Es ist daher eine Betrachtung der Flutwellen infolge von Dammbruchereignissen an den Staumauern Hongrin, Rossens und Schifflenen notwendig.

Abbildung 3.4-4: Wichtige Stauhaltungen (aus [13]) im Saane-Einzugsgebiet (links) und im Einzugsgebiet der oberen Aare (rechts)



Quelle: BAFU

3.4.3.3 Untersuchte Staumauerbrüche

Aufgrund der oben angeführten Überlegungen werden die Auswirkungen von Fluten auf den Standort Niederruntigen infolge des Bruches der Stauhaltungen in Mühleberg sowie in Schiffenen, Rossens und Hongrin untersucht; auch mehrfache Ereignisse werden analysiert.

Die Maximalwerte der Flutkote bei einem Staumauerbruch werden mit zweidimensionalen numerischen Berechnungen ermittelt. Das erfolgt mit dem Finite-Volumen Programm BASEMENT der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW) der ETH-Z¹ auf Basis der tiefengemittelten zweidimensionalen Flachwassergleichungen. Dafür wird ein Terrainmodell erstellt, das auf dem hoch aufgelösten Terrainmodell (DTM-AV) des Bundesamtes für Landestopografie swisstopo basiert. Die Flussschläuche der Aare und der Saane werden mit den gleichen terrestrisch vermessenen Querprofilen, die auch in der eindimensionalen Rechnung verwendet werden, abgebildet und in das Modell integriert. Die betrachteten Seen können ebenfalls mit terrestrisch vermessenen Profilen abgebildet werden. Im Terrainmodell werden zunächst die Flussschläuche und Seen mit Wasser gefüllt. Die Berechnung der Flutwelle wird gestartet, indem die vorher im Terrainmodell enthaltene Staumauer entfernt wird. Die jeweiligen Zwischenstände von Wasserkote, Wassertiefe, Geschwindigkeitsvektoren und Schubspannungen können in eine Ergebnisdatei in gewünschter Zeitauflösung geschrieben werden, um den Ablauf der Flutwelle zu visualisieren.

Eine Eichung des Modells kann nur anhand tatsächlich aufgetretener und gemessener Ereignisse erfolgen, daher ist die in Kapitel 3.4.2 erwähnte Eichung vor allem für die Ergebnisse der hydrometeorologischen Hochwasser von Interesse. Eine Eichung des Modells an einem

¹ <http://www.basement.ethz.ch/>

Staumauerbruch ist nicht möglich. Das verwendete Programm wurde aber auch mit der Nachrechnung des Bruches von Malpasset getestet und hat die dort rekonstruierten Werte gut abgebildet. Der Schritt von einem eindimensionalen zu einem zweidimensionalen Modell ist auf jeden Fall sinnvoll, da noch wesentliche Geländeausgestaltungen mitberücksichtigt werden können und somit ein starker Einfluss auf die Ergebnisse zu erwarten ist. Ein Schritt hin zu einer dreidimensionalen Simulation sollte trotz gesteigerter Realitätsnähe keine wesentlichen Änderungen im Resultat bringen.

Um einen theoretisch erreichbaren Maximalstand zu errechnen, wurde im Staumauerbruchszenario konservativ angenommen, dass die Staumauer beim Start der Rechnung vollständig herausgenommen wird – d.h. die Staumauer "verdampft" in Sekundenbruchteilen. Dabei bleiben keine Trümmer übrig, welche die aus dem Bruch folgende Flutwelle noch leicht zurückhalten würden. Für die Gewichtsstaumauer Mühleberg ist der vollständige Bruch weniger plausibel als für die Bogenstaumauern des Saanetales. Eine Gewichtsstaumauer hat wesentlich mehr Betonvolumen, ein vollständiges Versagen einer solchen Staumauer ist daher eine sehr konservative Annahme.

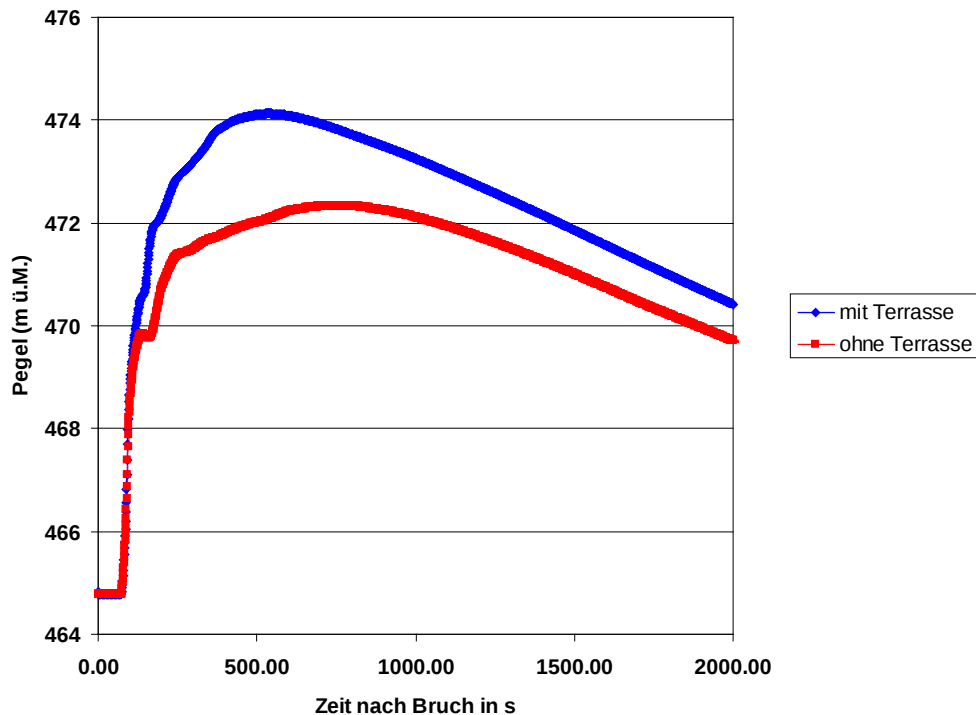
Zudem gehen die Berechnungen von einem vollständig gefüllten See aus. Diese Annahme ist für den Wohlensee zutreffend, der Wasserstand befindet sich im Mittel bei 480.9 m ü.M. und schwankt sehr wenig, das Stauziel liegt bei 480.94 m ü.M. und ist gemäss der Konzession der höchste zulässige Stau. Bei den grossen Stauseen an der Saane findet dagegen eine Bewirtschaftung statt, sodass die Seen starken Wasserstandsschwankungen unterliegen. Daher ist die Annahme einer maximalen Füllung für die Stauseen an der Saane konservativ. Das Volumen wird auch bei hydrometeorologischen Extremereignissen nicht wesentlich zunehmen. Die Mauern haben beim maximal zulässigen Betriebszustand ein Freibord von 2 m. Einzig bei Flutwellen infolge von Staumauerbrüchen flussaufwärts kann es bei den Saanemauern zu einem Anstieg des Pegels kommen, bis das Wasser über die Mauer läuft.

In den Berechnungen wurde berücksichtigt, dass durch den Bau des EKKM das Gelände gegenüber dem heutigen Zustand verändert wird. Insbesondere würde für die neue Anlage eine ebene Fläche (Terrasse) geschaffen, deren Geländehöhe später durch die Anlagekonzeption definiert wird, mit dem Zweck, die Anlage vor bedeutsamen Flutereignissen zu schützen. Diese spätere Geländeänderung wurde für alle Szenarien mit einbezogen, da sie insbesondere für die dynamischen Flutereignisse bei einem Bruch der Stauhaltung Mühleberg erhöhend auf die Flutkote wirkt.

3.4.3.4 Bruch Mühlebergmauer

Nach der "Verdampfung" der Staumauer bildet sich ein grosses Wasserspiegelgefälle am Ort der Staumauer, die Flut breitet sich zunächst vor allem auf der Aare aus, dann aber auch auf dem Gebiet der Unterstation Ost und erreicht nach ca. 100 s die Böschung, über der die heutige Zentrale Leitstelle (ZLS) steht. Das entspricht der ungefähren östlichen Grenze des Standortes. Eine Wasserfront bildet sich jedoch in der Rechnung nicht, die Wassermassen schwellen mit der Zeit an. An der Verengung zwischen der Terrasse und dem Prallhang bildet sich ein Zwischenmaximum der Wassermassen, und es setzt ein Rückstau ein, der nach ca. 9 min ein Maximum erreicht. An der Terrasse werden Wasserspiegelkoten von maximal 474.2 m ü.M. erreicht (siehe Abbildung 3.4-5).

Abbildung 3.4-5: Pegel an der Terrassenfront nach vollständigem Bruch der Staumauer
Mühleberg am Gewiss.-km 156.2



Der Effekt der Geländeänderung durch den Bau wurde in einer separaten Rechnung ermittelt. Ohne Terrasse wird über dem Gelände des EKKM eine Wasserspiegelhöhe von maximal ca. 472.3 m ü.M. erreicht (siehe ebenfalls Abbildung 3.4-5), es zeigt sich somit, dass die Flutwelle durch eine Terrasse zum Teil aufgestaut wird.

Daher liegen die Flutkoten für Punkte, die flussaufwärts der Verengung durch die Terrasse liegen, tendenziell höher, während sie für Punkte flussabwärts niedriger liegen. Mit Terrasse steigt das Wasser an der Frontseite der auch heute bestehenden kleinen Terrasse der ZLS in 9 min bis auf einen Wert von ca. 474.2 m ü.M., das ist ca. 2 m höher als ohne Terrasse. Am westlichen Ende des Standortes werden mit Terrasse 470.6 m ü.M. erreicht, das sind ca. 90 cm niedriger als ohne die verengende Terrasse. Diese Reduktion ist auch am Standort des KKM nachzuvollziehen. Im Bereich des Einlaufes des Pumpenhauses wird mit Terrasse nach 13 min ein Maximum von 470.4 m ü.M. erreicht, ohne Terrasse hingegen 470.9 m ü.M. Für die statischen Flutereignisse der Saane hat die Terrasse eine zu vernachlässigende Bedeutung, da sie nur ein vergleichsweise geringes Volumen einnimmt und ihre querschnittsverengende Funktion nicht relevant ist.

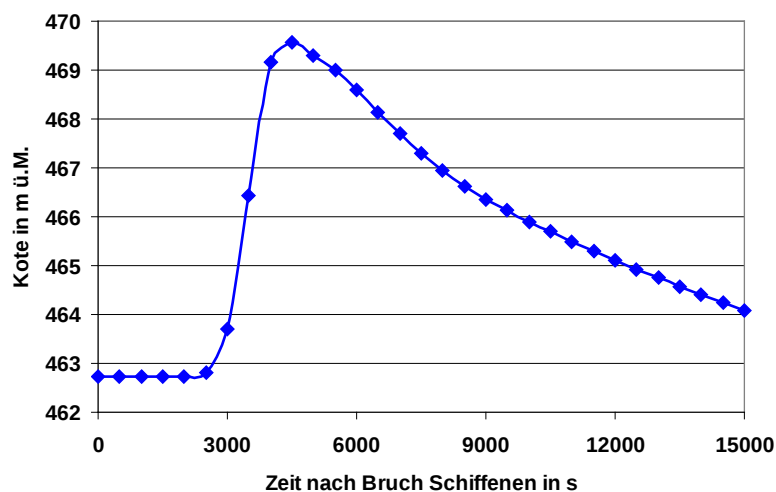
Für den Überflutungsfall mit Terrasse treten im Flussbett der Aare Fließgeschwindigkeiten bis zu 10 m/s auf, im Uferbereich werden bis zu 7 m/s erreicht. Auf die geomorphologischen Auswirkungen der Flut wird in Kapitel 3.4.4.2 eingegangen.

3.4.3.5 Bruch Schiffenenmauer

Auch bei dieser Analyse wird von einer vollständigen "Verdampfung" der Staumauer ausgegangen. Der Stausee ist bis zum Maximalstand von 532 m ü.M. gefüllt. Die Auswirkungen der Flutwelle betreffen vor allem das Tal von der Staumauer Schiffenen bis nach Laupen. Nach ca. 20 min erreicht das Wasser des Stausees das Bahnviadukt Gümmenen und wird hier zum Teil zurückgehalten. Das Maximum wird dort nach ca. 35 min erreicht, dabei wird der Gümmenendamm nicht überspült. Erosionskräfte wirken vor allem im Flusstal und an der östlichen Begrenzung des Dammes. Ein Ansteigen des Aarepegels im Aaretal bei Mühleberg ist erst nach ca. 40 min zu bemerken, nach ca. 50 min treten erste Ausuferungen westlich des Standortes EKKM auf, und nach ca. 56 Minuten dringt Wasser auf das Gelände der Unterstation Ost vor. Das Maximum am Standort Niederruntigen mit einer Kote von 469.7 m ü.M. wird nach ca. 72 Minuten erreicht.

Nach ca. 3 Stunden ist das Gelände westlich des EKKM wieder frei, nach ca. 3.5 Stunden ist das restliche Wasser vom Gelände der Schaltanlage Ost abgeflossen. Der vorhergehende Zustand der Fließgewässer wird nach ca. 5 Stunden erreicht (Abbildung 3.4-6).

Abbildung 3.4-6: Ganglinie der Flutkote am Standort des EKKM am Gewiss.-km 156.2 bei einem vollständigen Bruch von Schiffenen



Ein Flutereignis von Schiffenen führt in den Berechnungen nicht zu dynamischen Flutverhältnissen am Standort. Es werden keine Fließgeschwindigkeiten erreicht, die zu bedeutenden abtragenden Prozessen führen könnten. Im Flussbett der Aare werden bis zu 4 m/s erreicht, auf ufernahen Flächen bis 3 m/s, ansonsten bis zu 2 m/s. Im Saanetal sind hingegen beträchtliche Geländeänderungen zu erwarten (siehe Kap. 3.4.4.2). Der am Modellausfluss unterhalb Niederried erreichte Maximalausfluss der Aare, infolge des Bruches Schiffenen, beträgt 9'700 m³/s und veranschaulicht die Bedeutung eines Staumauerbruches gegenüber extremen Hochwasserereignissen.

3.4.3.6 Bruch Rossensmauer

Aus dem vollständigen Bruch der Staumauer in Rossens folgt die volumenmässig grösste Einzelflutwelle im Untersuchungsgebiet. In einer Simulation analog zu den Fällen Mühleberg und Schiffenen wurde die Mauer bei dem betrieblich maximal zulässigen Wasserstand von 677 m ü.M. vollständig entfernt und die Flutwelle bis zum Standort des EKKM berechnet. Im engen Saanetal bis Fribourg breitet sich die Hochwasserwelle rasch aus und trifft nach fast einer Stunde auf den Schiffenensee, dessen Seestand mit dem maximal zulässigen Betriebszustand von 532 m ü.M. angenommen wird. Die Staumauer wird ca. 15 min später erreicht. Das zeitlich relativ breite Maximum der Welle an der Staumauer Schiffenen wird nach 2:50 Stunden erreicht, der Wasserspiegel des Sees liegt dabei fast 8 m über der Oberkante der Staumauer. Nach 2:30 Stunden sind die ersten Auswirkungen am Standort von KKM und EKKM zu bemerken; die Aare schwillt von ihren Ausgangspegelständen zwischen 462 m ü.M. und 463 m ü.M. an. Der Pegel 465 m ü.M. wird nach 3:15 Stunden überschritten, die Aare beginnt westlich vom Standort EKKM auszufern. Ein Maximum, das aufgrund der sehr statischen Flut im Bereich von KKM und EKKM das gleiche Niveau hat, wird nach 4 Stunden mit 469 m ü.M. erreicht. Das Niveau ist niedriger als jenes der Einzelereignisse Schiffenen und Mühleberg, dafür ist das Ereignis länger anhaltend. Im Aaretal nahe des Standortes finden keine oder nur unbedeutende erosive Prozesse statt. Der Gümnenendamm spielt keine wesentliche Rolle im Rückhalt, da die dominierende Engstelle in diesem Szenario an der Schiffenenmauer und flussaufwärts im engen Saanetal besteht.

3.4.3.7 Bruch Hongrinmauer

Eine zweidimensionale Simulation des vollständigen Bruches der Staumauern des Lac Hongrin zeigt, dass die Auswirkungen für den Standort des EKKM vernachlässigbar sind. Der Maximalabfluss in Fribourg erreicht 782 m³/s und liegt damit unter einem HQ_{1'000}. Es wurden daher keine weiteren Berechnungen für den flussabwärts liegenden Bereich durchgeführt.

3.4.3.8 Mehrfachereignisse

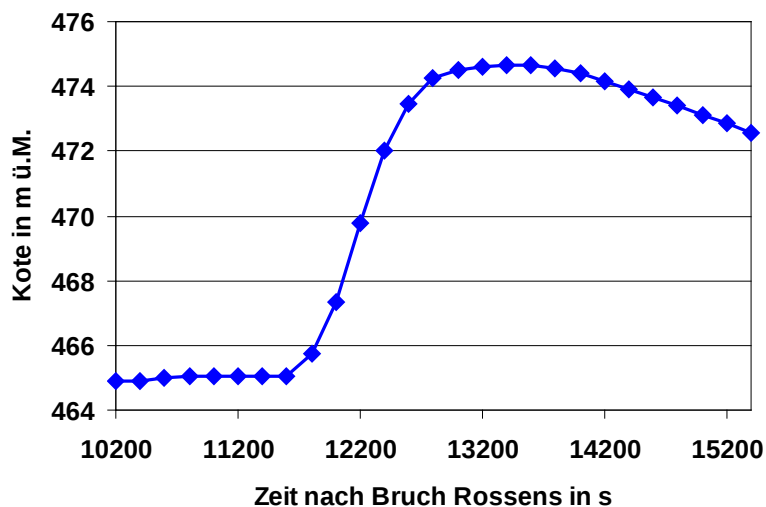
Kombinierte Ereignisse führen potenziell zu den grössten theoretisch vorstellbaren Flutereignissen. Die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten von Mehrfachereignissen reduziert sich gegenüber den Einfachereignissen je nach der bedingten Wahrscheinlichkeit für das Folgeereignis deutlich. Zur Einordnung der Ereignisse werden dennoch Mehrfachereignisse betrachtet.

Da die Stauhaltungen im Einzugsgebiet der Aare oberhalb des Thunersees auch bei Mehrfachereignissen, wie einem sequenziellen Versagen, zu keiner für die Staumauer Mühleberg kritischen Flutwelle führen, sind die Mehrfachereignisse vor allem für die Stauanlagen der Saane zu betrachten. Eine Verknüpfung mit dem Aare-Einzugsgebiet ist nicht notwendig. Die grösste Flutkote eines Einzelereignisses am Standort resultiert zwar aus dem vollständigen Bruch der Staumauer Mühleberg. Für diese Mauer ist es jedoch nicht plausibel, dass sie infolge des Bruches eines Saanedammes ebenfalls bricht. Die Saane fluten sind am Standort Mühleberg statisch und können kein Versagen verursachen. Auch ein gleichzeitiger Bruch von Schiffenen und Mühleberg ist unproblematisch, da die erste Flutwelle schon abgeklungen ist, wenn die zweite Flutwelle am Standort eintrifft.

Von den Saanemauern (Tabelle 3.4-7) sind Mehrfachereignisse der zwei grössten Stauhaltungen Rossens und Schiffenen als potenzielle Maximalszenarien von Interesse. Die Betrachtung der Einzelrechnung der beiden grossen Saanemauern zeigt, dass ein gleichzeitiger Bruch nicht zu einem deutlich höheren Ereignis führen sollte als ein Einzelbruch. Das Maximum der Flutwelle von Schiffenen und das Maximum der Flutwelle von Rossens liegen fast 3 Stunden auseinander. Ein gleichzeitiger Bruch der Staumauern führt sicher zu tieferen Wasserständen als ein sequenzielles Ereignis der beiden Staumauern.

Von den Mehrfachereignissen im Saane-Einzugsgebiet sind daher die Auswirkungen von sequenziellen Ereignissen als potenziell limitierende Fälle zu betrachten. Diese sind in jedem Fall höher als die Simultanereignisse der jeweils betrachteten Dämme. Als Szenario wird ein vollständiger Bruch für Rossens angenommen, der einen vollständigen Bruch in Schiffenen verursacht. Der Bruch soll beim Erreichen des Maximums der Flutwelle von Rossens am Ort der Staumauer Schiffenen stattfinden. Dabei sind sowohl der Lac de Gruyère, als auch der Schiffenensee maximal gefüllt. Knapp 3 Stunden nach dem Bruch der Staumauer Rossens wird das Maximum in Schiffenen erreicht. Die Saanetalebene flussabwärts ist dabei schon mit Wasser bedeckt, und am Standort des EKKM sind erste Pegeländerungen sichtbar. Der Wasserstand am EKKM erreicht innerhalb von 56 min nach dem Bruch der Staumauer in Schiffenen sehr schnell ein Maximum von 474.6 m ü.M. (siehe Abbildung 3.4-7).

Abbildung 3.4-7: Ganglinie der Flutkote am Standort des EKKM am Gewiss.-km 156.2 bei einem sequentiellen Bruch Rossens / Schiffenen



Die Kote fällt relativ rasch wieder ab. Das Maximum am EKKM tritt also knapp 4 Stunden nach dem Bruch in Rossens auf. Das Ereignis, welches nahe den hypothetisch vorstellbar höchsten Flutereignissen liegt, führt zu leicht höheren Koten als der Bruch der Mühlebergmauer, ist aber am Standort ein rein statisches Flutereignis.

3.4.3.9 Zusammenfassung der Staumauerbruchanalysen

In der folgenden Tabelle 3.4-8 werden die Ergebnisse der Untersuchungen für den Standort Niederruntigen zusammengefasst:

Tabelle 3.4-8: Maximale Flutkoten der analysierten Mauerbrüche am Standort Niederruntigen

Analysierter Mauerbruch	Max. Wasserkote (m ü.M.) bei Gewiss-km 156.2
Mühleberg	474.2 (472.3 ohne Terrasse)
Rossens	469.0
Schiffenen	469.7
Rossens und Schiffenen sequenziell	474.6

Aus den Ergebnissen der Berechnungen für das EKKM geht hervor, dass der Wasserpegel bei einzelnen Mauerbrüchen bis maximal 474.2 m ü.M. ansteigen kann. Das entspricht dem für den vollständigen Bruch der Staumauer Mühleberg ermittelten Wasserpegel. Diese Ergebnisse beruhen auf konservativen Analysen. Obwohl der Einsatz von zweidimensionalen Modellen zu einer realistischen Darstellung der Ereignisse beiträgt, sind konservative Annahmen getroffen wie z.B. die Verdampfung der Dämme, woraus insgesamt eine Überschätzung der potenziell möglichen Wasserpegel resultiert.

Es sind Mehrfachereignisse konstruierbar, die u. U. zu höheren Flutkoten am Standort führen können. Solche Ereignisse haben jedoch eine deutlich geringere Eintrittswahrscheinlichkeit und sollten somit nicht wesentlich zur Core Damage Frequency (CDF - Kernschadenshäufigkeit) beitragen. Eine konkrete Bewertung dieser Eintrittswahrscheinlichkeiten und der entsprechenden Beiträge zur CDF wird später innerhalb der PSA zum Gesuch der Bau- resp. Betriebsbewilligung durchgeführt.

Nur im Fall des Bruchs der Wohlenseestaumauer kommt es am Standort zu Fließgeschwindigkeiten, die abtragende Effekte haben könnten (siehe Kap. 3.4.4.2).

3.4.4 Weitere Hydrologische Aspekte

3.4.4.1 Niedrigwasser

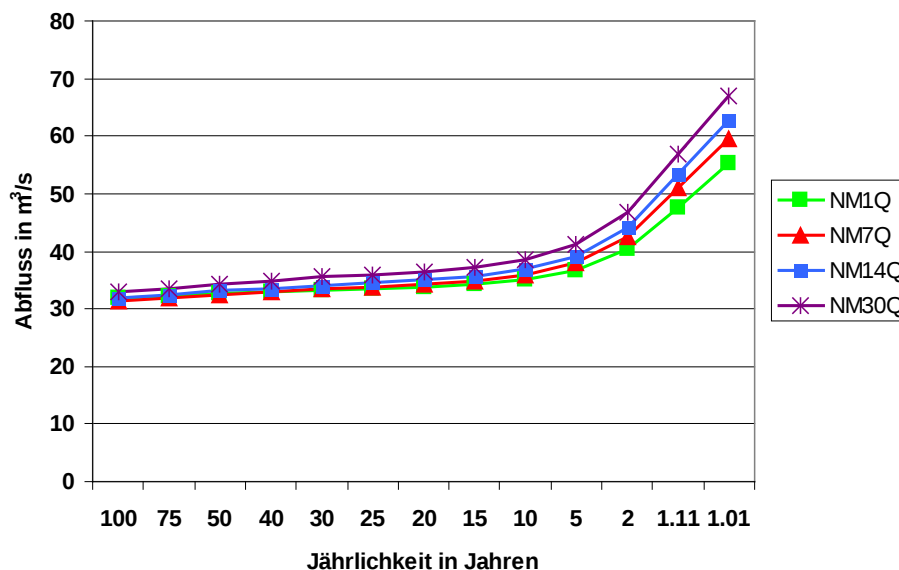
3.4.4.1.1 Messstation Aare Bern-Schönau

Für die Beurteilung der Abflussmengen der Aare am Standort werden die offiziellen Messwerte der am nächsten liegenden Messstation Bern-Schönau benutzt. Die niedrigsten am Pegel Aare Bern-Schönau gemessenen Tagesabflüsse seit Inbetriebnahme der KWO wurden 1930 mit 28.7 m³/s und 1944 mit 28.9 m³/s erreicht. Diese Tiefstwerte wurden vorher (1918 bis 1929) 8 Mal unterschritten mit Extremwerten von 20.8 m³/s (1921) und 21 m³/s (1925). Das Niedrigwasserverhalten hat sich jedoch durch den Bau der Stauseen im Grimselgebiet deutlich geändert, sodass die Werte vor 1930 nicht mehr relevant für die Bestimmung der Absolutwerte des Niedrigwassers und der Jährlichkeiten sind.

Die niedrigsten Tagesdurchschnittswerte der letzten 10 Jahre lagen am 14.01.2006 bei 30.8 m³/s und am 12.02.2006 bei 30.9 m³/s. Im Winter, in der Zeit von November bis Mitte März, ist in der Regel von niedrigen Abflüssen um 50 m³/s auszugehen, die Jahresminima liegen in der Regel bei 40 m³/s, Extremwerte bei 30 m³/s. Aus der historischen Datenreihe für die Station Bern-Schönau (seit 1930) kann entnommen werden, dass kein niedrigster Jahreswert im Sommerhalbjahr, in den Monaten April bis September, aufgetreten ist. Somit sind Abflussmengen von unter 30 m³/s am Standort nicht zu erwarten.

Mit der vom Bundesamt für Umwelt (BAFU) erstellten Niedrigwasserdatenbank können ebenfalls Angaben über Extremwerte der Abflussmengen für längere Zeiträume gemacht werden. In dieser Statistik wird für die Station Aare Bern-Schönau ein 100-jährliches Extremereignis mit einem Abfluss von ca. 31 m³/s angegeben (siehe Abbildung 3.4-8). Dabei ist NMxQ das tiefste arithmetische Mittel von x aufeinander folgenden Tagesmittelwerten im Beobachtungsjahr.

Abbildung 3.4-8: Jährlichkeiten von Niedrigwassern am Pegel Aare Bern-Schönau



Quelle: Niedrigwasserstatistik NQstat des BAFU

3.4.4.1.2 Messungen am Wasserkraftwerk Mühleberg

Im Winter 2006 wurde der niedrigste im Tagesverlauf erreichte Abflusswert der letzten 10 Jahre am Wasserkraftwerk Mühleberg mit 27.41 m³/s gemessen. In diesem Fall sank der Unterwasserpegel des Kraftwerkes jedoch nicht unter 461.1 m ü.M. Der Grund dafür ist der Betrieb der flussabwärts liegenden Kraftwerksstufe Niederried. Die Kote des durch das Kraftwerk aufgestauten Niederriedsees wird möglichst auf dem in der Konzession für die Monate Oktober bis und mit April festgeschriebenen Maximalwert von 461.14 m ü.M. gehalten. Es kann zu Schwankungen kommen, die jedoch beim KKM seit dem 15.08.2006 nicht zu Wasserständen unter 460.7 m ü.M. geführt haben. Im Sommer darf der Wasserspiegel des Niederriedstausees konzessionsbedingt nicht über 460.34 m ü.M. steigen. Momentan wird auch aus ökologischen Gründen geprüft, ob nicht auch im Sommer die Winterstauhöhe gefahren werden kann.

3.4.4.1.3 Bewertung der Niedrigwasserlage

Aus oben gemachten Angaben ist ersichtlich, dass Abflüsse unterhalb ca. 30 m³/s aufgrund von witterungsbedingt niedrigen Zuflüssen sehr selten sind. Es sind zwei nicht witterungsbedingte Szenarien vorstellbar, die zu niedrigeren Abflüssen führen könnten:

- Verlust der Stauhaltung Niederried und gleichzeitiger Unterbruch der Wasserführung der Aare am Wehr Mühleberg. Alleine aufgrund des Verlustes des Wehres in Niederried würde im Winter resp. in Zeiten niedriger Zuflüsse die Möglichkeit bestehen, dass der Pegel weiter fällt. Ein vollständiges Trockenfallen der Aare bis auf die Flusssohle wird allerdings von Kiesbänken im Mündungsbereich der Saane verhindert. Diese sorgen somit für einen minimalen Wasserstand im Bereich des EKKM, der nicht unterschritten werden kann. Die Wahrscheinlichkeit einer vollständigen Unterbrechung der Aare flussaufwärts ist zudem gering, da das Wasserkraftwerk Mühleberg mit genügend redundanten Systemen ausgestattet ist, um eine kontinuierliche Wasserführung zu gewährleisten.
- Mögliche Revisionsarbeiten an den Stauhaltungen im Gebiet der KWO plus eine Entleerung des Oberaarsees und des Grimselsees vor dem Winter. In diesem Fall sind extreme Niedrigwasserlagen im Bereich von 20 m³/s denkbar. Aber auch hier ist das Szenario wenig wahrscheinlich, da im Gebiet der KWO nicht alle Stauhaltungen und Zentralen gleichzeitig revidiert werden.

Für den Betrieb des EKKM wird eine Wassermenge von max. 4.3 m³/s (siehe Kap. 2.4.6) benötigt. Folglich ist, selbst unter zu erwartenden extremen Niedrigwasserbedingungen, immer eine ausreichende Kühlwassermenge vorhanden.

Der Einfluss von Niedrigwasser der Aare auf das Grundwasser ist gering und auf den aarebeeinflussten Grundwasserbereich beschränkt. Niedrigwasser der Aare treten normalerweise im Winter auf (siehe oben). Zu diesen Zeiten erreicht der Spiegel des hangwassergespiesenen Grundwasserbereichs jedoch seinen Maximalstand. Niedrigwasserstände des Grundwassers führen daher weder zu Wassermangel an einer Entnahmestelle, noch haben sie einen bedeutenden Einfluss auf den Fundationsbereich.

3.4.4.2 Geomorphologische Einflüsse auf die Hydrologie

Bei geomorphologischen Ereignissen im Einzugsgebiet des EKKM, die potenzielle Auswirkungen auf die Hydrologie haben könnten, handelt es sich um Massenselbstbewegungen, Erosion oder Sedimentation in den Fliessgewässern.

3.4.4.2.1 Massenselbstbewegungen

Massenselbstbewegungen wie Hangrutschungen, Murgänge, Felssturz und Lawinen kommen im Einzugsgebiet vor, stellen aber keine Gefährdung für den Standort dar. Ereignisse flussaufwärts des Standortes sind in der näheren Umgebung zu klein, um merkliche Auswirkungen zu haben. Grössere Ereignisse können aufgrund des Reliefs erst in den Alpen erwartet werden. Ihre Auswirkungen werden im Zwischeneinzugsgebiet gedämpft, sodass sie keine Konsequenzen für den Standort haben.

In den Berechnungen zu den Dammbrüchen ist zu sehen, dass am Prallhang Runtigenflue, der östlich des Mündungspunktes der Saane liegt und am ehesten Potential für einen Aufstau hätte,

üblicherweise keine hohen Schubspannungen auftreten, da die Aare den direkteren Weg über die Oltigenmatt nimmt. Massenselbstbewegungen in der Nähe des Standortes sind also nicht in der Lage, die Aare so aufzustauen, dass der Standort betroffen wäre. Auch mögliche Ereignisse flussaufwärts des Standortes führen zu keinen zusätzlichen starken Gefährdungen. Mögliche Hangrutschungen in den Wohlensee führen aufgrund der maximal denkbaren Volumina und der moderaten Tiefe des Wohlensees nicht zu Ereignissen am Standort, die Flutpegel eines vollständigen Bruches der Staumauer Mühleberg überschreiten.

Die Gefährdung durch Erdbeben und Felssturz wird weiter besprochen in Kap. 3.6.2.7.

3.4.4.2.2 Erosion / Flussverlagerung

Die Sohle der Aare von der Mühlebergmauer bis zur Mündung der Saane änderte sich in den letzten Jahren kaum. Es wird dort kein Geschiebe transportiert. In der Saane gibt es hingegen Erosionstendenzen an der Sohle. Das Geschiebe wird bis zur Mündung in die Aare transportiert und dort abgelagert.

Diese vor allem bei hohen Abflüssen stattfindende Erosion hat keine kritischen Auswirkungen für die Betrachtung der Hochwasserpegel.

Anders verhält es sich für die Erosionsprozesse, die bei Flutwellen infolge von Staumauerbrüchen auftreten. Für das Aaretal am Standort, zwischen Mühlebergmauer und Saanemündung, sind hier umfangreiche Abtragungsvorgänge zu erwarten. Wie mit Hilfe der zweidimensionalen Modellierung der Flutereignisse gezeigt werden kann, treten bei einem vollständigen Bruch der Staumauer Mühleberg hohe Fliessgeschwindigkeiten auf. Diese führen insbesondere in Bereichen, in denen Lockergestein den Untergrund bildet, zu starker Erosion. In den ersten 30 min des Flutereignisses sind Erosionsprozesse zu erwarten. Insbesondere in den ersten 10 min treten teilweise hohe Schubspannungen auf, die in der Lage sind, sowohl Gras als auch Pflasterungen abzutragen. An einzelnen Stellen können die Schubspannungen kurzzeitig 500 N/m^2 übertreffen, der durchlaufende Schwall erzeugt flächig Schubspannungen im Bereich von 300 N/m^2 . Es ist daher zu erwarten, dass im Laufe des Ereignisses Teile der Uferbereiche abgetragen werden und das Flussbett breiter wird. Die Terrasse wird so angelegt, dass sie diesen Belastungen standhält. Für das Reaktorgebäude besteht daher keine Gefahr der Unterspülung. Es ist nicht zu erwarten, dass die Molasse in grossem Umfang erodiert wird. Das gilt ebenfalls für die an den Talflanken anstehende Molasse, die teilweise wandbildend ist. Hier ist deshalb nicht zu erwarten, dass es zu Felsstürzen in grossen Ausmassen kommt. Für den vollständigen Bruch der Staumauer Schiffenen kommt es am Gelände des EKKM nur zu geringen dynamischen Belastungen. An den Flanken der Terrasse treten an vereinzelt Stellen für wenige Minuten Schubspannungen auf, die knapp über 40 N/m^2 liegen und damit die Grasnarbe angreifen können. Im Saanetal treten dahingegen hohe Fliessgeschwindigkeiten und Schubspannungen auf, die zu grossflächiger Erosion führen können. Insbesondere an einengenden Stellen, wie den Flussdämmen und Prallhängen, treten teilweise Schubspannungen bis über $1'000 \text{ N/m}^2$ auf. Prominente Einengungen finden sich am Gümnenendamm und im Bereich Oltigematt, wo ein Grossteil des Wassers neben dem Flussbett durchfliesst. Diese Geländeänderungen konnten in der Simulation nicht einbezogen werden. Es ist davon auszugehen, dass eine Talaufweitung durch Erosion oberhalb der Saanemündung zu grösseren Abflüssen und damit zu höheren Wasserkoten am Standort führt. Erosion unterhalb der Saanemündung, insbesondere im Bereich des Niederrieddammes, führt ebenfalls zu grösseren

Abflüssen, reduziert allerdings die Flutkote am Standort. Die Aussagen für den Bruch in Schiffenen können auf andere Brüche von Staumauern an der Saane übertragen werden, wobei das Ausmass der Erosion von der insgesamt abfliessenden Wassermenge abhängt. Diese bewirkt je nach Szenario unterschiedliche Erosionsdauern und Erosionskräfte.

Die geländeumformenden Prozesse, die im Falle einer Überflutung infolge eines Staumauerbruches ablaufen, können Auswirkungen auf Betrieb und Sicherheit des EKKM haben. Das gilt vor allem für einen Bruch der Staumauer Mühleberg. Die Anlage wird daher so ausgelegt, dass eine sichere Abschaltung des Reaktors auch bei den dort ablaufenden erosiven Prozessen gewährleistet ist. Die geländeumformenden Prozesse für Fluten infolge Dammbruchereignissen im Saanegebiet können u. U. zu einer Erhöhung der bisher angegebenen Flutkoten führen. Da die Flutkoten der Einzelbrüche der Staumauern Schiffenen, Rossens und Hongrin deutlich unter jenen des Einzelbruches Mühleberg liegen, ist hier ausreichend Sicherheitsreserve vorhanden, solange das Ereignis des Einzelbruches der Mühlebergstaumauer durch die Anlagenkonzeption beherrscht wird.

3.4.4.2.3 Sedimentation

In der Hochwasserstudie für das KKM [8] wurde die Auswirkung der Auflandung der Sohlenlage an der Mündung der Saane untersucht. Bis 2024 wird eine Erhöhung der Sohlenlage um 30 cm erwartet, was am Standort des KKM zu einer Erhöhung des $HQ_{10'000}$ von 13 cm führt. Ein Grund für die Auflandung ist, dass der bis in die 1970er-Jahre erfolgte Kiesabbau in der Aare unterhalb der Saanemündung und ebenfalls der in der Sense erfolgte Kiesabbau eingestellt wurden, sodass vermehrt Kies der Saane zugeführt wird. Um eine einfache konservative Abschätzung der Sedimentationsauswirkung auf das Hochwasser für die gesamte Dauer des Betriebes zu erhalten, wurde eine konstante Sedimentation bis ins Jahr 2084 angenommen. Mit den in [8] geschätzten Werten für die jährliche Sedimentation an der Saanemündung von 1500-2000 m³ wurde ein abgelagertes Gesamtvolumen von 140'000 m³ ermittelt, das zu Sohlenerhöhungen im Mündungsbereich der Saane von bis zu 1.2 m führen sollte. Es ist möglich, dass die Sedimentation niedriger ausfällt, wenn in Zukunft ein Sohlenzustand erreicht wird, der zu einem durchgehenden Geschiebetrieb führt. Zudem kann es sein, dass anthropogene Eingriffe, etwa zur Hochwasserprävention, zu niedrigerem Geschiebeanfall oder zu niedrigerer Sohlenerhöhung führen. Mit der erhöhten Sohle für das Jahr 2084 wurde ein $HQ_{10'000}$ gerechnet. Die resultierenden Koten am EKKM liegen bei 466.15 m ü.M. bis 466.45 m.ü.M. Das entspricht einer Erhöhung um ca. 20 cm gegenüber einem $HQ_{10'000}$ mit heutiger Sohlenlage und ist damit unkritisch.

Die Auswirkung kontinuierlich stattfindender Sedimentation auf die Hydrologie des Standortes ist somit gering, die Einschätzung der Hydrologie ist davon nicht betroffen.

Anders verhält es sich bei den Staumauerbruchereignissen. Hier sind Geländeumlagerungen grossen Ausmasses vorstellbar. Das erodierte und im Wasser transportierte Material lagert sich an Stellen mit nachlassenden Fliessgeschwindigkeiten respektive nachlassender Schubspannung ab. Für den Standort sind daher im Falle der Saane-flutwellen Ablagerungen nahe der Saanemündung vorstellbar, die nach einem Abklingen der Flut zu einem Rückstau der Aare führen könnten. Es ist nicht vorstellbar, dass dieser Rückstau die vorangehende Flutkote übertrifft. Auch für den Fall des Bruches der Mühlebergmauer sind kleinere Ablagerungen am Standort wahrscheinlich. Insbesondere mit abflauender Flutwelle nehmen die Schleppspannungen ab. Die Ablagerungen

dürften sowohl aus erodierten Sedimenten der Stauseen als auch aus ausserhalb abgetragenen Material bestehen. Dazu zählen auch Bäume. Ihre Auswirkungen sind vor allem dynamischer Natur, d.h. es treten Schäden durch mitgerissene Baumstämme ein. Ein zusätzlicher Rückstau durch Verklausung in Niederried ist vernachlässigbar, da das Kraftwerk 4 km entfernt ist und eine zusätzliche Entlastung über die Seitendämme erfolgt. Weitere Stellen, wie Brücken oder Wehre, an denen bedeutende Verklausung und dadurch ein zusätzlicher Rückstau erfolgen könnte, sind nicht in Standortnähe. Für einen Bruch in Mühleberg ist zu erwarten, dass vor allem Sedimente aus dem Wohlensee erodiert werden. Dies sind hauptsächlich Feinsedimente, die erst weiter flussabwärts in Stillwasserbereichen abgelagert werden. Der Hauptsedimentabfall wird daher nicht in Standortnähe stattfinden.

Je nach Dammbbruchszenario und gewähltem Standort für die Wasserfassung kann es zu einem Unterbruch der Kühlwasserversorgung kommen. Durch eine entsprechende Auslegung wird gegen allfällige Unterbrüche der Kühlwasserversorgung ein ausreichender Schutz geboten (siehe Kap. 3.6.2.42).

3.4.4.3 Klimaerwärmung

Die möglichen Effekte der Klimaerwärmung sind in Kapitel 3.3.11 dargestellt.

Durch höhere Temperaturen wird die Schneeschmelze früher einsetzen, sodass das Abflussmaximum des Sommers weiter in das Frühjahr wandert. Es werden im Sommer längere Dürreperioden erwartet, da die Verdunstung zunimmt und die Sommerniederschläge abnehmen. Insbesondere im Sommer und im Herbst kann das zu vermindertem Abfluss führen, der Werte erreichen könnte, die momentan im Winter auftreten. Am Standort treten bisher Niedrigwasserereignisse ausschliesslich im Winterhalbjahr auf, während die Hochwasserereignisse vor allem im Sommerhalbjahr auftreten.

In Bezug auf Hochwasser sind vor allem im Winter häufiger Extremniederschläge zu erwarten, sodass es insbesondere bei kleinen bis mittleren Einzugsgebieten häufiger zu Hochwassern kommen könnte. Die Aare hat am Standort ein grosses heterogenes Einzugsgebiet, in dem diese Effekte ausgeglichen werden. Im hochalpinen Einzugsgebiet der Aare werden die winterlichen Niederschlagsereignisse weiterhin in fester Form anfallen.

Für die Aare wird mit diesen Prognosen keine Verschärfung – eher eine Entschärfung – von extremen Hochwasser- oder Niedrigwasserereignissen erwartet, da für die jeweiligen Ereignisse aus heutiger Sicht eine gegenläufige saisonale Tendenz zum bisherigen Muster vorausgesagt wird.

3.4.4.4 Vereisung von Gewässern

Ein Zufrieren der Gewässer in Standortnähe ist nicht auszuschliessen; insbesondere für den Niederriedsee ist bekannt, dass er im Winter teilweise zufriert [78]. Die Eisbildung findet allerdings hauptsächlich im Altarm des Niederriedsees statt und nicht im durchströmten Bereich.

Auch auf dem Wohlensee kann in manchen Wintern Eisbildung beobachtet werden. Der Winter ist eine Periode mit niedrigen Wasserabflüssen, das Wasser des Wohlensees wird daher komplett durch die Turbinen des Wasserkraftwerkes Mühleberg abgearbeitet, sodass im Normalfall kein Eis / Wasser-Gemisch über das Wehr abgelassen wird. Die Wehre in Mühleberg und Niederried

sind mit einer Luftschleieranlage ausgestattet, die Eisbildung am Wehr verhindert, sodass die Wehrklappen immer funktionsfähig bleiben. Des Weiteren steht am Wehr Mühleberg ein Grundablass zur Verfügung, der es ermöglicht, bei gefrorenem Wohlensee relativ warmes Tiefenwasser gezielt abzulassen, um flussabwärts Vereisungen zu vermeiden oder zu verringern.

Vereisungen im Aarelauf können auftreten, obwohl sie – abgesehen von den Gewässerrandbereichen – noch seltener sind als Vereisungen der Stauseen. Vereisungen in der Aare können in verschiedenen Ausprägungen vorkommen: So gibt es z.B. Treibeis, welches in flussaufwärts liegenden Bereichen gebildet wird und flussabwärts treibt. Durch das Wehr Mühleberg wird dieses Eis im Normalfall zurückgehalten und verbleibt im Wohlensee. Erst wenn die Turbinenkapazität nicht mehr ausreicht, wird es über das Wehr gelassen. Um das zu vermeiden, besteht auch hier die Möglichkeit, den Grundablass zu verwenden.

Die Aare könnte u. U. auch komplett oberflächlich zufrieren. Im Unterschied zu Seen, in denen weniger Turbulenz vorliegt, ist es für ein vollständiges Zufrieren von Fließgewässern notwendig, dass die Wassertemperatur nahe 0 °C liegt; eine solche Temperatur wird normalerweise nur nach langen Kälteperioden erreicht. Für den Standort sind keine konkreten Aufzeichnungen über ein solches Ereignis bekannt.

Generell ist aus vorhandenen Daten eine abnehmende Tendenz für Eisbildungen auf Schweizer Gewässern ableitbar, die Eisbildung wird voraussichtlich durch die Auswirkungen der Klimaerwärmung (siehe Kap. 3.3.11) noch weiter reduziert.

Die mögliche Gefährdung durch Eisbildung wird im Kapitel 3.6.2.5 behandelt.

3.4.5 Zusammenfassung, Bedeutung für Standorteignung und Auslegung der Anlage

Die Berechnungen zeigen, dass hydrometeorologische Hochwasserereignisse hinsichtlich Abflussmaxima und erreichter Wasserstände von Mauerbruchszenarien deutlich übertroffen werden. Abgesehen von sequenziellen Mehrfachbrüchen führt der komplette Bruch der Staumauer Mühleberg zum höchsten Wasserstand am Standort.

Die Anlagekonzeption ist so ausgelegt, dass sie alle für die Sicherheit relevanten Hochwasserereignisse beherrscht. Zum einen wird das durch eine geeignete Terrassendimensionierung erfolgen. Sollten beispielsweise die sicherheitsbezogenen Anlagekomponenten auf der für die Staumauerbruchanalysen angenommenen Terrassenhöhe errichtet werden, wären 10'000-jährliche Hochwasserereignisse (Sicherheitshochwasser) bei weitem abgedeckt, sowie auch sämtliche Staumauerbruchszenarien – ausser einigen sequenziellen Mehrfachbrüchen.

Zum anderen wird die Anlage so ausgelegt, dass auch für die relevanten Ereignisse, bei denen Wasser über dem Anlagennull steht, eine sichere Abschaltung des Reaktors gewährleistet ist. Das kann z.B. durch wasserdichte Schleusensysteme oder durch eine geeignete Positionierung der Gebäudedurchdringungen erreicht werden.

Durch Terrassendimensionierung und Auslegung soll gewährleistet sein, dass nur Hochwasserereignisse mit sehr geringer Eintrittshäufigkeit zu einer Überflutung des Anlagenareals höher als das Anlagennull führen.

Die Auswirkungen von Niedrigwasserereignissen und geomorphologischen Einflüssen sind geringfügig resp. werden durch die Anlagekonzeption oder -auslegung abgedeckt und sind somit für die Standorteignung belanglos.

Die aus heutiger Sicht absehbaren Effekte des Klimawandels werden durch die Auslegung abgedeckt sein.

Nur im Fall des Bruchs der Wohlensee-Staumauer kommt es zu Fließgeschwindigkeiten, die abtragende Effekte haben könnten. Die Sedimentbewegungen könnten lokal den Durchfluss blockieren; durch diversitäre Wärmesenken (siehe Kap. 2.4) hat jedoch auch die Blockierung des Durchflusses keinen Einfluss auf die nukleare Sicherheit.

3.5 Geologie, Baugrund, Seismologie

3.5.1 Geologie

3.5.1.1 Übersicht

Der für das EKKM gewählte Standort Niederruntigen liegt an der Aare, nahe dem Zusammenfluss mit der Saane. Der Standort befindet sich im Molassebecken der Westschweiz, welches hier im Norden durch den Faltenjura und im Süden durch die verschuppte Subalpine Molasse und die Klippendecken der Präalpes begrenzt ist.

Das Molassebecken ist ein typisches Vorlandbecken, das sich im Vorfeld der wachsenden Alpen entwickelte. Die europäische Kontinentalplatte fällt aufgrund der Subduktion gegen Süden ein. Die zusätzliche Auflast des Alpengebirgskörpers bewirkte, dass sich im Tertiär die europäische Platte im Süden gegen unten wölbte, womit nördlich vor der Alpenfront das im Querschnitt dreieckförmige Molassebecken entstand. Am tiefsten ist das Becken in der Nähe der eigentlichen Alpen, und die darin abgelagerten Sedimente sind dort am mächtigsten. Nach Norden werden sie dünner und keilen im Gebiet des Juras aus. Die Sedimentation der Molasse begann mit der Subsidenz des gesamten Schweizerischen Mittellandes im Tertiär (Oligozän). Die meist sandigen Sedimente der Molasse setzen sich aus Erosionsmaterial der aufsteigenden Alpen zusammen, welches im nördlichen Vorlandbecken abgelagert wurde. Diese tertiären Ablagerungen liegen diskordant über den mesozoischen Sedimenten.

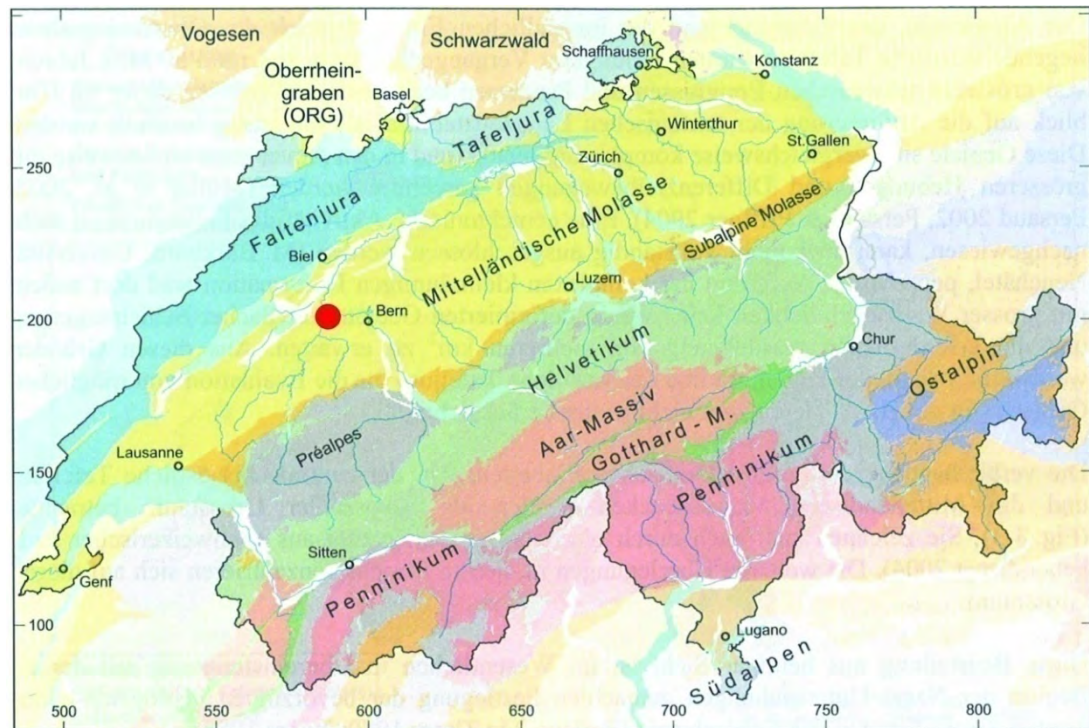
Die Sedimentation der mesozoischen Schichten erfolgte unter relativ ruhigen Bedingungen von der Trias bis in den oberen Malm resp. zum Teil in die Kreide. Dies entspricht dem Zeitraum zwischen ca. 245 Mio. und ca. 160 Mio. resp. 65 Mio. Jahren vor der heutigen Zeit. Die Basis der mesozoischen Serien besteht aus duktilen Evaporiten, vor allem Anhydrit und Steinsalz. Ein altes, kristallines Grundgebirge, zumeist älter als 300 Mio. Jahre (vormesozoisch oder paläozoisch) bildet das Liegende. Es besteht vorwiegend aus Graniten und Gneisen. Darin eingelagert sind aber auch permische und karbonische Sedimente, die in sogenannten "Gräben" abgelagert wurden. Gräben sind Depressionen, die durch Brüche in der Kruste begrenzt werden. Sie entstanden unter transpressiven Bewegungen. Alles in allem wurde die Kruste aber während dieser Zeit deutlich gedehnt.

Der das Gebirge aufbauende alpine Zusammenschub bewirkte, dass der Schichtstapel des Molassebeckens ab ca. 13 Mio. Jahre entlang eines Abscherhorizontes nach Norden bewegt wurde (Fernschubtheorie). Es existieren zwei sich widersprechende Ansichten zur Fernschubtheorie: Die von den meisten Geowissenschaftlern akzeptierte "Thin-skinned"-Theorie besagt, dass das Grundgebirge unter dem Faltenjura kaum beeinträchtigt wurde. Die Stauchung im Grundgebirge fand weiter südlich an der Alpenfront statt. Als Gleithorizont dienten die den Molasseablagerungen unterliegenden Anhydrit- und Steinsalzabfolgen der Trias. Nach der "Thick-skinned"-Theorie wäre das Grundgebirge unter dem Mittelland zusammen mit dem Deckgebirge gestaucht. Eine Abscherung innerhalb der mesozoischen Schichten fände nicht oder nur in kleinem Masse statt.

Am Nordrand des Molassebeckens ist der Abscherhorizont durch Sockelstörungen des Grundgebirges versetzt. Der Nordschub der Molasseschichten führte dort zur Aufschiebung der mesozoischen Schichtpakete und somit zur Entstehung des Faltenjuras.

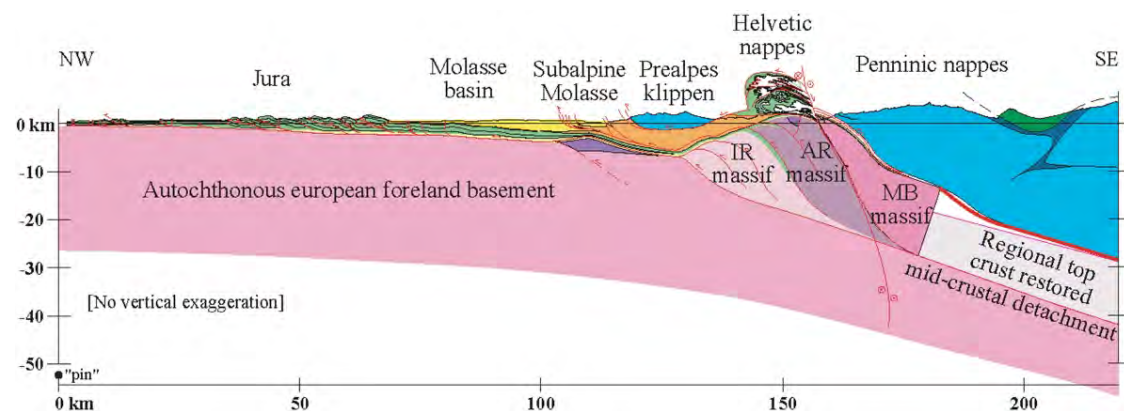
Ein weiteres wichtiges tektonisches Element bildet der Oberrheinigraben (ORG). Dessen Entstehung begann vor ca. 40 Mio. Jahren. Im Verlaufe der Zeit hat er sich zwischen den Grundgebirgsmassiven der Vogesen und des Schwarzwalds eingesenkt und wurde mit Sedimenten ähnlich denjenigen im Mittelland aufgefüllt (Abbildung 3.5-1).

Abbildung 3.5-1: Geologisch-tektonische Karte der Schweiz und angrenzender Gebiete, vereinfacht nach Bundesamt für Wasser und Geologie 2000a [61] und 2000b [62]



Quelle: BWG

Abbildung 3.5-2: Geologisches Profil durch das westliche Mittelland bis in die Alpen; nach Burkhard & Sommaruga 1998 [56]; vereinfacht in Bonnet 2007 [57]



Quelle: Universität Freiburg

3.5.1.2 Geodynamisches Modell

3.5.1.2.1 Zielsetzung

Das hier präsentierte geodynamische Modell gibt eine Übersicht über die Vorstellungen zur Tektonik und Geodynamik im grösseren Umfeld des EKKM. Besonders die Fribourg Struktur und ihre östliche Begrenzung, die Fribourg Zone, werden in ihrem regionalen Rahmen beschrieben.

3.5.1.2.2 Regionale geologisch-tektonische Verhältnisse

Die regionale Geologie und Tektonik im Gebiet von Mühleberg ist durch die geologisch-tektonische Entwicklung des Molassebeckens des Mittellandes bestimmt. Diese ist nur im Kontext der grossräumigen geologisch-tektonischen Prozesse zu verstehen. Im Folgenden werden daher die grossräumigen Prozesse kurz erläutert.

Der Standort des EKKM – siehe Abbildung 3.5-1 (roter Punkt) und Abbildung 3.5-8 (roter Pfeil) – liegt im Übergangsbereich vom westlichen zum zentralen Mittelland. Im Süden liegen die Alpen, im Norden verläuft der Jurabogen (Faltenjura), der mittelländische geologische Untergrund wird durch mächtige Molassesedimente aufgebaut. Diese wurden im Tertiär vor ca. 34 Mio. bis ca. 10 Mio. Jahren als Abtragungsprodukte der Alpenfaltung im alpinen Vorland abgelagert. Dabei haben Flüsse das Erosionsmaterial der sich hebenden Alpen über weite Alluvialebenen ins Molassebecken transportiert. Die Ablagerungsgeschichte im Molassebecken wurde weiter durch das zweimalige Vordringen und den nachfolgenden Rückzug des Meeres geprägt. Im Zuge dieser Entwicklung lagerten sich von unten nach oben die Untere Meeresmolasse (UMM), die Untere Süsswassermolasse (USM), die Obere Meeresmolasse (OMM) und als höchste Einheit die Obere Süsswassermolasse (OSM) ab. Die Mächtigkeit der Molasseablagerungen erreicht am Alpenrand 6 km. Gegen Norden dünnt der Schichtstapel aus. In den folgenden Perioden wurden die Molassesedimente im westlichen Mittelland bis in die Untere Süsswassermolasse erodiert.

Den flach gelagerten Molassesedimenten unterliegend folgt eine Abfolge von Kalkstein, Mergel, Ton, Anhydrit und Steinsalz der Trias sowie des Jura. Diese mesozoischen Sedimente sowie die Molasseschichten werden vom kristallinen Grundgebirge unterlagert. Das Grundgebirge entspricht demjenigen des Schwarzwaldes und der Vogesen im Norden sowie der Zentralmassive der Alpen im Süden (Aar- und Gotthard-Massiv). Es besteht überwiegend aus Granit und Gneis. Lokal sind trogförmige Mulden von karbonischen und permischen Sedimenten eingeschaltet (Permokarbontröge).

Die verschiedenen tektonischen Merkmale und strukturellen Einheiten, die im Mittelland gefunden werden, sind durch eine Kombination aus den teils extensiven tektonischen Bedingungen während der Ablagerung der darin liegenden Sedimente und der späteren kompressiven Überprägung (Faltung und Zerbruch) während der Hauptphase der Alpenfaltung bedingt. Die jüngere geologische Geschichte des Molassebeckens erfolgte im Spannungsfeld zwischen Alpen, Schwarzwald und Rheingraben. Grossräumig kann der Aufbau der Druckspannung durch die Konvergenz und das Zusammenprallen des adriatischen Mikrokontinents mit der europäischen Platte erklärt werden. Die Hauptphase der jüngeren Gebirgsbildung wird im Allgemeinen zwischen ca. 25 Mio. und ca. 3-4 Mio. Jahren angesiedelt. Während dieser Zeit wurde der gesamte mesozoische und tertiäre Sedimentstapel oberhalb der mittleren Trias vom darunterliegenden kristallinen Grundgebirge, und lokal von Permokarbon-

Sedimenten, abgeschert und nach Norden verschoben. Im südlichen Teil des Molassebeckens kann auch die tertiäre Molasse-Serie von der darunterliegenden, mesozoischen Abfolge abgekoppelt sein.

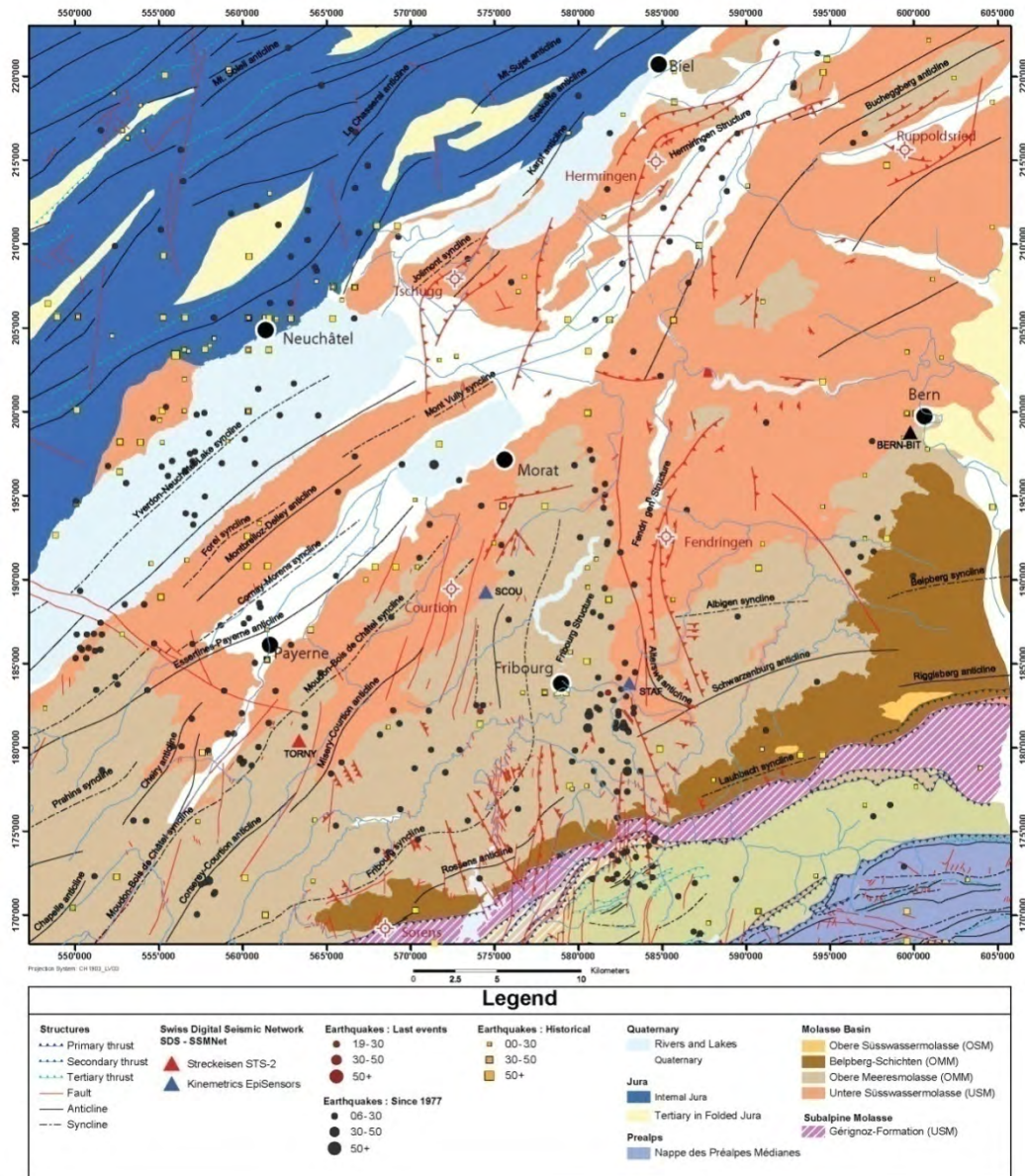
Neuere Studien legen aber nahe, dass die Gebirgsbildung immer noch im Gang ist. Dies wird durch eine andauernde Erdbebenaktivität gestützt. Die Magnitude der meisten Erdbeben in unserem Gebiet ist aber niedrig. Dabei liegt die grösste Hauptdruckspannung senkrecht zur Gebirgsfront, d.h. im westlichen Mittelland ungefähr in NW–SO Richtung.

3.5.1.2.3 Tektonische Strukturen im Molassebecken

Die Abscherung im Molassebecken und die Bildung der Jura-Falten und –Überschiebungen erfolgten wohl gleichzeitig. Die kompressive Tektonik im alpinen Vorland wirkte sich auf den Bau der Molasse aus. Die Über- / Aufschiebungen, welche mit den, im Allgemeinen bruchbedingten, Faltenstrukturen verknüpft sind, wurzeln im Abscherungshorizont der triassischen Evaporite oberhalb des Grundgebirges.

Die Falten und Überschiebungen sind im allgemein SW-NO orientiert. Allerdings können verschiedene Abweichungen von diesem alpinen Trend beobachtet werden. So wird an etlichen Stellen beobachtet, wie SW-NO orientierte, frontale Störungszonen bzw. Rampen in SSW-NNO gerichtete, laterale Rampen übergehen, wie das bei der Tschugg- und der Hermrigen-Struktur der Fall ist (Abbildung 3.5-3). Eine weitere bemerkenswerte Struktur ist die N-S gerichtete Fribourg Synklinale bzw. Fribourg Zone. Die Struktur erstreckt sich von der Subalpinen Molasse südlich Fribourg nach Norden bis in den Raum von Gümnen östlich des Murtensees.

Abbildung 3.5-3: Tektonische Übersichtskarte. Integriert in diese Karte sind die neueren Ergebnisse aus der seismischen Interpretation (siehe Kap. 3.5.3.7.2), insbesondere die Brüche die mit der Fribourg Zone, der Hermrigen-Struktur und der Tschugg-Struktur zusammenhängen.



Von besonderem Interesse sind Störungen mit lateralen bzw. horizontalen Verstellungen. Eine ungefähr N-S gerichtete Störung mit links-lateralem, d.h. sinistralen Bewegungssinn, die der Fribourg Zone entspricht, und eine NW-SO bis WNW-OSO verlaufende Störung mit rechts-lateralen, d.h. dextralen Verschiebungen, die dem La Lance-Bruch entspricht.

Diese Strukturen sind aus Brüchen von geringer Ausdehnung zusammengesetzt und können anhand der reflexionsseismischen Daten im Untergrund oder mit Hilfe von geologischen Daten an der Oberfläche interpretiert werden. Eine Anzahl von Störungen, welche die östliche Begrenzung

der Fribourg-Struktur oder -Zone bilden, sind die bemerkenswertesten strukturellen Elemente im Untersuchungsgebiet (siehe Kap. 3.5.3.7.2 und Kap. 3.5.1.2.4).

3.5.1.2.4 Fribourg Struktur und Fribourg Zone

Die Fribourg Struktur (FS) erstreckt sich von der Subalpinen Molasse im Süden in nördlicher Richtung bis ungefähr nach Gümmenen auf die Höhe des östlichen Endes des Murtensees. Die FS kann anhand von verschiedenen geologischen und geophysikalischen Daten, besonders aber mit Hilfe der neuen Interpretation reflexionsseismischer Linien klar identifiziert und beschrieben werden. Der Ausdruck "Fribourg-Zone" geht auf Studien über die Lokalisierung von Erdbebenepizentren zurück. Die Epizentren von drei rezenten Erdbebenschwärmen scheinen auf einer geraden, ungefähr N–S verlaufenden Linie (einem Lineament) zu liegen, das unmittelbar östlich der Stadt Fribourg verläuft (siehe Abbildung 3.5-3 und Abbildung 3.5-25). Diese Aufreihung von Epizentren wurde als Fribourg-Zone (FZ) bekannt.

Bei der FS handelt sich um eine breite N-S ausgerichtete Synklinale, die auch als Fribourg-Galmiz-Synklinale bezeichnet wird. Die westlichen und östlichen Ränder sind durch sanfte Flexuren charakterisiert, die lokal eine leichte Antiklinalgeometrie annehmen können. Die Synklinale (oder "Graben"-Struktur), wie auch die Flexur, entstehen in Verbindung mit einer Ausdünnung der triassischen Evaporithorizonte. Die Evaporitmächtigkeit ist geringer im zentralen Teil der Synklinale und grösser östlich und westlich der Randzonen. Im Übergangsbereich entsteht in den darüberliegenden Schichtpaketen eine Art Flexur, deren Entstehung mit der Entwicklung von Brüchen – oft mit normalem Versatz – verbunden ist. Diese Brüche werden im heutigen Spannungsfeld als sinistrale Scherbrüche ("strike-slip faults") reaktiviert, und sind die Ursache der beobachteten seismischen Aktivität. Diese konzentriert sich auf den östlichen Rand der FS, wo besonders im südlichen Abschnitt gehäuft Erdbeben auftreten. Diese Schwärme sind etwa N-S angeordnet, was zur Hypothese führte, dass es sich hier um einen grossen, über 30 km langen seismisch aktiven Bruch handeln könnte [22].

Aufgrund der neu interpretierten seismischen Daten kann heute aber belegt werden, dass dieser 30 km lange durchgehende Bruch nicht existiert (siehe Kap. 3.5.3.7.2). Die neuen Interpretationen belegen, dass der Ostrand der Fribourg Struktur, also der FZ, aus einer Anzahl von Störungen geringerer Ausdehnung besteht. Aus Erdbebenherdlösungen, aber auch aus in-situ Spannungsmessungen lässt sich auf ein regional SO-NW orientiertes Spannungsfeld schliessen. Unter diesen Spannungsbedingungen bildete sich die FS als N-S gerichtete Riedel-Scherzone mit sinistralen Bewegungssinn aus. Kleinere, SSW-NNO oder SSO-NNW orientierte Bruchsegmente innerhalb dieser Scherzone zeigen ebenfalls einen sinistralen Bewegungssinn.

Gegen Norden ist die Ausdehnung der Fribourg Struktur begrenzt, sie verschwindet auf der Höhe des östlichen Endes des Murtensees. Die weiter nördlich gelegenen tektonischen Strukturen gehören zu einem System von bruchbedingten Faltenstrukturen mit einer SW-NO Orientierung. Die Überschiebungsstrukturen, die mit den Falten verknüpft sind, bilden frontale Rampen, die auf den reflexionsseismisch abgeleiteten Strukturkarten deutlich zu erkennen sind (siehe Kap. 3.5.2.5, Abbildung 3.5-39). Auf ihrer Westseite drehen diese Rampen typischerweise in eine SSW-NNO bis beinahe N-S Richtung ab. Zwischen der Struktur im Gebiet von Hermrigen und der Struktur im Gebiet von Tschugg ist eine ungefähr N-S ausgerichtete Synklinalgeometrie zu erkennen. Diese Synklinale entspricht einer Interferenzstruktur, welche mit den lateralen Rampen im Norden

verknüpft ist und kann daher nicht als die nördliche Verlängerung der Fribourg-Synklinale bzw. Fribourg-Zone angesehen werden. Zudem kann diese Interferenzstruktur nicht mit triadischen Evaporit Bewegungen in Verbindung gebracht werden; sie ist ausschliesslich ein Resultat der angesprochenen Überschiebungs- und Faltungstektonik.

Generell kann festgestellt werden, dass sich Bruchsegmente in der Sedimentdecke nicht bis ins darunterliegende Grundgebirge erstrecken. Die tektonischen Bewegungen in der Sedimentdecke sind von der Tektonik des Grundgebirges entkoppelt. Das schliesst nicht aus, dass sog. "Soft Links" zwischen Bruchsystemen im Deck- und im Grundgebirge existieren, aber die Wahrscheinlichkeit, einer einzelnen grossen Störung ist gering. Dies wird durch das anzunehmende Längen- / Breitenverhältnis ("aspect ratio") von 2:1 für die Brüche im Molassebecken bekräftigt, was wiederum mit der Tatsache verbunden ist, dass alle beobachteten Erdbeben im Untersuchungsgebiet in geringer, d.h. in weniger als 3-4 km Tiefe, auftreten und deshalb in der Sedimentserie zu lokalisieren sind.

3.5.1.2.5 Topographie, Rezent- und Neotektonik

Die Topographie und die Flussmorphologie in der weiteren Umgebung von Mühleberg erlauben einen Einblick in die glazialen und post-glazialen Ablagerungs- und Erosionsprozesse. Die prominentesten Merkmale sind die tiefen post-glazialen Flusstäler, sowohl in der Gegend von Fribourg als auch in der Gegend von Bern [117]. Der Gletscher hat mehrheitlich NO-SW orientierte, oberflächliche Strukturen hinterlassen. Grössere topographische Strukturen, wie der Mont Vully oder der Mont Gibloux, sind auf tektonische Strukturen (Falten und Überschiebungen) im Untergrund zurückzuführen.

Derartige topographische und morphologische Merkmale sind leicht zu erkennen, sowohl auf Luftbildern (Orthophotos) und Satellitenaufnahmen wie auch im digitalen Höhenmodell. Die neuen, hochauflösenden LIDAR-Daten¹ ermöglichen es, selbst kleinste Strukturen zu erkennen. Auch mit diesen hochauflösenden Daten sind aber bis anhin keine tektonischen Strukturen, wie oberflächliche Stufen und Verstellungen, identifiziert worden, die auf aktive Brüche deuten würden. Vergleiche von Talrichtungen mit Bruchorientierungen haben aber ergeben, dass die tief eingeschnittenen Täler meistens vorgegebenen Bruchrichtungen folgen. Die Fliessrichtungen von Flüssen resultieren im Allgemeinen aus dem kombinierten Einfluss von topographischen Gradienten, Schichteinfallen und Bruch- bzw. Kluftorientierungen. Besonders deutlich ist dies im Bereich der Saane und im Tal von Gottéron (bei Fribourg) zu beobachten.

Im Gebiet um Mühleberg gibt es - vom geologischen Standpunkt aus gesehen - keine Hinweise auf bedeutende, neotektonische Strukturen. Die am nächsten gelegenen neotektonischen Bewegungen findet man weiter westlich entlang des La Lance Bruches. Diese NW-SO verlaufende, dextrale Horizontalverschiebung erstreckt sich vom Juragebirge her entlang des Mont Aubert nach La Lance und in den Neuenburgersee hinein und verliert sich gegen SO in der Molasse südwestlich der Stadt Payerne (Abbildung 3.5-3).

Eine seismische Studie im südwestlichen Neuenburgersee auf der Höhe des Dorfes La Lance zeigt, dass der Bruch im See zwei Segmente entwickelt hat [118]. Aus dieser Studie ist ersichtlich,

¹ LIDAR: Light Detection and Ranging

Rückschlüsse auf heutige Bewegungen kann man auch aus GPS- und Nivellement-Messungen ziehen (siehe Abbildung 3.5-4). Flächendeckende Studien in der Schweiz zeigen ein einheitliches Bild mit sehr geringen Hebungsraten für die Molasse der Westschweiz, d.h. < 0.25 mm/Jahr. Es gibt auch keine lateralen Verstellungen oder differentielle Bewegungen, die auf eine etwaige tektonische Aktivität hinweisen würden. Die rezent aktiven Brüche können allenfalls anhand ihrer Seismizität erkannt werden (siehe FZ).

Rote und blaue Balken zeigen die rezenten Hebungs- bzw. Senkungs-raten relativ zu einem Referenzpunkt bei Laufenburg. Die Werte basieren auf wiederholten Präzisionsnivelement-Messungen aus dem Zeitraum zwischen 1896 und 2006 (Daten der Nordostschweiz nach Schlatter 2007, übriges Gebiet nach Schlatter 2006).

Das rezente Spannungsfeld kann mit Hilfe von Erdbeben-Herdmechanismen abgeleitet werden [23]. Die maximale horizontale Spannungsrichtung im Untersuchungsgebiet ist in etwa SO-NW orientiert. In-situ Spannungsmessungen bzw. -bestimmungen sind im Umfeld des KKM Standorts keine verfügbar.

3.5.1.2.6 Rezente Seismizität, Herdtiefen

Seismizitätskarten des Schweizerischen Erdbebendienstes (SED) fassen historische (seit ca. 1000 n. Chr.) und instrumentelle Erdbebenbeobachtungen (seit 1975) zusammen (Abbildung 3.5-5 und Abbildung 3.5-6). 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 aktiven Gebieten der Schweiz. Das zentrale und westliche Molassebecken, zu dem auch die Standortregion Mühleberg gehört, weist dagegen eine deutlich geringere Erdbebenhäufigkeit auf. Die Epizentren in diesem Gebiet sind diffus verteilt und können - von Ausnahmen wie der Fribourg-Zone abgesehen - meist 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, vom sedimentären Deckgebirge (Beispiel Fribourg-Zone, siehe Kap. 3.5.1.2.4) 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 3.5-5). Die tiefen Herde unter der mittelländischen Molasse und dem Jura sind ungewöhnlich für das Innere einer stabilen Kontinentalplatte ("intraplate region"). Eigentlich geht man 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; in [124] wird als mögliche Erklärung die Anwesenheit von hochgespannten Wässern erwähnt, welche die Scherfestigkeit präexistierender Schwächezonen soweit heruntersetzen könnten, dass Spröddeformation auch in Tiefen möglich wird, wo man bei trockenen Verhältnissen oder geringeren Wasserdrücken eine duktile Verformung erwarten würde.

Die Seismizitätsverteilung wird in Kap. 3.5.3.2 weiter behandelt.

3.5.1.2.7 Tektonisches Modell

Das regional-geodynamische Modell, das für den grösseren Umkreis des EKKM Standortes vorgeschlagen wird, setzt sich aus unterschiedlichen Strukturelementen zusammen, deren zeitliche Entwicklung und Abfolge zu einem komplexen Störungsmuster führte (siehe Abbildung 3.5-7).

Abbildung 3.5-5: Seismizität (a) und Herdtiefenverteilung (b), aus [123]

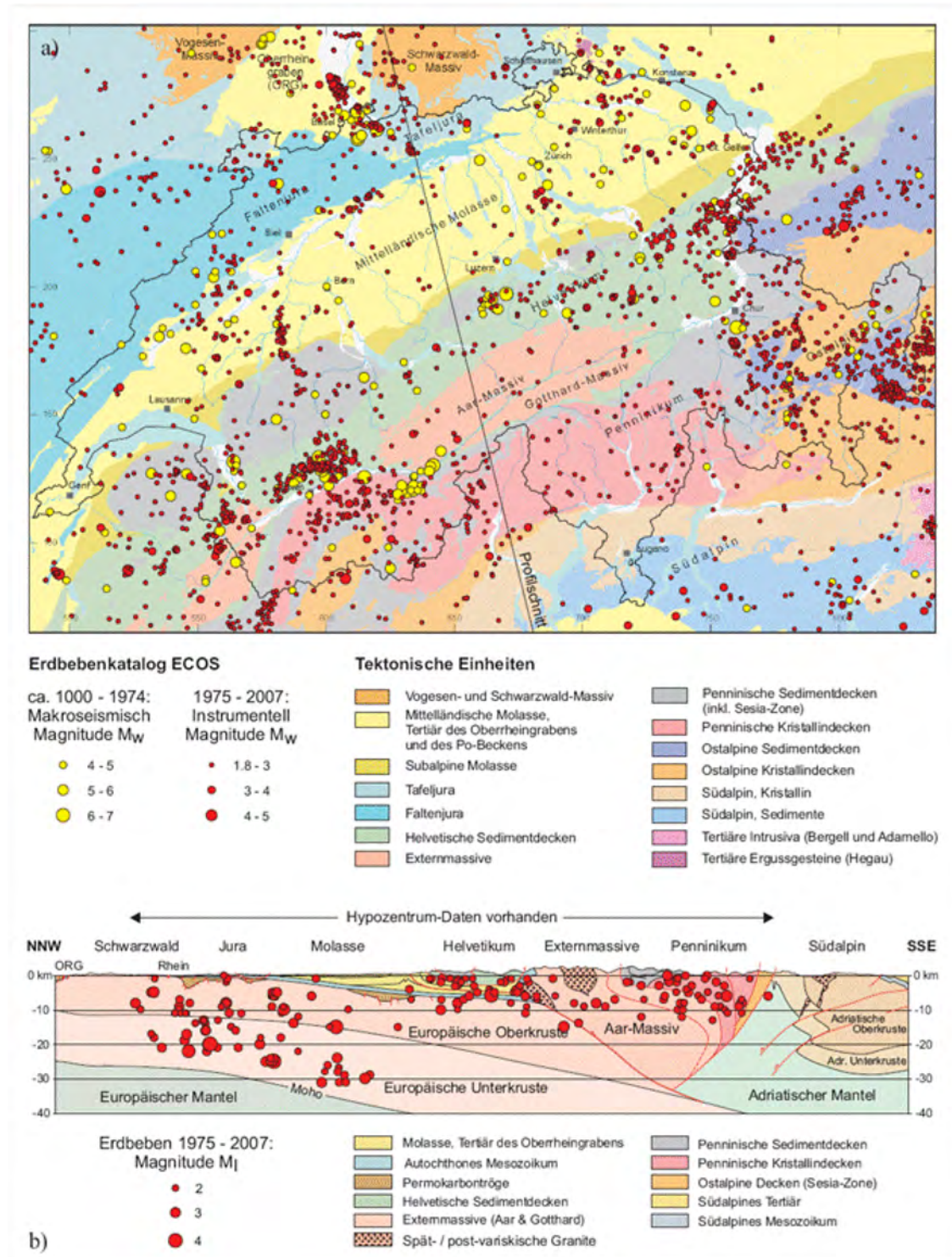
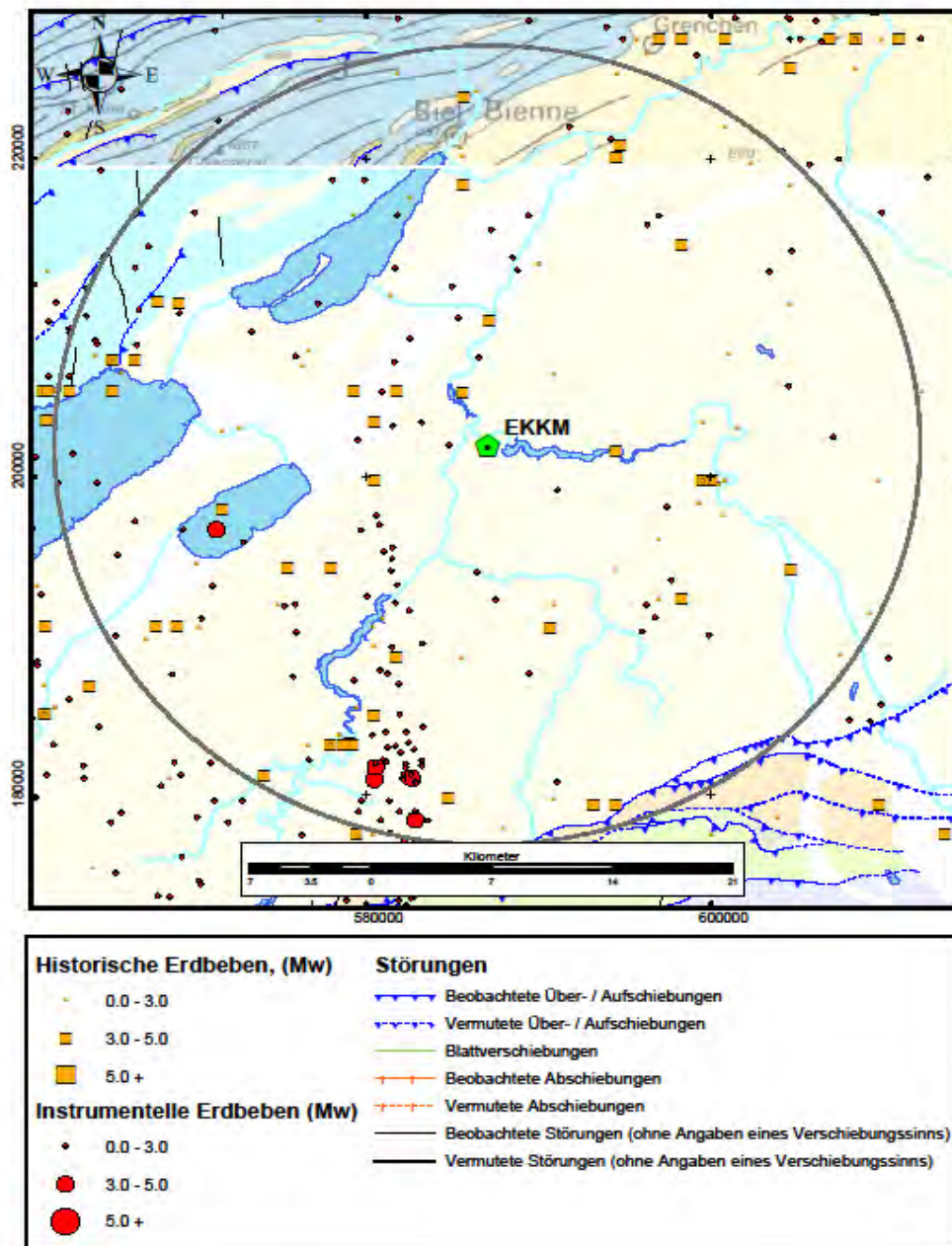


Abbildung 3.5-6: Karte mit Erdbeben Epizentren im Umkreis von 25 km um das EKKM. Die Konzentration seismischer Aktivität im Bereich der N-S streichenden Fribourg-Zone wird im Kap. 3.5.3.6 eingehend diskutiert.



Die Deformation erfolgte hauptsächlich in der mesozoisch-tertiären bis rezenten Sedimentdecke, die auf dem Niveau der triassischen Evaporite abgesichert und vom darunterliegenden Grundgebirge im breiten Sinn (einschliesslich möglicher Permokarbon-Vorkommen) abgetrennt wurde (Fernschubhypothese). Brüche entwickelten sich entweder in der Sedimentdecke oder im Grundgebirge (siehe die neue regionale Interpretationen reflexionsseismischer Daten, Kap. 3.5.3.7.2).

In der Sedimentdecke sind eine Reihe bruchbedingter Falten zu erkennen, die allgemein einen SW-NO Trend zeigen. Diese Falten sind durch Abscherung im Vorland, verursacht durch SO-NW orientierte Kompression, entstanden, möglicherweise gleichzeitig mit der Auffaltung des Jura (d.h. vor ca. 4-13 Mio. Jahren). Beispiele sind die Courtion, Montbrelloz-Delley und die Mörigen-Antiklinale der Hermrigen-Struktur. In der Subjurassischen Zone, d.h. im Übergangsbereich vom Faltenjura zum Molassebecken, entwickeln diese bruchbedingten Faltenstrukturen lokal laterale Rampen, was zu etwa N-S orientierten Strukturen führt. Dies gilt besonders für die Tschugg und die Hermrigen-Struktur.

Die Fribourg-Struktur zeigt eine N-S Orientierung und erstreckt sich von der verschuppten Subalpinen Molasse im Süden bis ungefähr zum östlichen Ende des Murtensees im Norden. Die seitlichen Flanken dieser Struktur zeigen eine flexurartige Geometrie, verknüpft mit einer Anzahl von ungefähr N-S streichenden Bruchbündeln.

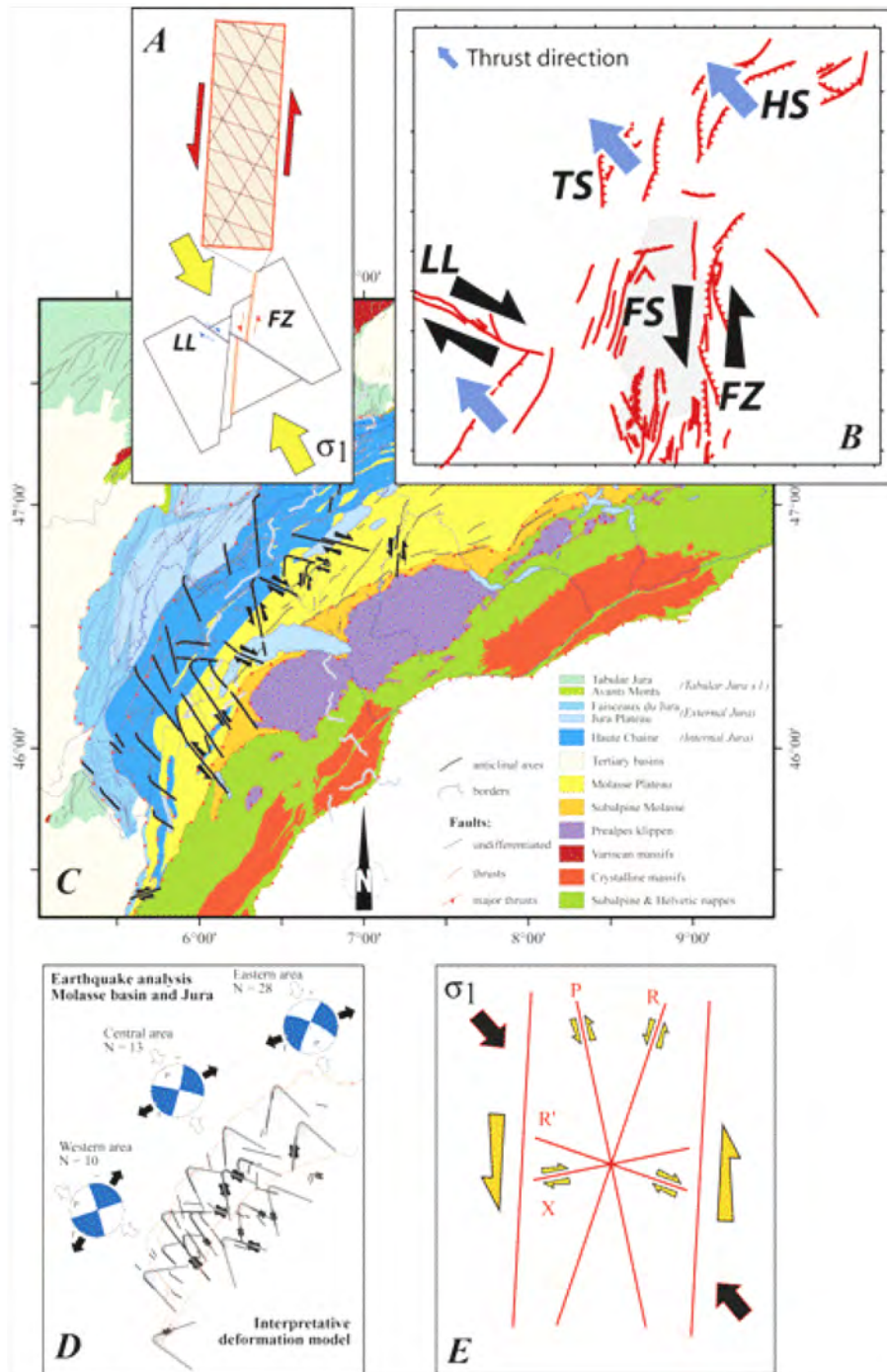
Der östliche Rand der Fribourg-Struktur - hier als die Fribourg-Zone bezeichnet - korrespondiert im zentralen und südlichen Bereich mit einer Anzahl von Erdbebenherden, die eine sinistrale Bewegungsrichtung aufweisen. Diese Bewegungen werden als Reaktivierungen von randlichen Grabenbrüchen interpretiert. Im Innern der Zone könnten neue Brüche entstanden oder vorhandene reaktiviert worden sein, mit einer Orientierung, die dem Riedel Modell (d.h. entweder NNO-SSW oder NNW-SSO) entspricht (Abbildung 3.5-7).

Im westschweizer Molassebecken beobachtet man eine Anzahl von N-S streichenden sinistralen Blattverschiebungen und NW-SO orientierte Störungen mit einer dextralen Bewegungskomponente. Diese Bruchzonen, mit ihrer internen Riedel-Geometrie, können als Teil eines grossräumigen, konjugierten Bruchsystems betrachtet werden (siehe Abbildung 3.5-7, Bild C), welches in einem SO-NW orientierten, kompressiven Spannungsfeld aktiv ist. Diese Bruchzonen schliessen den Faltenjura mit ein und erstrecken sich - wie das Beispiel des La Lance Bruches zeigt - bis ins Molassebecken.

Dieses konjugierte Bruchsystem rotiert entlang der Streichrichtung des Jurabogens und die Richtung der Verkürzung bzw. des Zusammenschubs ändert sich von NNW-SSO im Osten zu fast O-W im Westen. Dies entspricht in etwa dem heutigen Spannungsfeld ([57]; [23]; [54]). Die Brüche sind Teil eines Systems von Horizontalverschiebungen, welches den Sedimentstapel im alpinen Vorland deformiert und vom Grundgebirge abgekoppelt ist.

Die Fribourg-Struktur und die Fribourg-Zone sind der östlichste Ausdruck dieses Systems. Die Besonderheit ist hier, dass sich die N-S orientierte Riedel-Brüche oberhalb einer ererbten Struktur in der Sedimentdecke entwickelt haben und mit Salztekonik verknüpft sind. Die Struktur ist deshalb von begrenzter Ausdehnung und erstreckt sich nicht weiter nördlich als bis zum nördlichen Ende des Murtensees.

Abbildung 3.5-7: Karte und Skizze zum regionalen tektonischen Modell



- A) Konjugiertes Bruchmodell; jedes konjugierte Bruchsystem besteht aus einer Serie von Brüchen, die in einer Riedel Geometrie angeordnet sind.
- B) Vereinfachte tektonische Karte der Fribourg-Struktur (FS) mit den wichtigsten Strukturelementen: La Lance Bruch – LL, Fribourg-Zone – FZ, Hermrigen-Struktur – HS, Tschugg Struktur – TS. Diese Karte basiert auf die neue seismische Interpretation, siehe Abbildung 3.5-3 und Abbildung 3.5-39.
- C) Geologische Karte der Schweiz mit wichtigen Horizontalverschiebungszonen im westlichen Alpenen Vorland (aus [62] und [68]).
- D) Allgemeines Modell eines konjugierten Bruchsystems im westlichen Alpenen Vorland und Spannungsorientierungen aus Erdbebenherdlösungen welche die sich verändernden Spannungsrichtungen zeigen (aus [57] und [56]).
- E) Riedel – Schermodell: Hauptscherrichtung und untergeordnete Bruchsysteme (P, R, R', X)

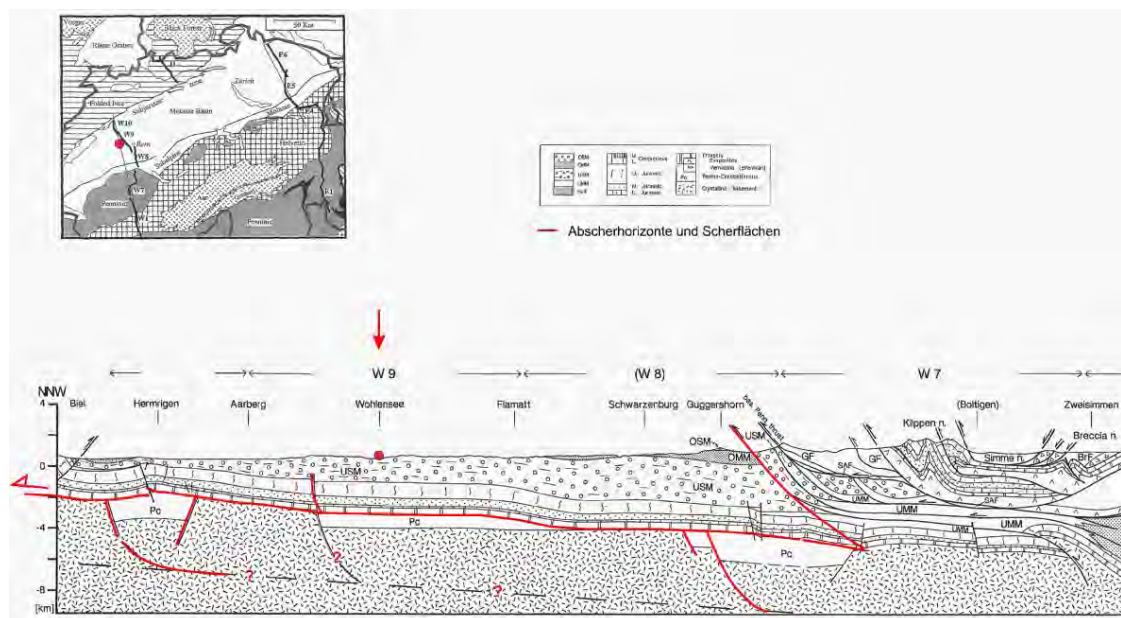
3.5.1.3 Lokale Geologie am Standort

3.5.1.3.1 Talgeschichte

Das Gebiet des Wohlensees war zur Eiszeit durch den Aare- sowie Rhonegletscher mehrmals vollständig von Eis bedeckt. Im Zuge der grössten Vergletscherung (Most Extensive Glaciation (MEG) oder Riss) sowie des letzteiszeitlichen Gletschervorstosses (Last Glacial Maximum (LGM) oder Würm) kam es zu einer intensiven Modellierung der Molasseoberfläche (Talung des heutigen Wohlensees, Saanetal) und zur Ablagerung der heute oberflächennah anstehenden quartären Lockergesteinssedimente.

Das in die Gesteine der Unteren Süsswassermolasse eingeschnittene Aaretal bei Mühleberg gehört zusammen mit der Talung des Wohlensees zur Fortsetzung des südlich von Bern beginnenden Aaretaltroges. Während die Molasseoberfläche im Nord-Süd verlaufenden Saanetal durchwegs in geringen Tiefen ansteht, weist die West-Ost gerichtete Eintalung des Aarelaufs zwischen Wohlen und dem Zusammenfluss mit der Saane eine bedeutende Übertiefung auf [19].

Abbildung 3.5-8: Geologisches Profil durch das Molassebecken der Westschweiz (modifiziert aus Pfiffner et al. 1997 [63]. Bezeichnungen: USM, Untere Süsswassermolasse; Pc, Permokarbon)



3.5.1.3.2 Felsuntergrund – Untere Süsswassermolasse

Im Gebiet Mühleberg wird der, den quartären Sedimenten unterliegende, Felsuntergrund durch die Festgesteine der Unteren Süsswassermolasse aufgebaut. Die Sandsteine der Oberen Meeresmolasse wurden während den Eiszeiten vollständig wegerodiert. Der Ablagerungsraum der Unteren Meeresmolasse endete bereits weiter südlich. Im Gebiet von Mühleberg kommt daher alleine die Untere Süsswassermolasse vor. Sie weist hier eine Gesamtmächtigkeit von ca. 2'000 m auf (Abbildung 3.5-8).

Der Ablagerungsraum der Unteren Süsswassermolasse im Gebiet Mühleberg war von weiten Flussebenen des Alpenvorlandes geprägt (Alluvialebene mit mäandrierenden Flüssen,

vgl. Abbildung 3.5-9). Sand- bis Siltsteine sind vorherrschend. In der Unteren Süsswassermolasse können sowohl im Aufschluss wie auch in Bohrungen vier Faziestypen festgestellt werden. Sie sind durch ihre unterschiedliche Genese sowie eine spezifische Geometrie charakterisiert. Weiter können sowohl in der Petrografie (Korngrösse und mineralogische Zusammensetzung) als auch in der Petrophysik (Porosität und Permeabilität) Unterschiede beobachtet resp. gemessen werden.

Folgende Faziestypen können innerhalb der Unteren Süsswassermolasse unterschieden werden [20]:

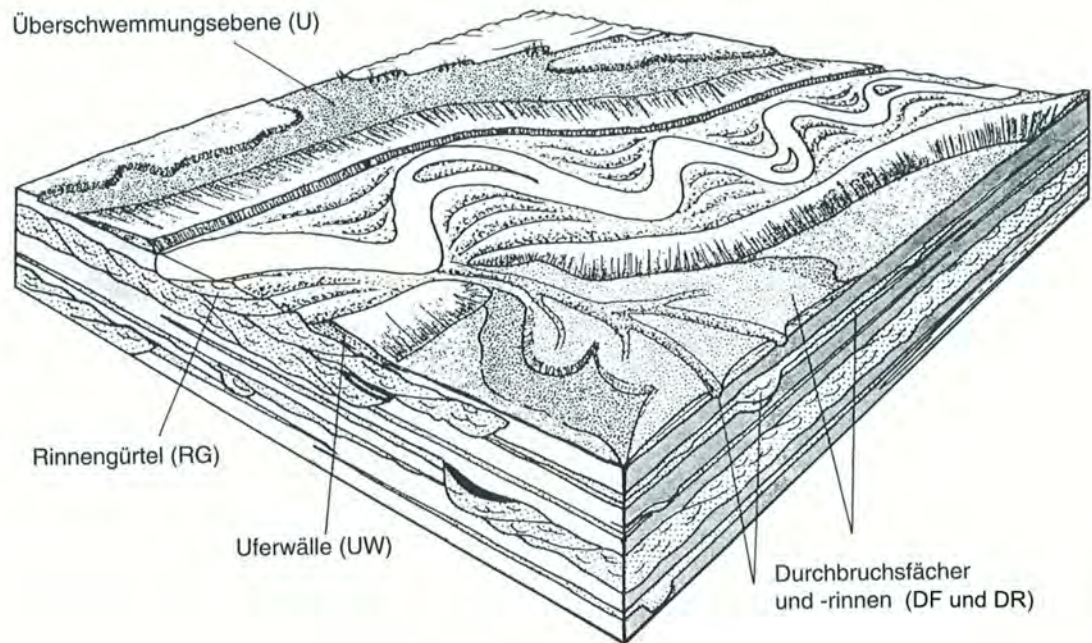
- Rinnengürtel (RG) bestehen aus mittel- bis grobkörnigen Sandsteinen und bilden lateral weit ausgedehnte, tabulare Körper. Es können bodenfrachtreiche sowie suspensionsfrachtreiche Mischfrachtrinnen festgestellt werden, die sich auch in ihren Dimensionen unterscheiden. Bodenfrachtreiche Rinnen sind dominant, generell breiter und kontinuierlicher als die suspensionsfrachtreichen Rinnen. Sie bilden Körper von mehreren Kilometern Länge, bis zu 1'500 m Breite und sind 2-15 m mächtig. Suspensionsfrachtreiche Rinnengürtel weisen Längen von mehreren Kilometern, Breiten von 100 m sowie Mächtigkeiten von 2-4 m auf. Gegen die Alpen und gegen Westen ist eine generelle Zunahme der Breite, der Kontinuität sowie der Verbundenheit der Rinnen festzustellen. Die primäre Porosität und Permeabilität nimmt gegen den Beckennordrand und gegen Osten ab.
- Durchbruchsfächer (DF) und Durchbruchsrinnen (DR) sind fein- bis mittelsandig und weisen eine scharfe planare Basis auf. Durchbruchsfächer sind rasch sedimentierte Hochwasserablagerungen in die Schwemmebene. Sie bilden tabulare Sandsteine mit einer Länge von mehreren Kilometern, mit Breiten von mehreren 100 m sowie Mächtigkeiten von 1-2 m. Durchbruchsrinnen (DR) sind kurzlebige Überschwemmungsereignisse, die den Uferwall durchbrechen und bestehen aus linsenförmigen Sandsteinkörpern von mehreren 100 m Länge, weniger als 10 m Breite und bis zu 4 m Mächtigkeit.
- Uferwälle und distale Überschwemmungssande (UW) bestehen aus Grobsilt- und Feinsandsteinen und bilden maximal 3 m mächtige, bis zu 30 m breite sowie mehrere 100 m lange tabulare Sedimentkörper. Sie sind mit den feinkörnigen Sedimenten der Überschwemmungsebene verfigert. Häufig vorkommende Strukturen sind Lamination, Kletterrippeln sowie Strömungsrippeln. Dies weist auf eine rasche Ablagerung dieser relativ feinkörnigen Sedimente hin.
- Überschwemmungsebenen mit Paläoböden und Sümpfen (U) bestehen aus Ton- und Siltsteinen. Diese sind laminiert und stark marmoriert resp. gefleckt. Die fein- bis feinstkörnigen Sedimente sind durch Hochwasser in die flussfernen Teile der Überschwemmungsebene verfrachtet und aus der Suspension abgesetzt worden. Sie weisen selten Mächtigkeiten von mehr als 2 m auf, sind weit ausgedehnt (Längen und Breiten von mehreren Kilometern) und zeigen oft eine komplexe Überlagerung verschiedener Bodenprofile. Das primäre Sedimentgefüge wird durch Bioturbation, Wurzelaktivität und Entschichtung infolge wiederholter Expansion und Schrumpfung der Tonmineralien zerstört.

Die Faziestypen gehen horizontal verzahnend ineinander über. Deren Mächtigkeit und laterale Ausdehnung variiert stark. Eine herkömmliche Schichtung existiert nicht.

Die räumliche Ausdehnung der oben genannten Fazieselemente kann folgendermassen charakterisiert werden: Die Rinnengürtel bilden ein räumliches Gerüst, welches durch eine feinkörnige Matrix, bestehend aus Uferwall- und Überschwemmungsebenenelementen, umgeben

ist. Als Zwischenglied und diese beiden Gruppen verbindendes Element dienen die Fazieselemente Durchbruchsfächer und Durchbruchsrinnen.

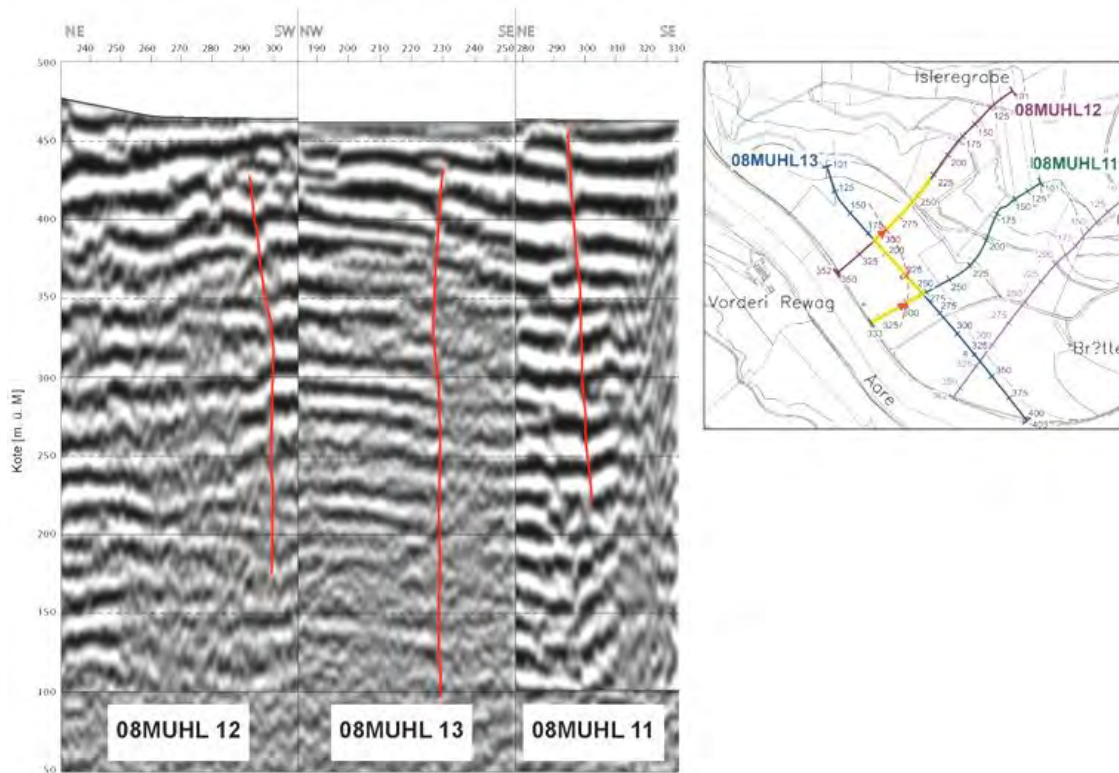
Abbildung 3.5-9: Vereinfachtes Faziesmodell der Unteren Süsswassermolasse im nördlichen Molassebecken (aus [70], leicht verändert)



Die im Rahmen der Baugrunduntersuchung durchgeführten optischen und akustischen Scannerbefahrungen in den Bohrungen [21] haben die Existenz von Klüften im Fels der Unteren Süsswassermolasse gezeigt. Die Klüftungsdichte nimmt mit zunehmender Tiefe generell ab.

Die Hammerschlagseismik, die zum Ziel hatte, die Molasseoberfläche zu erkunden, ergab auch gewisse Hinweise über den Schichtverlauf im tieferen (max. ca. 50 m) Untergrund. Die von GeoExpert [51] identifizierte vermeintliche Störung nordwestlich vom Standort der neuen Anlage, jenseits der Aare im Gebiet "Brättele", erscheint dagegen nicht zwingend (siehe Abbildung 3.5-10): Einerseits ist ihre Vergenz entlang der drei seismischen Profile, auf denen sie eingezeichnet wurde, widersprüchlich und ihre Krümmung recht gross. Andererseits ist der sichtbare Versatz der Reflexionen allein noch kein zwingender Hinweis. Es gibt entlang dieser Profile viele andere gleichartige Verstellungen, die - vermutlich zu Recht - nicht als Störungen, sondern implizit als Artefakte der Datenakquisition oder -bearbeitung interpretiert wurden.

Abbildung 3.5-10: Lage der vermeintlichen Störung nordwestlich des EKKM-Standortes, jenseits der Aare. Die drei Profilsegmente zeigen die GeoExpert-Interpretation der vermeintlichen, subvertikalen Störung in der USM [51]. Die rechte Karte zeigt die sich ergebende Krümmung der Störung. Andere ähnliche Verstellungen der seismischen Reflexionen entlang dieser Segmente und entlang weiterer (hier nicht dargestellter) Profile wurden nicht als Störung interpretiert. Die Lage der drei gezeigten Profilabschnitte ist in der rechten Karte gelb hervorgehoben.



Nach dem Rückzug der letzteiszeitlichen Gletscherströme (Last Glacial Maximum (LGM) oder Würm) kam es aufgrund der fehlenden Auflast des Eises zu Entlastungserscheinungen an der Felsoberfläche. Dies führte zur Ausbildung von talparallelen Entlastungsklüften. Damit könnte die treppenartige Abstufung im morphologischen Erscheinungsbild der Felswände des Aaretals bei Mühleberg erklärt werden.

3.5.1.3.3 Quartäre Lockergesteinsbedeckung im Raum Mühleberg

Die Abfolge der quartären Ablagerungen im Raum Mühleberg kann vereinfacht folgendermassen dargestellt werden (siehe Tabelle 3.5-1): Der Felsuntergrund wird durch die Untere Süsswassermolasse gebildet. Die direkt dem Fels aufliegenden Altmoränenablagerungen werden dem Stadium der grössten Vergletscherung zugeordnet. Die Altmoränenablagerungen sind im Normalfall von Rinnenschottern überlagert.

Die Rinnenschotter werden als Rückzugsschotter der vorletzten Vereisung (MEG) interpretiert und bilden bei Mühleberg die "Terrassenschotter" des Aaretales. Bereichsweise liegen über den Rinnenschottern lokal bis zu 10 m mächtige Grund- und Obermoränenablagerungen des Aare- und Rhonegletschers des letzteiszeitlichen Gletschervorstosses (LGM). Die Terrassenschotter sind hier meistens direkt durch junge Alluvionen der Aare sowie bereichsweise durch künstliche Auffüllungen überdeckt. Die Alluvionen bestehen aus jüngeren spät- bis post-glazialen Schotterablagerungen der Aare.

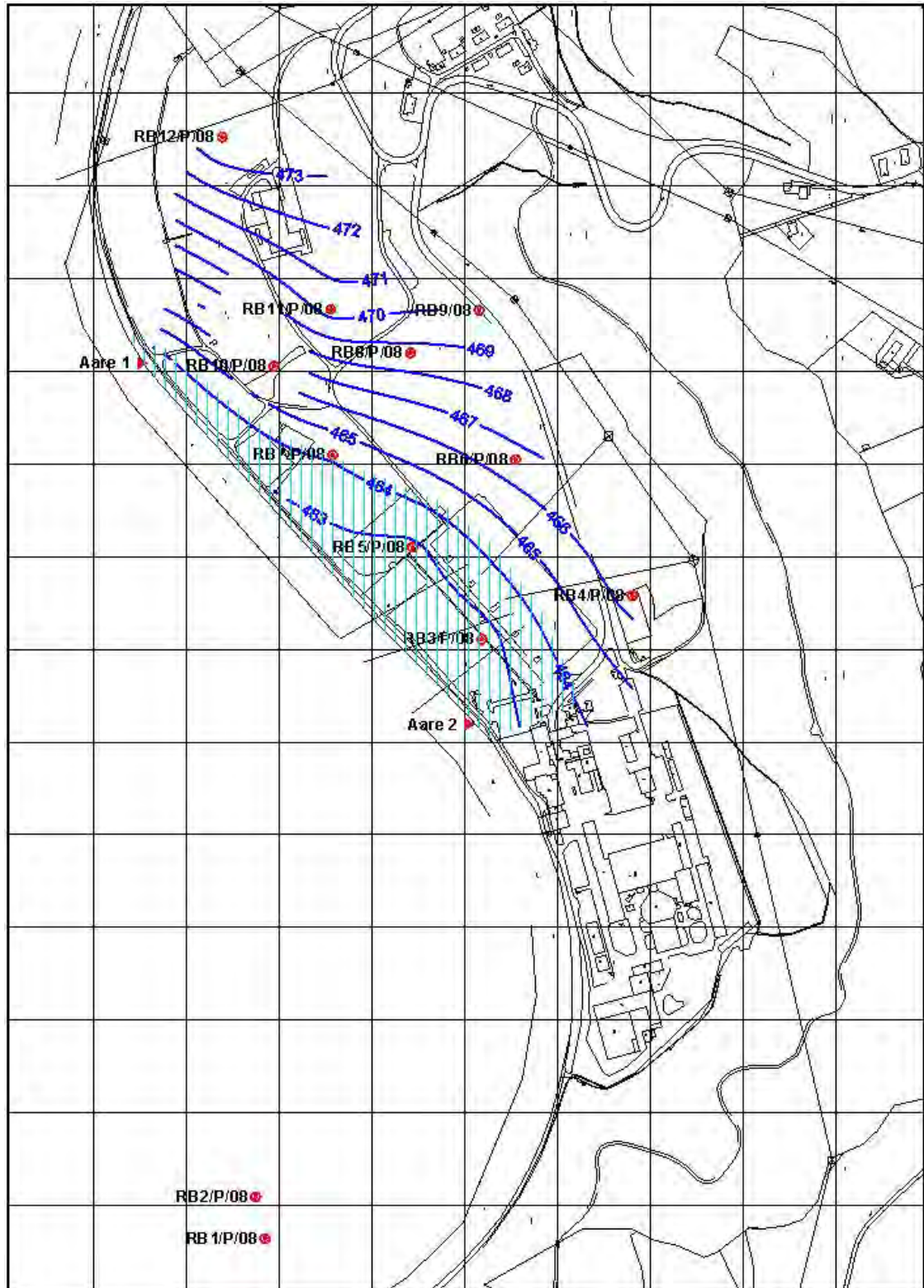
Tabelle 3.5-1: Abfolge der quartären Lockergesteinsbedeckung im Raum Mühleberg (von jungen zu alten Ablagerungen)

Bezeichnung	Kurzbeschreibung	Entstehungsmilieu	Mächtigkeit	Hydrogeologische Funktion
Junge Alluvionen	Von einer dünnen Humusschicht voneinander getrennte Kiese bis siltige Sande	Spät- bis post-glaziale Schotterterrassen	Wenige Meter	Lokaler Lockergesteinsgrundwasserträger
Grund- und Obermoräne	Mehr oder weniger siltigtonige Kiese wechselhafter Zusammensetzung mit häufig gekritzten und z.T. zerbrochenen Komponenten	Moränenablagerungen des Aare- und Rhonegletschers der letzten Vereisung (LGM)	Bis zu 10 m	Grundwasserstauer (Trennschicht)
Rinnenschotter	Reichlich Sand führende Kiese, durch Einschaltungen zahlreicher Silt- und Tonlinsen geprägt, können bis zu 1 m grosse Blöcke enthalten	Rückzugsschotter der vorletzten Vereisung (MEG)	Bis zu 15 m	Lokaler Lockergesteinsgrundwasserträger
Altmoränenablagerungen	Aus verschwemmten, sandig-kiesigem Material bestehend, mit gekritzten und polierten Geröllen sowie vereinzelt Blöcken	Grundmoränen Ablagerungen der grössten Vergletscherung (MEG)	Einige Meter	Grundwasserstauer (Trennschicht)

3.5.1.4 Hydrogeologische Verhältnisse am Standort

Die Messungen des Grundwasserspiegels im Bereich des Standortes EKKM erfolgten in elf mit Piezometern ausgebauten neu abgeteuften Sondierbohrungen [60] (siehe Abbildung 3.5-11), von denen acht zusätzlich mit Porenwasserdruckgebern ausgerüstet sind. Ausserdem wurden zwei Messstellen zur Messung des Aarepegels eingerichtet, um die Interaktion Aare–Grundwasser beurteilen zu können.

Abbildung 3.5-11: Situation der Baugrunderkundung, Bohrungen und Messstellen



3.5.1.4.1 Grundwasserverhältnisse in den Lockergesteinen

Bereits während der Bohrarbeiten zeigte sich, dass das Grundwasser hauptsächlich in den Schottern (Schicht c2, vgl. Kap. 3.5.2.1) resp. in der Moräne (Schicht c1) zirkuliert. Im Wesentlichen handelt es sich um einen Grundwasserleiter mit freiem Wasserspiegel. Lokal liegen der Gehängelehm (Schicht b2) resp. die jungen Anschwemmungen der Aare (Schicht b1) wie ein abdichtender Deckel über diesen wasserführenden Schichten. Bei einigen Bohrungen stieg das Grundwasser nach dem Anbohren etwas an, es herrschen örtlich somit leicht gespannte Grundwasserverhältnisse vor. Die Messungen in den fertig versetzten Piezometern weisen Abstiche von ca. 0.3-9.3 m ab Oberkante Terrain (OKT) (461.14-472.26 m ü.M.) auf. Zur Tiefe wirkt die Untere Süsswassermolasse (Schicht d) als Stauer. Die mittlere Mächtigkeit des Lockergesteinsaquifer beträgt ca. 5 m.

Strömungsrichtung und Gefälle (Areal linkes Aare-Ufer): Wie bereits auch in früheren Untersuchungen [26] festgestellt wurde, liegt der Grundwasserspiegel höher als der Aarepegel. Das Grundwasser fliesst in Richtung Nordwesten mit einem mittleren Gefälle von ca. 2-3% und exfiltriert in die Aare. Die Speisung des Grundwassers erfolgt somit hauptsächlich durch Hangwasserzuflüsse sowie durch die direkte Versickerung von Meteowasser. Das Grundwasser wird also nicht von der Aare gespeist, sondern die Aare bildet den Vorfluter. Lediglich bei einem raschen Pegelanstieg der Aare kann kurzzeitig Flusswasser im Uferbereich in den Lockergesteinsgrundwasserleiter infiltrieren.

Die Auswertung der Messdaten Mai 2008 bis Juli 2009 (siehe [111]) zeigt, dass die Grundwasserstände wegen der Rückstauwirkung nur im Uferbereich durch das Schwankungsverhalten der Aare beeinflusst sind (siehe hellblauer Teil aus Abbildung 3.5-11). Weiter landwärts reagiert das Grundwasser einzig auf die direkte und indirekte Grundwasserneubildung durch versickerndes Meteowasser. Anhand von Korrelationsanalysen mit Daten kantonaler Messstationen konnten die repräsentativen Wasserstände, d.h. der Hochwasser- Mittelwasser- und Niederwasserstand ermittelt werden. Abbildung 3.5-11 zeigt die Isohypsen des Grundwasserspiegels bei Hochwasserständen.

Strömungsrichtung und Gefälle (Areal rechtes Aare-Ufer): Beim Grundwassergebiet rechtsufrig der Aare (Runtigenau) ist ein "By-pass-System" nicht auszuschliessen, d.h. dass Aarewasser oben in den Grundwasserleiter infiltriert und weiter flussabwärts wieder exfiltriert.

Durchlässigkeit des Grundwasserleiters und theoretische Brunnenergiebigkeiten: Um die Durchlässigkeit des Grundwasserleiters abschätzen zu können, wurden in den Bohrungen RB1/P/08, RB3/P/08, RB4/P/08 und RB11/P/08 Kleinpumpversuche durchgeführt.

Die Auswertung der Versuche liefert folgende horizontale Durchlässigkeiten (siehe Tabelle 3.5-2):

Tabelle 3.5-2: Messergebnisse der Bohrungen zu Grundwasser

Bohrung	Durchlässigkeit k	Mächtigkeit des Grundwasserleiters H
RB1/P/08	$k_{\text{Darcy}} \approx 1 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$	4 m
RB3/P/08	$k_{\text{Darcy}} \approx 2 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$	3.5 m
RB4/P/08	$k_{\text{Darcy}} \approx 5 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$	5 m
RB11/P/08	$k_{\text{Darcy}} \approx 1 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$	6 m

Aufgrund der Durchlässigkeit und der Mächtigkeit des Grundwasserleiters ist die grösste Ergiebigkeit am Bohrungsstandort RB11/P/08 zu erwarten. Je nach Brunnendurchmesser ergeben sich für diesen Standort berechnete Brunnenergiebigkeiten (d.h. ohne Berücksichtigung allfälliger Brunnenerluste) gemäss nachfolgender Tabelle 3.5-3. Zu beachten ist hierbei, dass die Absenkung s nicht grösser als $H/3$ sein sollte (am Standort RB11/P/08 gilt $s \leq 2.0 \text{ m}$).

Tabelle 3.5-3: Theoretische Ergiebigkeiten des Grundwassers am Bohrungsstandort RB11/P/08

Brunnendurchmesser D [m]	Pumpmenge Q [l/min]	Absenkung s [m]
0.3	500	1.8
0.4	600	2.0
0.5	680	2.6
0.6	740	3.0

Diese Angaben gelten für den durch Bauwerke unbeeinflussten Zustand. Die effektive Ergiebigkeit ist nach dem Ausbau des Brunnens mittels Stufenpumpversuchen zu ermitteln.

3.5.1.4.2 Wasserverhältnisse im Molassefels

Die Wasserwegsamkeit der Unteren Süsswassermolasse hängt einerseits von der Porosität der Sand-, Silt- und Tonsteine und andererseits von auftretenden Kluftsystemen ab.

Die Petrophysik (Porosität und Permeabilität) der einzelnen Fazieselemente wurde anlässlich verschiedener Studien untersucht und weist von Element zu Element zum Teil erhebliche Unterschiede auf, z.B. [24]. Höhere Porosität hat eine höhere Permeabilität und somit eine bessere Wasserwegsamkeit zur Folge. Die in [24] angegebenen durchschnittlichen Porositäten betragen: RG zwischen 6.4 und 28.3% (Mittelwert zwischen 17.5 und 23.4%), DF und DR zwischen 2.6 und 24.7% (Mittelwert zwischen 12.4 und 15.4%), UW zwischen 2.3 und 25.6% (Mittelwert zwischen 8.2 und 13.5%) und U zwischen 2 und 20% (Mittelwert zwischen 6.4 und 11.3%). Aufgrund der Mittelwerte können RG, DF und DR als eher wasserleitend angesehen werden, UW und U sind im Vergleich dazu wenig durchlässig und wirken als Grundwasserströmungshemmer.

Aus den Messungen der Porenwasserdruckgeber ist folgendes abzuleiten:

- Grundsätzlich ist mit zunehmender Tiefe innerhalb der Molasse mit einem Anstieg des Porenwasserdrucks zu rechnen.
- Die Porenwasserdrücke im Fels können je nach Messstelle und je nach Einbautiefe bis zu gut 3 m über dem Potential des überdeckenden Lockergesteinsaquifers liegen.
- Die gemessenen Porenwasserdrücke liegen bei allen Messstellen unter den jeweiligen Terrainkoten. Zu beachten ist allerdings, dass die maximale Einbautiefe der Druckgeber einer Kote von 436.79 m ü.M. entspricht (RB3). In derselben Messstelle wurde beim Bohrvorgang auf einer Kote von ca. 398 m ü.M. artesisches Grundwasser erbohrt.
- Messergebnisse mit eher geringeren Porenwasserdrücken werden als Hinweise auf Klüfte gedeutet. Der gemessene Schwankungsbereich der Porenwasserdrücke variiert zwischen 0.33 m und 1.58 m.

3.5.2 Baugrund

Zur Erkundung des Baugrundes wurden die in [60] beschriebenen Arbeiten durchgeführt:

- Geoseismische Messkampagne (Hammerschlagseismik, Oberflächenseismik) zur Ermittlung der Tiefenlage der Molasseoberfläche
- Abteufen von 10 Kernbohrungen im Gebiet "Niederruntigen" am linken Aareufer (siehe Abbildung 3.5-11). Tiefe der Bohrungen: 40-87 m
- Abteufen von 2 Kernbohrungen im Gebiet "Brättele" am rechten Aareufer (siehe Abbildung 3.5-11). Tiefe der Bohrungen: 50 m
- In-situ P- und S-Wellengeschwindigkeitsmessungen mittels "Downhole-Seismik"
- Befahrung der Bohrlöcher mit optischen und akustischen Bohrlochscannern zur Dokumentation der Bohrlöcher und zur Feststellung von Klüften und anderen Unregelmässigkeiten im Untergrund
- Die in der Geotechnik üblichen Laborversuche an Bohrkernen zur Bestimmung von Dichte, Scherfestigkeit, Druckfestigkeit, Reibungswinkel etc.
- Resonant-Column-Tests zur labormässigen Bestimmung der P- und S-Wellengeschwindigkeiten an Bohrkernen.

In allen Bohrlöchern wurden Piezometer und / oder Porenwasserdruckgeber eingebaut. Der Grundwasserspiegel oder / und Porenwasserdruck werden über längere Zeit gemessen werden, um Aussagen über ihren Verlauf und die Schwankungsbereiche machen zu können.

3.5.2.1 Allgemeiner Schichtbeschrieb

Basierend auf den Angaben aus Kapitel 3.5.1.3.3 werden am Standort des EKKM folgende Schichten unterschieden:

Unter der Deckschicht (Schicht a, vgl. das folgende Kap. 3.5.2.2) stehen junge Anschwemmungen der Aare (Schicht b₁) sowie Gehängelehm aus verwitterter Molasse (Schicht b₂) an. Darunter folgen die Rinnenschotter (Schicht c₂), die als Rückzugsschotter der vorletzten Vergletscherung interpretiert werden. Bereichsweise liegen über den Rinnerschottern Grund- und Obermoränenablagerungen des Aare- und Rhonegletschers des LGM-Stadiums (Schicht c₁). Die tiefste im vorliegenden Bericht aufgeschlossene Schicht ist die Untere Süsswassermolasse (Schicht d, USM). Die Schichten a bis und mit c₂ werden als Lockergestein gekennzeichnet.

Durch die Bautätigkeiten in der Vergangenheit (WKW Mühleberg 1917-1920, KKW Mühleberg und Unterstation (UST) Mühleberg West 1967-1971) wurde die Geländeoberfläche teilweise stark verändert. Die Deckschicht (Schicht a) besteht also nicht nur aus natürlichen Verwitterungsböden, sondern auch aus umgelagertem Material der unmittelbaren Umgebung bis hin zu eigentlichen künstlichen Auffüllungen.

Abbildung 3.5-12: Profil entlang der Aare

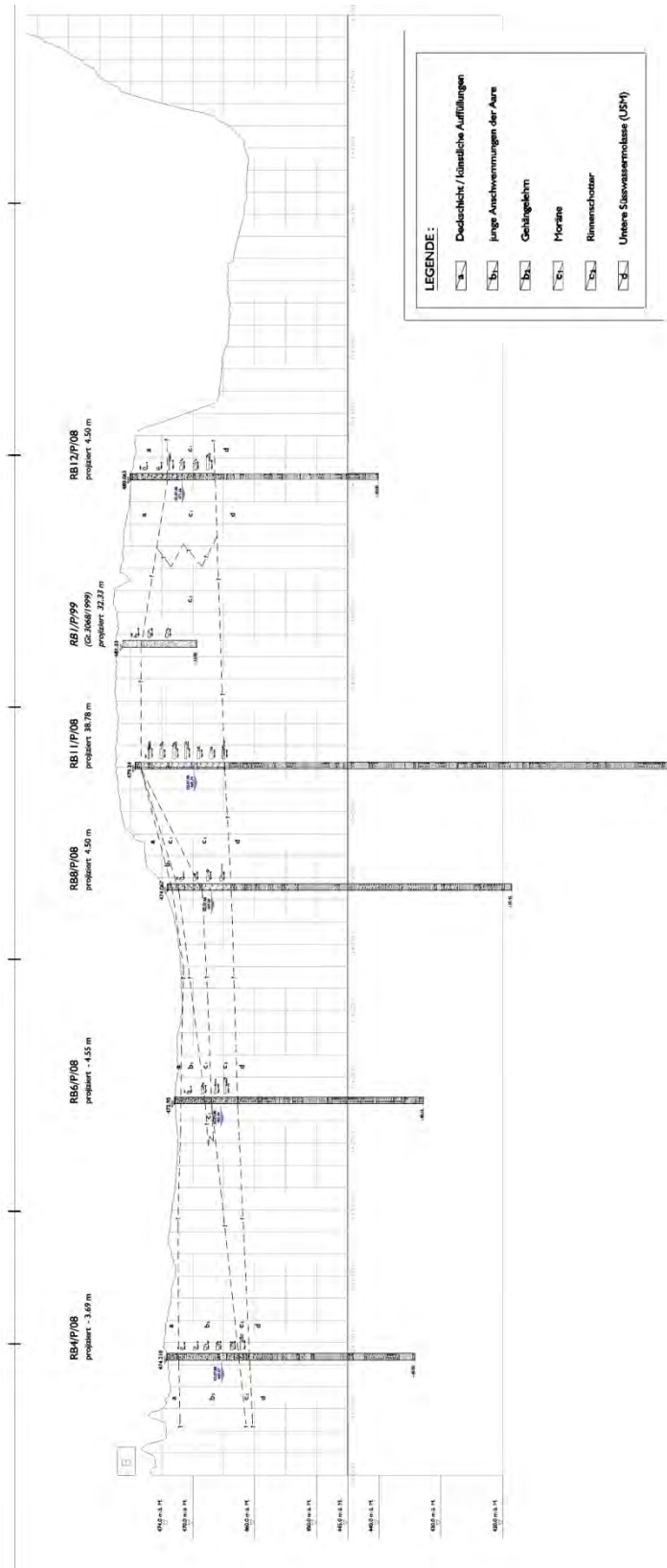
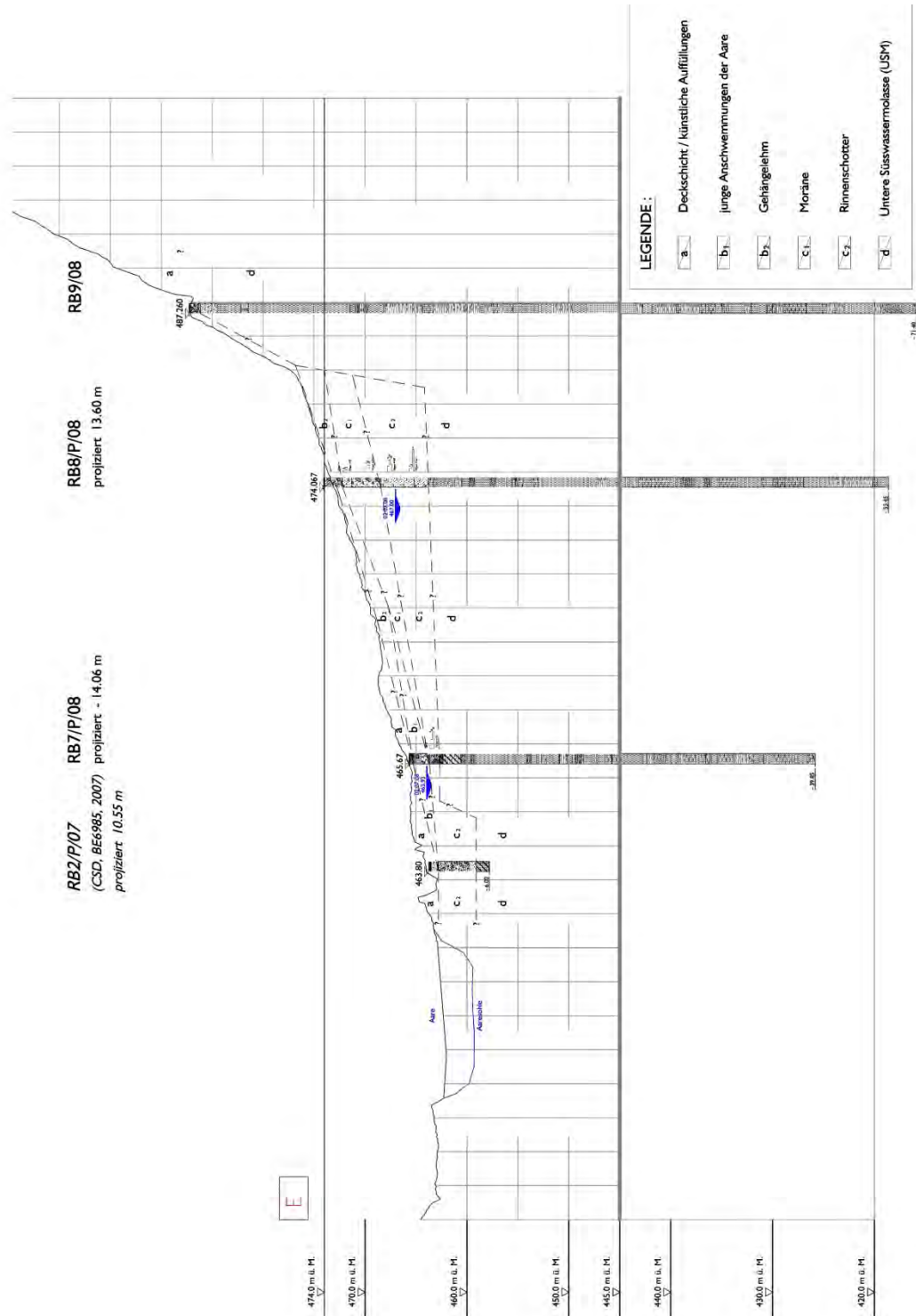


Abbildung 3.5-13: Profil quer zur Aare



Die nachfolgenden Beschreibungen der angetroffenen Schichten stützen sich sowohl auf die während dieser Baugrunduntersuchung [60] als auch auf die bereits in früheren Baugrunderkundungen gewonnenen Erkenntnisse [25], [26].

3.5.2.2 Geotechnische Schichtbeschriebe des Lockergesteins

Tabelle 3.5-4: Geotechnische Schichtbeschriebe des Lockergesteins

	Zusammensetzung	USCS ¹ (nach SN 670 004- 2b-NA)	Mächtigkeit	Beurteilung
Schicht a Deckschicht resp. künstliche Auffüllungen	- Je nach Bohrstandort oberflächennah Platzkoffer, Schwarzbelag oder humoser Oberboden, Grasnarbe - unter Schwarzbelag Platzkoffer aus Kiessand darunter: mehrheitlich Sand, schwach siltig bis stark siltig, z.T. auch kiesig, dunkelbraun bis ockergrau, erdfeucht bis nass, z.T. durchwurzelt, Kies, sandig bis stark sandig, schwach siltig bis stark siltig, z.T. Steine, Komponenten kantig bis gerundet, z.T. gebrochen, graubraun bis graubeige, erdfeucht bis nass, Beton, Silt, sandig, wenig bis reichlich Kies und Steine, organische Beimengungen, grau, erdfeucht	GP, GM, GC-GM, SW, SP, SP-SM, SC-SM, (CL-ML)	Bis in Tiefen von ca. 0.4 m bis 6.0 m ab OKT anzutreffen. Grossräumig betrachtet liegt die Schichtuntergrenze ca. zwischen 460.5 m und 486.2 m ü.M.	Locker bis dicht gelagert resp. mittelsteife bis sehr harte Konsistenz. Kofferbereiche gut, restliche Bereiche schlecht bis mässig tragfähig, Kofferbereiche kaum, restliche Bereiche stark setzungsempfindlich. Je nach Zusammensetzung vernachlässigbar bis mittel frostempfindlich (G1 bis G3 nach SNV 670 140b). Feinkörnige Bereiche wasserempfindlich, ausser Kofferung auch erschütterungsempfindlich, mitunter rollig.
Schicht b₁ Junge Anschwem- mungen	Silt und Feinsand, wenig Kies, wenig bis reichlich Steine, bis Sand (v.a. Fein- bis Mittelsand), sauber bis siltig, schwach kiesig bis kiesig, grau, organische Beimengungen (Holz), nach [25] auch tonige Silte, Silte mit Sand und Kies, siltige Sande mit Kies, saubere Sande, siltige Kiese mit Sand und saubere Kiese mit Sand möglich	SP-SM, SP-SC, nach [25] auch CL-ML, SM, SP, GM, GW	Bei der aktuellen Baugrunduntersuchung nur in den aarenahen Bohrungen ab einer Tiefe von ca. 2.0-5.5 m ab OKT aufgeschlossen. Die Mächtigkeit liegt zwischen 1.5 m und 1.6 m. Die Schichtuntergrenze liegt ca. zwischen 461.2 m und 463.7 m ü.M.	Locker bis mitteldicht gelagert. Schlecht bis mittel tragfähig, mässig bis stark setzungsempfindlich; zur Aufnahme von Gründungs- lasten schlecht geeignet. Leicht frostempfindlich (G2 nach SNV 670 140b). Wasser- und erschütterungsempfindlich.

¹ Unified Soil Classification System

	Zusammensetzung	USCS ¹ (nach SN 670 004- 2b-NA)	Mächtigkeit	Beurteilung
Schicht b₂ Gehängelehm	Verwitterungsprodukte der Molasse: Silt, stark feinsandig bis Feinsand, schwach bis stark siltig, selten kiesig, Einschlüsse grau, rosa, ocker, rostfarben und schwarz, Sandsteinbruchstücke, Feinschichtung, beige-grau bis beige, erdfeucht, wenig bis ziemlich plastisch	SC, SC-SM, CL, CL-ML, auch ML	Bei der aktuellen Baugrunduntersuchung vor allem hangseitig aufgeschlossen. Die Mächtigkeit beträgt zwischen 1.0-9.7 m, die Schichtuntergrenze liegt ca. zwischen 461.5 m und 472.3 m ü.M. und fällt nach NW ab	Mittelsteife bis harte Konsistenz resp. locker bis dicht, z.T. auch weich gelagert. Schlecht tragfähig, stark setzungsempfindlich; zur Aufnahme von Gründungslasten nicht geeignet. Mittel frostempfindlich (G3 nach SNV 670 140b). Wasser- und erschütterungsempfindlich.
Schicht c₁ Moräne	Silt, stark sandig, kiesig, hellbraun, trocken, gering plastisch bis Mittelsand, schwach siltig bis siltig, wenig Kies (v.a. Fein- bis Mittelkies), ockerbraun, im Bereich des bestehenden Kraftwerks nach [25] auch Kies und Sand, sauber bis schwach siltig, z.T. Steine, ockerbraun, Komponenten kantig bis kantengerundet, Blöcke möglich, erdfeucht	CL-ML, im Bereich des bestehenden Kraftwerks auch GM, GP	Bei der aktuellen Untersuchung nur lokal mit Mächtigkeiten zwischen ca. 1.0 m und 7.7 m aufgeschlossen. Die Schichtuntergrenze liegt ca. zwischen 466.3 m und 468.5 m ü.M.	Steife bis harte Konsistenz resp. mitteldicht bis sehr dicht gelagert. Sehr gut tragfähig, kaum setzungsempfindlich; zur Aufnahme von konzentrierten Gründungslasten sehr gut geeignet. Mittel bis stark frostempfindlich (G3 bis G4 nach SNV 670 140b). Wasser- und erschütterungsempfindlich, mitunter rollig.
Schicht c₂ Rinnenschotter	Kies, stark sandig, sauber bis schwach siltig, nass, Komponenten kantengerundet bis gerundet bis Steine, kiesig, sandig, sauber bis schwach siltig	GW, GW-GM, lokal auch SP, SM	In fast allen Bohrungen als Auflieger der Unteren Süßwassermolasse (USM) aufgeschlossen. Die Mächtigkeit beträgt ca. 1.0- 14.3 m, die Schichtuntergrenze liegt zwischen ca. 457.0 m und 470.2 m ü.M. und fällt nach NW ab	Dicht bis sehr dicht gelagert. Sehr gut tragfähig, kaum setzungsempfindlich; zur Aufnahme von konzentrierten Gründungslasten sehr gut geeignet. Vernachlässigbar bis leicht frostempfindlich (G1 bis G2 nach SNV 670 140b). Rollig.

¹ Unified Soil Classification System

	Zusammensetzung	USCS ¹ (nach SN 670 004- 2b-NA)	Mächtigkeit	Beurteilung
Schicht d Untere Süßwasser- molasse	Unterscheidung nach Faziestypen: Rinnengürtel (RG): Mittel- bis Grobsandstein Durchbruchsfächer (DF): Fein- bis Mittelsandstein Uferwall (UW): Siltiger Feinsandstein bis Siltstein Überschwemmungsebene (U): Siltstein bis Tonstein		Auf dem ganzen Areal verbreitet, Mächtigkeit ca. 2000 m.	Sehr gut tragfähig, kaum setzungsempfindlich; zur Aufnahme von konzentrierten Gründungslasten sehr gut geeignet.

3.5.2.3 Dynamische Kennwerte

Die dynamischen Kennwerte wurden sowohl in-situ (durch Downhole-Seismik und Oberflächenseismik) als auch im Labor (durch Resonant-Column-Versuche) bestimmt.

3.5.2.3.1 Lockergestein

Die zum Teil sehr geringe Mächtigkeit des Lockergesteins und das Vorhandensein von grobkörnigen Komponenten haben die Entnahme einer ungestörten Bodenprobe und die Durchführung eines aussagekräftigen Laborversuches erschwert und es liegen keine aussagekräftigen Daten vor. Deshalb wurden die dynamischen Kennwerte ausschliesslich durch das Verfahren der hybriden Seismik ermittelt.

Die Geschwindigkeit der P-Wellen im Lockergestein wurde hier mit $v_P = 600\text{'1'800 m/s}$ angegeben, Aussagen zu den S-Wellen-Geschwindigkeiten wurden nicht gemacht. Schichtgrenzen innerhalb des Lockergesteins sind nicht erkennbar.

Mittels der durchgeführten Downhole-Seismik können keine zuverlässigen Angaben zu den P- und S-Wellen-Geschwindigkeiten im Lockergestein getroffen werden. Dies ist bedingt durch das schwierige Erkennen der Einsatzzeiten der P- und S-Wellen, die eine eindeutige Bestimmung der Wellengeschwindigkeiten im Lockergestein verunmöglichen.

¹ United Soil Classification System

3.5.2.3.2 Fels

Hybride Seismik

Die P-Wellen-Geschwindigkeiten des Molassefelsens wurden durch die hybride Seismik zu $v_P = 1'800\text{--}3'600$ m/s angegeben. Der Bereich von $v_P = 1'800\text{--}2'400$ m/s zählt zur verwitterten Molasse.

Downhole-Seismik

Die P-Wellen- sowie die S-Wellen-Geschwindigkeiten wurden mittels Downhole-Seismik bestimmt. Die gemessenen Geschwindigkeiten zeigen wenig Veränderung mit der Tiefe und variieren nur wenig zwischen den einzelnen Bohrungen [52].

Die P-Wellengeschwindigkeiten bewegen sich hauptsächlich in einem Bereich $v_P = 2'000\text{--}2'500$ m/s, die entsprechenden Werte für die S-Wellen betragen $v_S = 800\text{--}1'000$ m/s. Der dynamische Elastizitätsmodul liegt zwischen $E_{\text{dyn}} = 4'000\text{--}6'000$ MN/m², der dynamische Schubmodul zwischen $G_{\text{dyn}} = 1'200\text{--}2'300$ MN/m². Die Poissonzahl ν variiert über die Tiefe nur wenig und liegt hauptsächlich zwischen 0.38 und 0.44.

Resonant-Column-Test

Die gemessenen Scherwellengeschwindigkeiten liegen zwischen $v_S = 300\text{--}1'400$ m/s. Der Mittelwert liegt mit $v_S = 560$ m/s deutlich tiefer als die mittels Downhole-Seismik gemessenen Werte. Der dynamische Schubmodul liegt zwischen $G_{\text{dyn}} = 200\text{--}1'100$ ($\sim 5'000$) MN/m². Der Mittelwert liegt mit $G_{\text{dyn}} = 530$ MN/m² ebenfalls deutlich tiefer als der Wert, welcher aus den mittels Downhole-Seismik bestimmten Scherwellengeschwindigkeiten berechnet wurde.

Die Gründe für die unterschiedlichen Feld- und Laborwerte sind bekannt. Die Differenz der gemessenen Werte kann u.a. mit dem veränderten Spannungszustand (Gebirgsverband - Laborprobe) erklärt werden. Ausserdem werden im Labor Einzelproben untersucht, während im Feld Mittelwerte über ein grosses Bodenvolumen gemessen werden. Die in der Literatur angegebenen Faktoren von 2-3 zwischen Feld- und Laborversuchen werden hier bestätigt.

Die Dämpfung im Bereich der Scherdehnungsamplituden γ bis ca. 1×10^{-5} liegt im Mittel bei ca. 7%; bei höheren Scherdehnungsamplituden (γ bis ca. 1×10^{-3}) steigt sie bis auf ca. 20% an.

3.5.2.4 Bautechnische Folgerungen

3.5.2.4.1 Vorhandene Projektgrundlagen

Je nach Reaktortechnologie werden die Lage und die Fundationskote des Reaktorgebäudes variieren. Auch die Anordnung der anderen Bauwerke wird sich an der Wahl der Technologie orientieren.

Die spezifische Bodenpressung kann anhand der Last- und Flächenangaben der verschiedenen Technologien auf ca. $0.4\text{--}0.8$ MN/m² abgeschätzt werden (je nach Gebäude bzw. Technologie).

Die Fundationskote des Reaktors wird je nach Technologie ca. zwischen 448 m und 462 m ü.M. liegen.

3.5.2.4.2 Tragfähigkeit und Setzungen

Das Reaktorgebäude kommt direkt auf dem Fels zu liegen und die restlichen Gebäude vermutlich höher.

Für Flachfundationen kleinerer Bauwerke im Lockergestein eignen sich in erster Linie die Schichten c1 (Moräne) und c2 (Rinnenschotter). Die Schichten b1 (junge Anschwemmungen) und b2 (Gehängelehm) sind aufgrund ihrer Setzungsempfindlichkeit nicht zur Fundation geeignet.

Bei grösseren Lasten kommt eine Flachfundation in den Lockergesteinen nicht in Frage und der Fels dient als Fundationshorizont. Liegen die Bauten höher und binden nicht direkt in den Fels ein, kommt als Gründung eine Pfählung in Frage. Die in Kapitel 3.5.2.4.3 gemachten Überlegungen zum Verflüssigungspotential werden in der Bemessung einer solchen Pfählung in Bezug auf Horizontallasten berücksichtigt.

Der Fels bietet in Hinblick auf das Trag- und Setzungsverhalten einen ausgezeichneten Baugrund. Die Schichtung im Fels ist subhorizontal und es kann davon ausgegangen werden, dass bei ausreichender Einbindung (ca. 5 m) und Belastung senkrecht zur Schichtung vorwiegend die Tragfähigkeit des intakten Felsens zum Tragen kommt. Setzungsbetrachtungen dürften aufgrund der hohen Aushubentlastung sowie der hohen Steifigkeit des Felsens nicht im Vordergrund zu stehen.

Die vorgesehenen Fundationskoten des Reaktors nutzen diesen Umstand bestens aus.

3.5.2.4.3 Verflüssigungspotential

Im Zusammenhang mit den erdbebeninduzierten geologisch-geotechnischen Gefährdungen steht die Bewertung des Verflüssigungspotentials der Lockergesteinsschichten, die hierdurch induzierten Setzungen sowie die Böschungsstabilität am Aare-Ufer im Vordergrund.

Das Verflüssigungspotential der Lockergesteinsschichten wurde mittels empirischen Verfahren beurteilt ([112], [113], [116]). Bei diesen Verfahren wird mit Hilfe der in-situ gemessenen Standard Penetration Test (SPT) Schlagzahl, beobachteter oder nicht-beobachteter Verflüssigung sowie der Bestimmung der bei einem Erdbeben mit einer Magnitude 7.5 induzierten Scherspannung ("cyclic shear stress ratio" CSR) eine Grenzkurve bestimmt, die die Bereiche Verflüssigung von Nicht-Verflüssigung trennt. Die möglichen verflüssigungsinduzierten Setzungen werden ebenfalls mit den in-situ gemessenen SPT Schlagzahlen in jeder Lockergesteinsschicht nach dem Verfahren von [114] bestimmt.

Bodenschichten, die seitlich nicht gehalten sind (z.B. Flussufer wie in Mühleberg) könnten durch Verflüssigung ihre Stabilität verlieren und zu so genannten lateralen Abrutschungen führen. Die oberste Lockergesteinsschicht in Mühleberg (Schicht a) liegt über dem Grundwasserspiegel und wird deshalb für verflüssigungsinduzierte Phänomene nicht berücksichtigt. Untersuchungen zeigten ein Potential für laterale Ausbreitungsphänomene bei sandigen Böden mit SPT Schlagzahlen mit weniger als 15 [115]. Die mittlere SPT Schlagzahl der beiden unteren Schichten (Schichten b und c) von 17 und 30 liegen über diesem Wert, so dass das Potential für dieses Phänomen bei der Schicht b noch als möglich, wenn auch gering erachtet werden kann. Die Schicht c weist kein Verflüssigungspotential auf.

In Anbetracht der Tatsache, dass sich die Schicht b aufgrund ihrer Setzungsempfindlichkeit nicht zur Gründung von Gebäudelasten eignet, werden in dieser Schicht keine Gebäude fundiert. Bei einer Gründung in Schicht c als auch in der Molasse (Schicht d) wird darauf geachtet, dass für die Schicht b keine horizontalen Widerstände angesetzt werden.

Für sämtliche sicherheitsrelevanten Bauwerke im bestehenden Kernkraftwerk Mühleberg wurde das Verflüssigungspotential ermittelt. Die verflüssigungsinduzierten Setzungen für PGA-Werte zwischen 0.2 g und 1.0 g liegen im Bereich von wenigen Zentimetern. Man kann also davon ausgehen, dass es am Standort Mühleberg auch bei grossen erdbebeninduzierten Beschleunigungen nur zu unbedeutenden Setzungen kommt. Beschädigungen durch Bodenverflüssigung an sicherheitsrelevanten Anlagenteilen können ausgeschlossen werden (so lange diese nicht in Schicht b fundiert werden).

3.5.2.4.4 Planerischer Grundwasserschutz

Die Aare ist dem Gewässerschutzbereich A₀ (der Bereich A₀ umfasst die oberirdischen Gewässer und deren Uferbereiche, soweit dies zur Gewährleistung einer besonderen Nutzung erforderlich ist) zugeordnet, das eigentliche Projektareal liegt im Gewässerschutzbereich B (der Bereich B umfasst Gebiete, deren Grundwasservorkommen weniger bedeutend sind). Für den Gewässerschutzbereich B gelten für Bauprojekte die generellen gewässerschutzrechtlichen Vorgaben wie beispielsweise die Sorgfaltspflicht, das Verunreinigungsverbot und die Erhaltung der Grundwasservorkommen. Ebenfalls ist unabhängig von der Gewässerschutzbereichs-Zuteilung eine Gewässerschutzbewilligung für Einbauten ins Grundwasser, Wasserhaltungen etc. erforderlich (basierend auf der kantonalen Gesetzgebung).

Die Möglichkeit einer allfälligen Umteilung des Gebietes in den Bereich A₀ kann wie folgt beurteilt werden: Die mittlere Grundwassermächtigkeit der Lockergesteine beträgt im Untersuchungsperimeter ca. 4 m bzw. variiert von 0-6 m. Die Speisung erfolgt nicht durch die Aare, es liegt auch keine so genannte "By-Pass-Situation" vor (Infiltration des Fliessgewässers im oberen Abschnitt, Exfiltration im unteren Abschnitt). Auch die Durchlässigkeitsverhältnisse zeigen, dass die Feldergiebigkeit des Lockergesteinsgrundwasserleiters eingeschränkt ist (gut durchlässige grobkörnige Rinnenschotter weisen beschränkte laterale Ausdehnungen auf). Aus gewässerschutzrechtlicher Sicht handelt es sich nicht um ein für die Nutzung geeignetes Grundwasservorkommen. Mit einer Status-Änderung, d.h. mit einer Umteilung des Gebietes in den Gewässerschutzbereich A₀ (nutzbare unterirdische Gewässer), ist daher nicht zu rechnen.

3.5.2.4.5 Spontanrutschungen

Eigentliche Rutschgebiete sind im Bereich des geplanten Kernkraftwerkes keine vorhanden. Es werden zwei Hanggebiete mit einer aufgrund der Hangneigung vorhandenen Disposition zu Spontanrutschungen unterschieden. Dies sind zum einen der südlich gelegene Molassehügel "Runtigerain" mit z.T. steil anstehendem Fels und geringmächtiger Lockergesteinsüberdeckung, sowie zum anderen der nördlich vorgelagerte, z.T. aus Erosionsprodukten der Molasse bestehende Hangfuss. Als Auslöser der meist oberflächennahen Spontanrutschungen sind entweder starke Niederschläge oder der Erdbebenfall zu betrachten.

Niederschläge führen lediglich zu räumlich stark begrenzten Bewegungen, sodass diese ohne Einfluss auf den Standort bleiben, der Erdbebenfall hingegen kann zur Ablösung grösserer Erd- und Felspakete führen. Die hierzu gehörenden Szenarien werden nachfolgend behandelt.

Für den "Runtigerain" ist sowohl das Ablösen des Lockergesteins sowie Steinschlag denkbar. Wegen der kleinen Mächtigkeiten des Lockergesteins ist der Platzbedarf des abgelösten Materials äusserst gering. Im Falle von Steinschlag wird das Material aufgrund der Steilheit des Geländes sowie der hohen Dämpfung des Gehängelehms unmittelbar vor der Wand abgelagert.

Beim nördlich vorgelagerten Hangfuss sind Spontanrutschungen aufgrund des möglichen Verflüssigungspotentials des Gehängelehms denkbar. Diese Schicht ist wegen ihrer Setzungsempfindlichkeit jedoch ohnehin nicht zur Foundation geeignet. Wegen der geringen Mächtigkeit dieser oberflächennahen Schicht kann das Auftreten solcher Spontanrutschungen mit Hilfe von Drainagen verhindert (Ursachenbekämpfung) oder deren Auswirkungen bautechnisch mit einfachen Massnahmen wie Vermeiden von terrainnahen, hangseitigen Öffnungen, Erstellen kleinerer Leitmauerwerke (Objektschutzes) leicht beherrscht werden.

Rutschungen in den Wohlensee oder in die Aare sind zwar theoretisch denkbar, ihre Auswirkungen (Überflutung des Geländes resp. Ausfall der Flusswasserkühlung) werden in Kap. 3.4.4.2.1 resp. Kap. 3.6.2.42 behandelt.

3.5.2.5 Kontrolle Neotektonik im Aushub

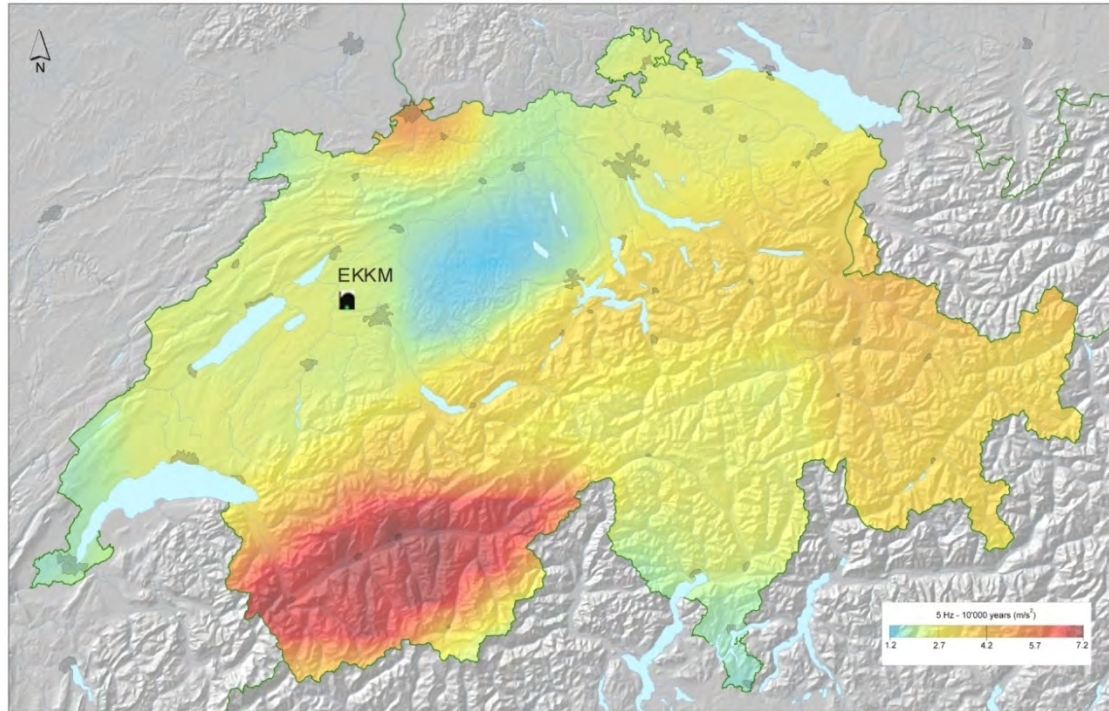
Bei den bisher ausgeführten Bauvorhaben am Standort Mühleberg wurden innerhalb der Lockergesteinsformationen keinerlei Verstellungen beobachtet, die auf tektonische Vorgänge zurückzuführen sein könnten. Dessen ungeachtet wird bei der Realisierung des Bauvorhabens EKKM im Rahmen einer geologischen Baubegleitung speziell auch auf Anzeichen von tektonischen Vorgängen innerhalb des Lockergesteins geachtet werden. Zu diesem Zweck sind im Baukontrollplan geologische Aufnahmen für jede Aushubetappe vorgesehen.

3.5.3 Seismologie und standortspezifische Erdbebengefährdung

3.5.3.1 Erdbeben als externes Ereignis

Innerhalb der Schweiz liegt Mühleberg in einem Gebiet mit niedriger Erdbebengefährdung (Abbildung 3.5-14). Generell wird die Schweiz von den meisten Seismologen den "intraplate regions" zugerechnet, also vergleichsweise stabilen Regionen im Innern der grossen plattentektonischen Einheiten ([76]). 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 $\leq 10^{-4}$, 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 gemäss Kernenergieverordnung KEV [2] zu berücksichtigen sind.

Abbildung 3.5-14: Seismische Gefährungskarte des Schweizerischen Erdbebendienstes (SED, 2004). Dargestellt sind die erwarteten Horizontalbeschleunigungen (in m/s^2) für eine Frequenz von 5 Hz und eine Wiederkehrperiode von 10'000 Jahren.



Quelle: Schweizerischer Erdbebendienst (SED)

3.5.3.2 Seismische Gefährungsanalysen

3.5.3.2.1 Deterministische Gefährungsanalyse

Bei der deterministischen seismischen Gefährungsanalyse werden zunächst alle seismischen Quellen identifiziert von denen angenommen wird, dass sie zur Gefährdung des Standortes beitragen könnten. Dann wird für jede Quelle die Entfernung und die grösste denkbare Erdbebenmagnitude festgelegt. Mit einer, auf die lokalen geologischen Verhältnisse abgestimmten Abminderungsfunktion (Bodenbewegungsparameter), 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 *konservative* (pessimistische) Annahmen getroffen werden. Dies steht im Gegensatz zur Praxis bei der probabilistischen Analyse (siehe Kap. 3.5.3.2.2), wo die *wahrscheinlichsten* Annahmen gewählt und ihre Unsicherheiten durch Parameterbandbreiten, alternative Modelle oder Zufallsverteilungen berücksichtigt werden.

3.5.3.2.2 Die probabilistische Gefährdungsanalyse

Im Gegensatz zur deterministischen werden bei der probabilistischen Gefährdungsanalyse ("probabilistic seismic hazard analysis", PSHA) 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 [119], [120]. Um die Gefährdung an einem Standort zu bestimmen, müssen drei Größen spezifiziert werden:

- 1 Die Quellengeometrie bzw. die geografische Beschreibung der Quelle. Eine seismische Quelle ist ein Volumen der Erdkruste, das 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. Die relative Lage der Quelle zum Standort, und eine Magnitude / Bruchlänge Beziehung bestimmen die konditionale Wahrscheinlichkeitsverteilung der Distanz von der Bruchfläche zum Standort.
- 2 Die Auftretenshäufigkeit. Diese wird bestimmt durch die mittlere Rate, mit der Erdbeben jeder 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, mit dem die Beschleunigungs- (GM-) Amplituden abgeschätzt werden, die am Standort, als Folge eines Erdbebens einer bestimmten Magnitude in einer bestimmten Distanz, auftritt. Bei empirisch abgeleiteten Abminderungsmodellen berücksichtigt man mit der Standardabweichung ("aleatorische Variabilität") σ 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 Abminderungsfunktion, kann die Gefährdung, d.h. die auf das Jahr bezogene Wahrscheinlichkeit, dass eine Beschleunigungsamplitude am Standort überschritten wird, berechnet werden. Diese Wahrscheinlichkeit resultiert aus der Integration über Distanz, Magnitude und die Beiträge aller Einzelquellen. Die Gefährdung wird für mehrere Beschleunigungsamplituden berechnet. Das Resultat ist eine Gefährdungskurve, welche die jährliche Überschreitungswahrscheinlichkeit als Funktion der Beschleunigungsamplituden 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 Standort auftreten und potentiell Schäden verursachen können. Dabei werden die Erdbebenszenarien entsprechend ihrer orts- und magnitudenabhängigen Auftretenswahrscheinlichkeiten gewichtet. 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 Potential aller Störungen und tektonischen Einheiten, in die Analyse mit einbezogen.

Die probabilistische Gefährdungsanalyse beruht auf einer Vielzahl deterministischer Analysen bzw. auf der Modellierung einer Vielzahl einzelner Erdbebenszenarien. 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 Erdbebenszenario modelliert bzw. Ground-Motions am Standort berechnet werden.

3.5.3.2.3 Die Modellierung von Erdbebenszenarien

Die Berechnung von Ground Motion 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. Kap. 3.5.3.5.3) ab. 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 manchal angezweifelt, 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 numerisch zu modellieren. Derartige numerische "Extended Source Simulations" (ESS) berechnen Parameter der vibratorischen Bodenbewegung ausgehend von einem räumlichen und dynamisch präzis definierten 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 man sich nicht einig darüber, 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 Modellierungsergebnisse 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 dennoch 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. Kap.3.5.3.4.2).

3.5.3.3 Das Projekt PEGASOS

3.5.3.3.1 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 dafür war das "Senior Seismic Hazard Analysis Committee" (SSHAC), das von verschiedenen US-Institutionen, darunter der "Nuclear Regulatory Commission" (U.S.NRC) beauftragt worden war, die bisherigen Erfahrungen bei der Durchführung probabilistischer Gefährdungsanalysen auszuwerten und darauf basierend eine akzeptable und einheitliche Prozedur vorzuschlagen [77]. Die SSHAC-Empfehlungen geben vor, wie die Eingabedaten für eine probabilistische Analyse zu erheben sind, welche Rolle dabei Experten spielen und welche Regeln und formelle Prozeduren beachtet werden müssen, um zu einem belastbaren und robusten Ergebnis zu kommen. Das Ziel der formellen Expertenbefragung ("expert elicitation") ist es, nach SSHAC, zu jeder input-relevanten Frage die gesamte Bandbreite der in der Fachwelt vorherrschenden Hypothesen und Meinungen abzubilden¹ 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 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 SSHAC-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. Am Projekt waren viele international anerkannte Experten aus Europa und aus den USA beteiligt. Während ihrer gesamten Dauer wurde die Studie von einem Review-Team der HSK begleitet: die HSK kommt in ihrem abschliessenden Prüfbericht [73] zu einem insgesamt positiven Urteil.

¹ "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" (Zitat aus [77], S. 21).

3.5.3.3.2 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 seismotektonische 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 Beschleunigungen im Lockergestein an der Oberfläche ("Site Response Characterisation"). Die vier Experten in diesem Teilprojekt hatten die Aufgabe für jeden Standort ein individuelles Modell der oberflächennahen Lockergesteinsschichten zu entwickeln und darauf basierend frequenzabhängige Verstärkungsfaktoren abzuleiten. 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 Gesamtergebnis berücksichtigt werden mussten. Zum Pflichtenheft von SP4 gehörten zudem Sensitivitätsanalysen zur Abklärung der Gefährdungsbeiträge einzelner Erdbebenszenarien oder zur Abklärung der Bedeutung einzelner Inputelemente.

3.5.3.3.3 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 Meinungsspektrum 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 Lösungsansätze der einzelnen Experten und Expertengruppen sich z.T. stark unterschieden, waren die als Gefährdungsergebnisse ausgedrückten Ergebnisse der Interpretationen erstaunlich homogen. Grosse Unsicherheitsbandbreiten wurden nicht, wie in vergleichbaren Studien, durch extreme Expertenmeinungen ("outliers") verursacht, sondern waren ein Resultat der Unsicherheiten, welche die Experten ihren eigenen Einschätzungen zuordneten.

3.5.3.3.4 Unsicherheiten

Eine wichtiges Merkmal der probabilistischen Gefährdungsanalyse ist eine 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 aleatorische Variabilität und die epistemische Unsicherheit. Die aleatorische Variabilität oder "Zufälligkeit" liegt im natürlichen physikalischen Prozess selbst begründet. So sind beispielsweise die Stärke, der Ort und der Zeitpunkt des nächsten Erdbebens auf einer Störung Elemente der aleatorischen Variabilität. Sie können aufgrund des heutigen Wissensstands nicht vorausgesagt werden, unabhängig von der Datenlage. Die aleatorische Unsicherheitskomponente ist daher nicht reduzierbar. Im Gegensatz dazu reflektiert die epistemische Unsicherheit den Mangel an Daten für bessere oder belastbarere Aussagen über das Auftreten von Erdbeben oder ihre Effekte. 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.

3.5.3.3.5 Ergebnisse

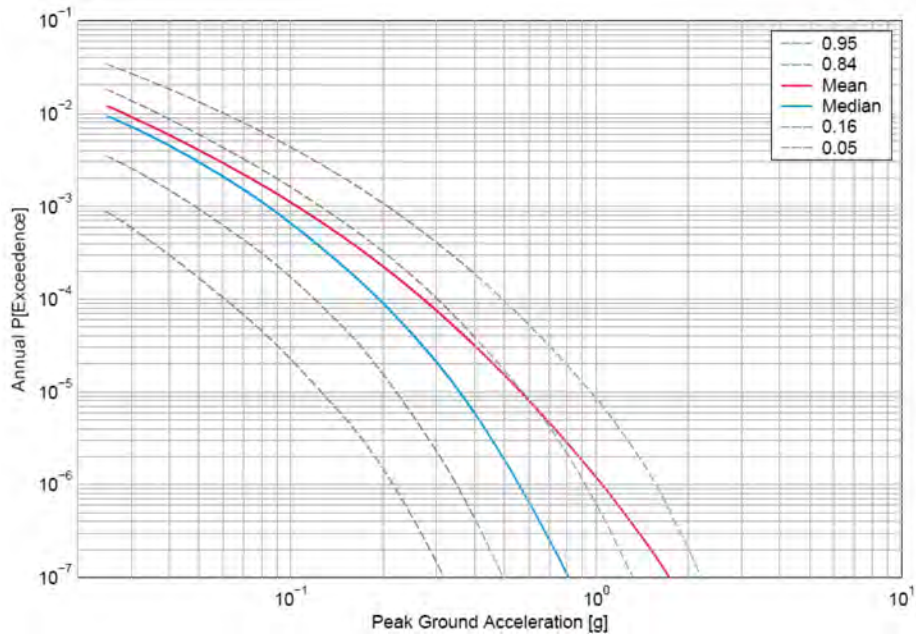
Die Resultate der PEGASOS-Studie [125] umfassen Gefährdungskurven und Gefährdungsspektren für alle vier Standorte, für Fels¹ und Soil² Horizontal- und Vertikalbeschleunigungen, die sich auf drei unterschiedliche Referenzniveaus beziehen. Dazu kommen Deaggregationen der Gefährdungsbeiträge nach Distanz 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 3.5-15 und Abbildung 3.5-16 zeigen Beispiele für den Standortbereich mit den zugehörigen Unsicherheitsverteilungen. Aus Abbildung 3.5-15 ist beispielsweise abzulesen, dass in Mühleberg eine Horizontalbeschleunigung (PGA für Fels) von 0.2 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 oberflächennahen Lockergesteinsschichten ("Standorteffekt") liegt der entsprechende Wert (für Soil) bei etwas über 0.4 g.

¹ 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 2'000 m/s (Bemerkung: heute wird eher eine Geschwindigkeit von 1'000 m/s als Referenzwert gewählt). Die "Fels-Beschleunigungen" (rock motions) sind fiktive, prognostizierte Beschleunigungen, die an der Oberfläche (oder einem Fundationsniveau) gemessen würden, wenn alle oberflächennahen Schichten mit $V_s < 2'000$ m/s ausgeräumt und mit Fels von 2'000 m/s ersetzt worden wären ("reference rock site condition"). Setzt man sie in Beziehung zu jährlichen Überschreitungswahrscheinlichkeiten erhält man die "Fels-Gefährdung" (rock hazard).

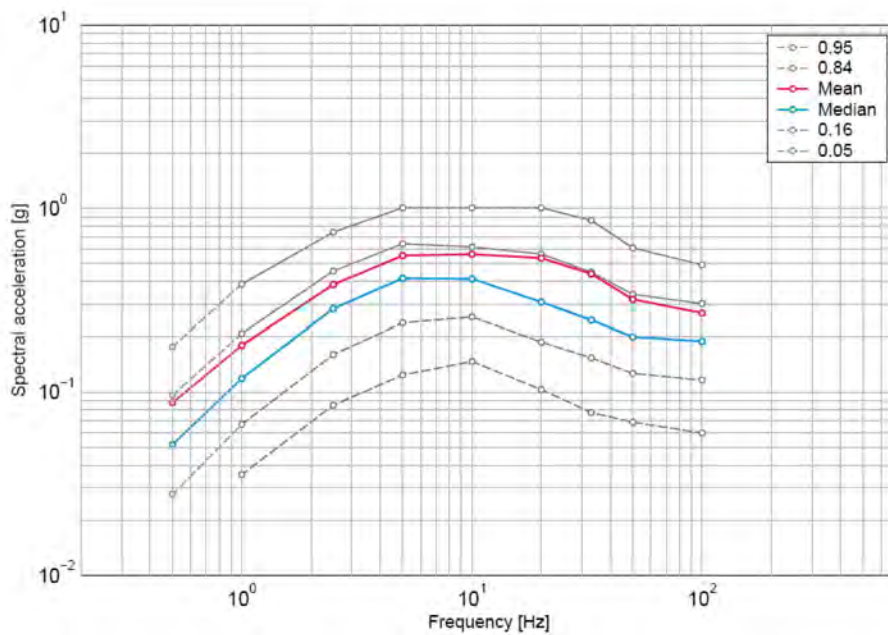
² "Soil" ist der Begriff, der hier für die oberflächennahen geologischen Schichten mit Geschwindigkeiten unter der Fels Referenzgeschwindigkeit von 2'000 m/s verwendet wird. "Soil" entspricht nicht den Lockergesteinen über dem anstehenden Fels, auch wenn diese mit eingeschlossen sind. Die "Soil-Beschleunigungen" (soil motions) beinhaltet den "Standorteffekt", d.h. die frequenzabhängige Verstärkung der vibratorischen Bodenbewegung durch die oberflächennahen Schichten mit $V_s < 2'000$ 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).

Abbildung 3.5-15: Gefährdungskurve für den Standortbereich Mühleberg, Horizontalkomponente für Fels, Oberfläche, PGA. Die Unsicherheitsverteilung wird durch die Mittelwert-, die Median- und die 5%-, 16%-, 84%- und 95%-Fraktilkurven dargestellt.



Quelle: SwissNuclear

Abbildung 3.5-16: Gefährdungsspektrum ("Uniform Hazard Spectrum") für den Standortbereich Mühleberg, Horizontalkomponente, Fels für eine jährliche Überschreitungswahrscheinlichkeit von 10^{-4} und 5% kritische Dämpfung



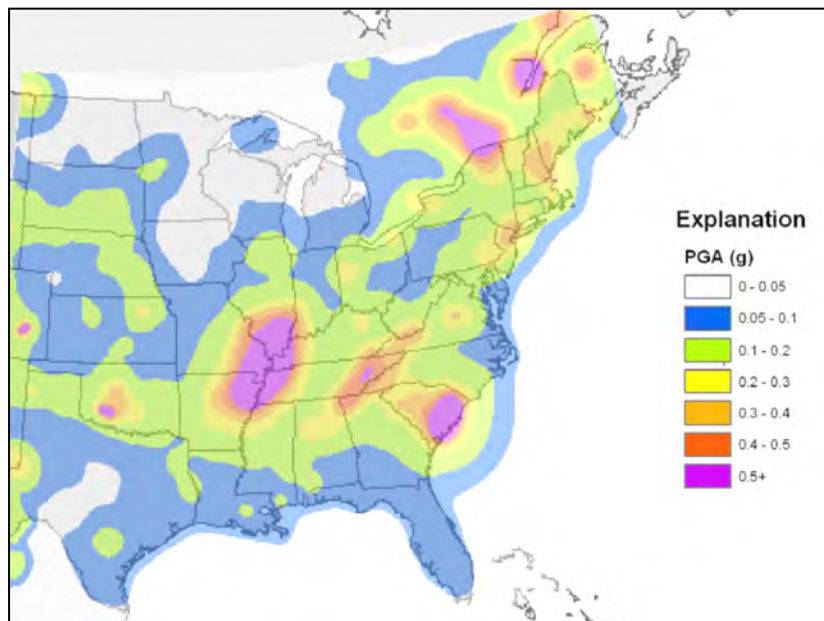
Quelle: SwissNuclear

3.5.3.3.6 Die PEGASOS Resultate im Vergleich zu früheren Studien

Im Vergleich zu früheren probabilistischen Gefährdungsstudien aus den 1980er-Jahren sind die entsprechenden PEGASOS-Bodenbeschleunigungswerte signifikant höher. Die PGA ("peak ground acceleration" bei hohen Frequenzen), welche einer jährlichen Überschreitungswahrscheinlichkeit von 10^{-4} entspricht, je nach Standort, dem 1.7- bis 2.7-fachen 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 [76] (vgl. Kap. 3.5.3.2.2). Diese zusätzliche Unsicherheitsquelle, die der Streuung der empirisch abgeleiteten GM-Modelle entspricht, kann als Konsequenz 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 nicht berücksichtigt. 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 den Standortbereich Mühleberg liegen nahe bei den Gefährdungswerten in anderen Gebieten mit vergleichbar schwacher bis mittlerer seismischer Aktivität. Dies zeigt u.a. der Vergleich mit dem östlichen und zentralen Teil der USA, wo nach Abbildung 3.5-17 die PGA-Mittelwerte für Fels bei einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von 10^{-4} zwischen 0.1 g und 0.4 g betragen. Der entsprechende Wert für Mühleberg ist 0.26 g.

Abbildung 3.5-17: PGA-Mittelwerte für harten Fels (3'000 m/s) bei einer jährlichen Überschreitungswahrscheinlichkeit von 10^{-4} im zentralen und östlichen Teil der USA (berechnet auf der Basis einer USGS-Gefährdungskarte - für weichen Fels von 2'000 m/s, entsprechend der PEGASOS-Norm, würden geringfügig höhere Beschleunigungen resultieren). Die PEGASOS-Gefährdungsergebnisse entsprechen der gelben Farbkodierung.



Quelle: SwissNuclear

3.5.3.4 Weiterführende Arbeiten: das "PEGASOS Refinement Projekt" (PRP) und ein erweitertes Überwachungsnetz

3.5.3.4.1 Reduktion der dominierenden Unsicherheiten

Ungeachtet der generell positiven Beurteilung der PEGASOS-Studie identifizierte die Reviewgruppe der HSK auch Verbesserungspotential. Das "PEGASOS Refinement Project (PRP)" hat zum Ziel, die PEGASOS-Untersuchungen und entsprechende Ergebnisse zu ergänzen bzw. zu verbessern.

Durch eine Verbesserung der Datenbasis (u.a. mit zusätzlichen Felduntersuchungen) sollten die dominierenden epistemischen Unsicherheiten der Gefährdungsanalyse reduziert werden. 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 konnte. Dabei stellte sich heraus, dass die Gesamtunsicherheit 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 Datenbank¹ 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 (siehe Kap. 3.5.3.5.3).
- 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 Lockergesteine besser charakterisiert und der Interpretationsspielraum eingeschränkt werden (siehe Kap. 3.5.3.5.4).

Es sind auch weitere Anpassungen geplant. Dazu gehören die Überarbeitung und Aufdatierung des SED-Erdbebenkatalogs, die Berechnung der Gefährdungsergebnisse für eine tiefere Grenz- ("lower bound-") Magnitude $M_0 = 4.5$ und die alternative Modellierung ausgewählter Erdbebenszenarien mit "Extended Source Simulations" (siehe Kap. 3.5.3.4.2).

3.5.3.4.2 Extended Source Simulations

Wie im Kap. 3.5.3.2.3 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 PRP geplant.

¹ Siehe <http://www.isesd.cv.ic.ac.uk/ESD>

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, die vom HSK Review-Team angeregt und beim "Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale, Trieste, Italien" (OGS) in Auftrag gegeben wurde. Bei der Input-Spezifikation für die OGS-Studie war man sich bewusst, dass es nicht möglich sein würde, reale und bekannte Störungen mit entsprechendem Magnitudenpotential in unmittelbarer Standortnähe zu identifizieren. Dagegen sprach die Tiefenlage der Quellen und die begrenzte Abbildungsleistung der Reflexionsseismik im Bereich des Sockels (siehe Kap. 3.5.3.5.2). Man wählte deshalb einen anderen Weg, 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 (strike-slip faults) 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 werden. Für jede der Quellen-Standort-Konfigurationen wurden darüber hinaus Verschiebungs- (Slip-) Verteilungen und die Bruchausbreitungsparameter variiert, um aleatorische Unsicherheiten zu berücksichtigen und die statistische Basis zu verbessern.

Die Resultate der Studie geben Aufschluss über die Richtungs- und Entfernungsabhängigkeit 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 OGS-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. In der OGS-Studie werden drei möglichen Ursachen aufgeführt: 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 Abrisspunkte auf der Bruchfläche. Weil die ESS-Beschleunigungen kritisch von Input-Annahmen abzuhängen scheinen, die kaum verifizierbar sind, wurde darauf verzichtet, sie als Absolutwerte anzuwenden. Statt dessen 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. Die im Rahmen vom PRP geplanten ESS-Analysen werden auf die Resultate und Erfahrungen aus der OGS-Studie zurückgreifen können, um zu realistischen und robusten Ergebnissen zu kommen.

3.5.3.4.3 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 verbesserte Berechnungen der Herdmechanismen und belastbarere Aussagen zum Spannungsregime möglich.

Die Gesuchstellerin 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 neuen Stationen werden jeweils ca. vier in der Umgebung der neuen Kraftwerksstandorte aufgebaut werden. Die Lage der restlichen Stationen wird auf die Bedürfnisse der NAGRA abgestimmt.

Des Weiteren führt die Universität Fribourg zurzeit eine Studie durch, welche die Seismizität im Bereich der Fribourg-Zone untersucht. Es wird ermittelt, welche Verwerfungen der Fribourg-Zone seismisch aktiv sind. Das Ergebnis soll als 3D-Modell dargestellt werden, in dem die Epizentren der registrierten Erdbeben und die aktiven Verwerfungen sichtbar werden. Für dieses Modell wird ein noch dichteres Netz von Registrierstationen benötigt: Zwei mobile Arrays sind vorgesehen, die jeweils für mehrere Monate ortsfest installiert bleiben und Erdbeben mit Magnitude -1.5 bis 1.5 messen.

Zusammen mit der Erweiterung des seismischen Überwachungsnetzes werden die Untersuchungen der Universität Fribourg dazu beitragen, das Verständnis der Fribourg-Zone weiter zu verbessern.

3.5.3.5 Die spezifische Gefährdung am EKKM-Standort

Die PEGASOS Resultate wurden in einem aufwändigen Verfahren nach dem neuesten internationalen Wissensstand ermittelt. Die Ergebnisse für das bestehende KKM beziehen sich auf einen Standort, der nur ca. 500 m vom geplanten EKKM entfernt liegt. Sie haben somit - mit kleinen Einschränkungen im Bezug auf die Lockergesteinsmächtigkeit - auch für den Standort Niederruntigen Gültigkeit. Es ist daher naheliegend, bei der Analyse der Ergebnisse vor allem denjenigen Fragen nachzugehen, die von den internationalen Experten als massgebend für die seismische Gefährdung am Standort eingestuft wurden.

Die folgende Beurteilung folgt in ihrer Struktur den grundlegenden Schritten der probabilistischen Gefährdungsanalyse. Ausgehend von den seismotektonischen Rahmenbedingungen, wird untersucht wie seismische Quellen im Einflussgebiet charakterisiert werden können, welche Quellen sich als besonders wichtig herausgestellt haben, welche Rolle die Abminderungsmodelle spielen und wie die Verstärkung der Bodenerschütterung durch die oberflächennahen Lockergesteine quantitativ erfasst werden kann.

3.5.3.5.1 Datenbasis und seismotektonische Verhältnisse

Während in vielen Gebieten der Welt, besonders 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 platten-tektonischen Einheiten ("intraplate regions") ist die Seismizität fast immer diffus verteilt. Die Erdbebenherde können, von 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 Erdbebenaktivität ihren Formen und Grenzen (wie etwa im Fall des Rheingrabens), meist ist auch hier die Zuordnung nicht offensichtlich (siehe Abbildung 3.5-3).

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 im 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 werden bekannte Störungssysteme nacheinander untersucht und als "aktiv" oder "inaktiv" klassiert.

Dieses Vorgehen wird auch von der IAEO empfohlen. In einem neuen, erst als Draft vorliegenden Dokument DS422 ("Seismic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations") wird zwar die Probabilistische Seismische Gefährdungsanalyse (PSHA) stärker gewichtet als in den älteren Empfehlungen (Safety Guide 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 nur erklärbar, wenn man sich vergegenwärtigt, dass die IAEO-Empfehlungen 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 die Situation des EKKM nicht zu. Im internationalen Vergleich haben die Gefährdungsstudien für die schweizerischen KKW in den letzten Jahren einen ausserordentlich 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-Standards vorgesehen ist.

Das SSHAC-level 4-Verfahren der probabilistischen Gefährdungsanalyse (siehe Kap. 3.5.3.3.1) wie es von der schweizerischen Aufsichtsbehörde gefordert wird, 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 SSHAC-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

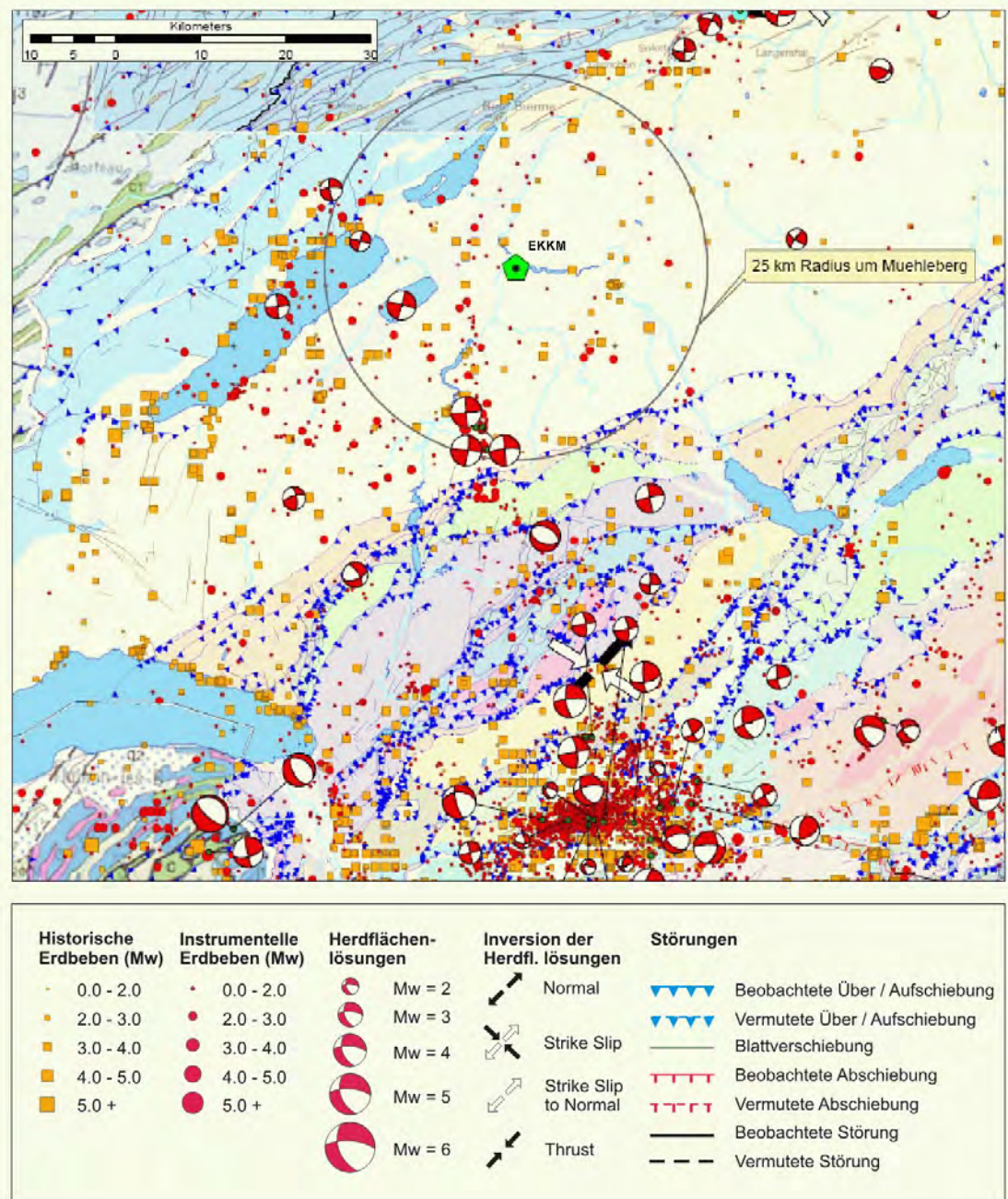
- Erdbeben Katalog Datenbasis
- strukturgeologische Datenbasis
- seismotektonische Datenbasis.

Alle ortsbezogenen Daten sind in GIS-Ebenen ("Geografic Information System") 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 Typen, nach unterschiedlichen Kriterien klassifiziert)
- Erdbebenkatalog (ECORS-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)
- In-situ Spannungsmessungen (aus "World Stress Map 2000")
- Spannungen aus invertierten Erdbeben-Herdmechanismen
- Hebung und Subsidenz (nationales- und Nagra-Messnetz).

Kombinationen dieser "GIS-Layers" (Ausschnitt Umgebung Mühleberg siehe Abbildung 3.5-18) definieren das "Geodynamische Modell", das der Quellenzonierung durch die SP1-Experten zugrunde gelegt wurde. Dieses Geodynamische Modell ist inhaltlich in Kap. 3.5.1.2 beschrieben.

Abbildung 3.5-18: Ausschnitt aus der PEGASOS Quellencharakterisierung-Datenbasis in der Umgebung von Mühleberg ("Seismotektonisches Modell"). Das projizierte EKKM ist als grünes Fünfeck eingezeichnet.



Quelle: SwissNuclear

3.5.3.5.2 Quellencharakterisierung

Im Falle der Quellencharakterisierung zeigen sich klare Differenzen zwischen gewissen Empfehlungen aus dem Entwurf des IAEO-Standards 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 SSHAC-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 IAEO-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 Magnitudenpotential betrifft, so waren die PEGASOS SP1-Experten einhellig der Meinung, dass dieses Vorgehen in Gebieten mit diffus verteilter Seismizität, insbesondere in Mitteleuropa nicht anwendbar sei. Ein Vertreter der Gruppen EG1c bemerkte dazu, die Zahl der "aktiven" Störungen könnte auf direktere Weise abgeschätzt werden, wenn man sich der Frage aus einer anderen Richtung näherte. 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 Gefährdungspotential von Störungen würde effektiv vom Kenntnisstand über ihre Lage d.h. von ihrer Kartierbarkeit beeinflusst.

Die genannte Expertengruppe wählte eine stringenter 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 Fribourg-Zone und die Störung von Reinach. Die Fribourg-Zone und die unterschiedliche Art ihrer Berücksichtigung durch die PEGASOS Expertengruppen wird im Kapitel 3.5.3.6 eingehend diskutiert.

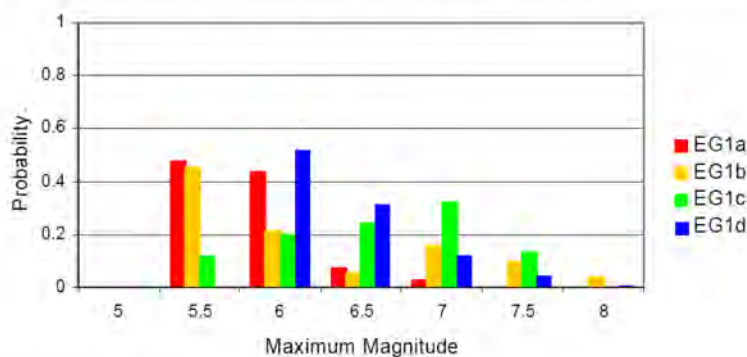
Abgesehen von den zwei erwähnten, bemerkenswerten Ausnahmen, wurde die gesamte seismische Aktivität von den PEGASOS-Experten als seismischen Quellenzonen oder Flächenquellen ("area sources") modelliert. Eine Flächenquelle steht für einen Bereich der Erdkruste mit einer spezifischen und von benachbarten 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 Seismizität bzw des seismischen Potentials im Innern einer Flächenquelle ausgegangen¹.

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, also beispielsweise auch direkt unter der Anlage. Weil die Beiträge aller Erdbeben aus dem der Flächenquelle entsprechenden Magnitudenband mit ihren Häufigkeiten bereits im Gefährdungsergebnis enthalten sind, ist eine weitergehende geologische Charakterisierung von Störungen mit einem Magnitudenpotential innerhalb der Bandbreite unnötig, weil sich - unabhängig vom Resultat - an der Einschätzung der Gefährdung nichts ändern würde.

Für Quellenzonen im Gebiet des nördlichen Alpenvorlandes liegt der Medianwert der $M_{\max}$ -Verteilungen aller vier SP1 Expertengruppen bei $M_w = 6.1$; das obere Extremende bei $M_w = 7.0$ oder höher (siehe Abbildung 3.5-19).

Abbildung 3.5-19: Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Maximalmagnituden für Quellenzonen in der Nordschweiz, entwickelt von den vier SP1 (Quellencharakterisierungs-) Expertengruppen



Quelle: SwissNuclear

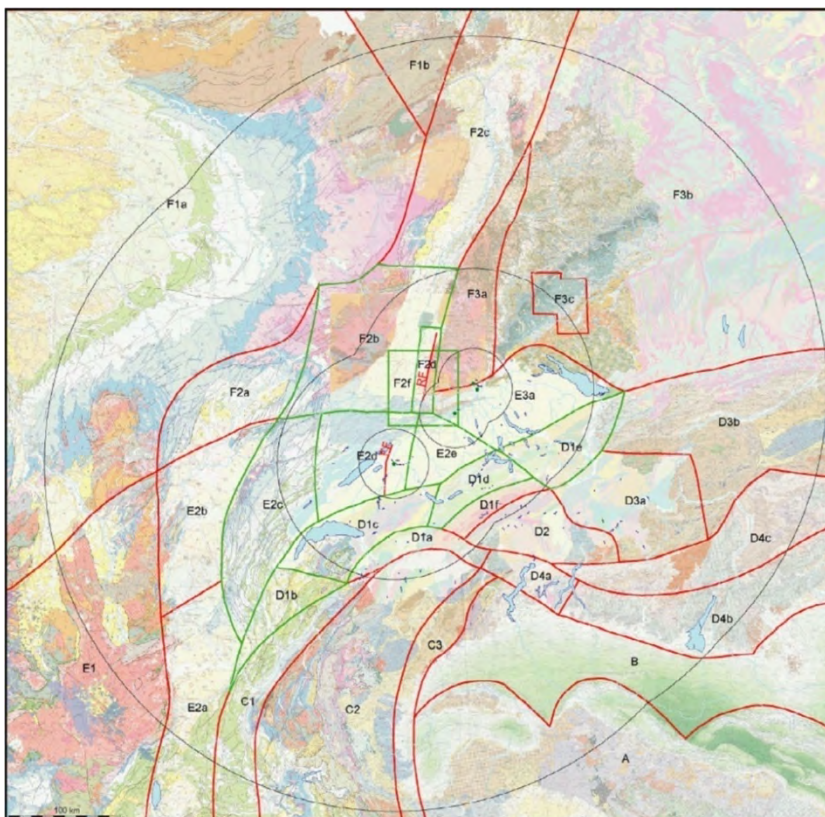
Bei der Quellenzonierung stellt sich für die Experten die wichtige Frage, ob für die Prognose der zukünftigen Erdbebenaktivität das heute beobachtete Muster der Seismizität oder die Grenzen der bekannten tektonischen Einheiten stärker gewichtet werden sollten. Für die Seismizität als primäres Prognoseinstrument 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 3.5-20 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 3.5-21

¹ 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.

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 Quellenparameter, werden die (epistemischen) Unsicherheiten der Quellencharakterisierung ausgedrückt.

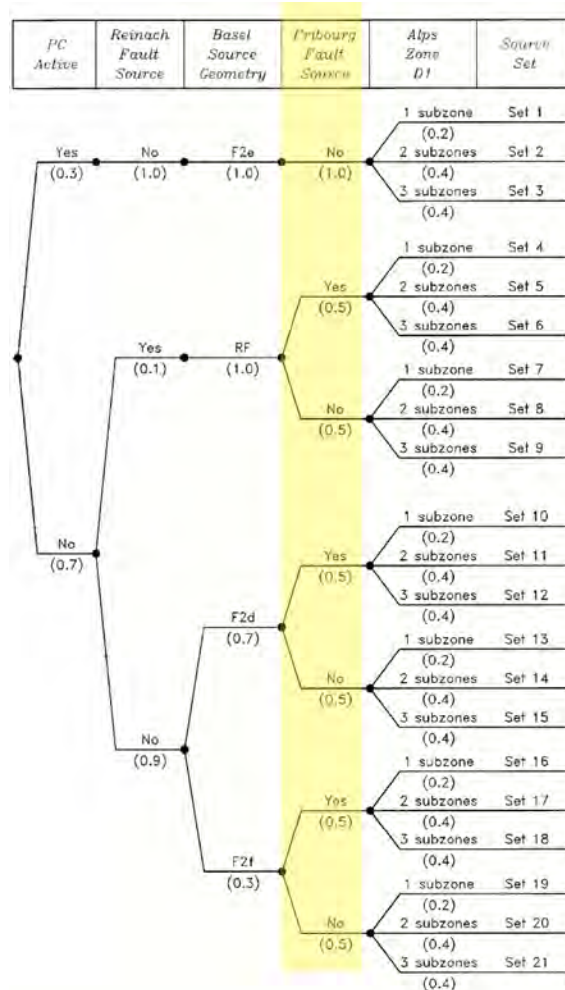
Die Unsicherheiten können wesentlich zur seismischen Gefährdung beitragen, allerdings ist der Beitrag je nach Inputkategorie und dem betrachteten Gefährdungsprodukt unterschiedlich gravierend. Sensitivitätsanalysen am Ende der PEGASOS Studie haben gezeigt, dass die Unsicherheiten der Quellencharakterisierung nur einen vergleichsweise geringen Einfluss auf die Gefährdungsabschätzung haben. Betrachtet man aber gezielt die Quellenzonen im Nahbereich um den Standort, so ist erkennbar, dass die relativ breiten Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Maximalmagnituden, die in Abbildung 3.5-19 dargestellt sind, sich signifikant auf die Gefährdung auswirken, besonders bei grossen Erschütterungsamplituden und hohen Frequenzen (vergl. auch Abbildung 3.5-24).

Abbildung 3.5-20: Beispiel eines Quellenzonierungsmodells der Expertengruppe EG1a. Bei dieser Modellvariante ist der Bereich des Permokarbondrogs nicht als separate Flächenquelle ausgeschieden ("PC Active": No). Die Fribourg-Zone wird unter diesen Voraussetzungen in der Hälfte aller Fälle, d.h. mit einer Gewichtung von 0.5, als Störungsquelle (FF) modelliert (Fribourg fault source: yes).



Quelle: SwissNuclear

Abbildung 3.5-21: Quellenzonierungsmodelle der Expertengruppe EG1a dargestellt als gewichtete Äste eines "Logic Trees". Alternative Darstellungen der Fribourg-Zone im Fall ("PC Active": No) sind gelb unterlegt.



Quelle: SwissNuclear

3.5.3.5.3 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 Gefährdungsergebnisse liefert.

Im Rahmen des Projekts PRP (siehe Kap. 3.5.4) 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.

3.5.3.5.4 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 (siehe erklärende Fussnoten in Kap. 3.5.3.3.5).

In erster Näherung hängt die frequenzabhängige Verstärkung vom Scherwellen-Geschwindigkeitsprofil im Bereich der oberflächennahen Schichten ab¹. Abbildung 3.5-22 zeigt das V_s -Profil, das von den PEGASOS-Experten für die Berechnung des Standorteffektes am Standort KKM herangezogen wurde (schwarze Linie). Dieses Geschwindigkeitsprofil ist Bestandteil des "Logic Trees", mit dem jeder Experte den Standorteffekt definiert und seine Einschätzung der epistemischen Unsicherheiten wiedergibt. Es wurde erwartet, dass diese Unsicherheiten durch die Baugrunduntersuchungen im Standortbereich Mühleberg reduziert werden können.

Nach Abschluss dieser Untersuchungen liegen nun alle Resultate vor, welche die SP3-Experten des PRP (siehe Kap. 3.5.3.4) für die Interpretation und Neuberechnung des Standorteffektes am Standort des EKKM 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 werden im Rahmen des Gesuches zur Baubewilligung erfolgen.

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 $PGA = 0.4 \text{ g}$ skaliert) und die gleichen Materialeigenschaften verwendet, die schon im PEGASOS-Projekt für ähnliche Berechnungen verwendet worden waren. Als Eingabe- V_s -Profil unter der bestehenden Anlage diente das PEGASOS-Modell. Für den neuen Standort wurde die blau gestrichelte Kurve² in Abbildung 3.5-22 gewählt, welche die leicht geringere Schottermächtigkeit am neuen Standort berücksichtigt. Ausserdem lehnt sich das Eingabe-Profil für EKKM stark an die Resultate der Downhole-Messungen an, dem zum Zeitpunkt der Berechnungen zuverlässigsten, neuen Datensatz³. Abbildung 3.5-23 zeigt als Funktion der Periode (Kehrwert der Frequenz) die beiden mittleren Amplifikationsfunktionen (Verhältnisse der beiden an der Erdoberfläche und an einem hypothetischen Felsaufschluss

¹ Andere Bestandteile des "Logic Trees" sind die Materialeigenschaften des Baugrunds. Sie werden mit verschiedenen Feld- und Laboruntersuchungen bestimmt und dienen als Grundlage für 1D-äquivalent-linear und 1D-nicht-lineare Modellberechnungen der standortspezifischen Signalverstärkung. Die diesbezügliche Datenbasis war zu Beginn des PEGASOS-Projektes bereits so gut, dass die Experten sich auf einen einzigen Satz von nicht-linearen, standortspezifischen Materialeigenschaften einigen konnten.

² Aus [60]

³ Die Ergebnisse von zehn Downhole-Untersuchungen am neuen Standort wurden gemittelt (braune Kurve in Abbildung 3.5-22). Die Resultate der Crosshole-Messungen lagen zum Zeitpunkt der Berechnungen noch nicht vor.

berechneten Antwortspektren) für die beiden Standorte KKM und EKKM. Demnach ist die Verstärkung der seismischen Signale bei der Resonanzfrequenz bei beiden Standorten etwa gleich, die Eigenfrequenz selbst scheint sich aber von der alten zur neu geplanten Anlage gegen höhere Frequenzen hin zu verschieben (14 Hz, Periode von 0.07 s gegenüber 10 Hz, Periode von 0.1 s). Bei den anderen Frequenzen ist die Verstärkung mal kleiner, mal grösser.

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 PRP- Berechnungen werden neue, von den PRP-Experten erarbeitete Geschwindigkeitsprofile zu Grunde gelegt werden. Sie werden bis zur Einreichung des Gesuchs zur Baubewilligung vorliegen. Damit ist gewährleistet, dass die neue Anlage auf eine aufdatierte Prognose der maximal zu erwartenden Bodenbeschleunigungen ausgelegt werden kann.

Abbildung 3.5-22: Scherwellen-Geschwindigkeitsmodelle am Standort KKM nach Einschätzung der vier SP3 (Standorteffekt-) Experten in schwarz. Das PEGASOS Modell sowie das blau gestrichelte Profil dienen für KKM bzw. für EKKM als Eingabe zu den Amplifikationsberechnungen von Résonance (siehe Abbildung 3.5-23). Das Profil für EKKM lehnt sich stark an die Resultate der Downhole-Messungen an (als braune Kurve über 10 Bohrungen gemittelt, siehe [60]) und berücksichtigt die unwesentlich kleinere Lockergesteinsmächtigkeit am neuen Standort.

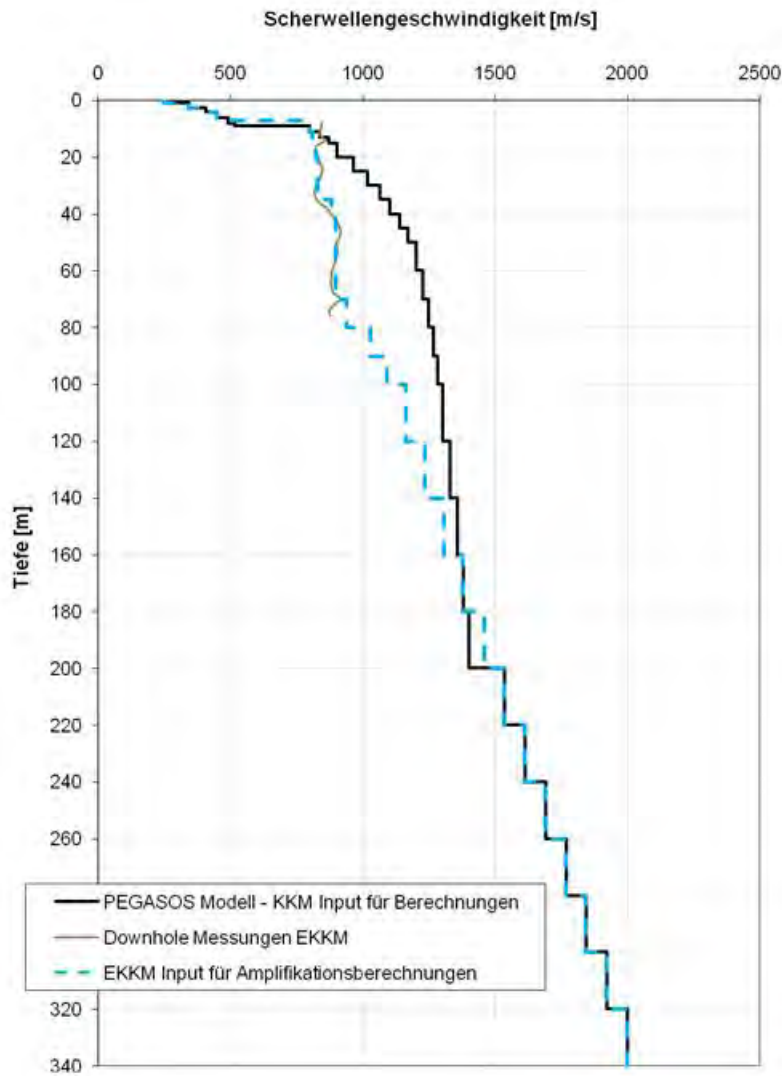
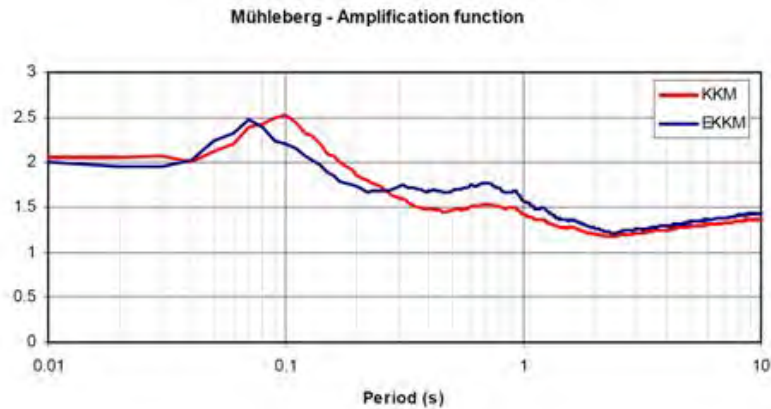


Abbildung 3.5-23: Provisorischer Vergleich der für den KKM- (rot) und den EKKM-Standort (blau) berechneten mittleren Amplifikationsfunktionen.



3.5.3.5.5 Die wichtigsten Beiträge zur seismischen 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 an einem Standort. Die Deaggregation der Resultate für den Standortbereich Mühleberg zeigt, wie in Abbildung 3.5-24 (oberer Teil) dargestellt, dass bei geringen Erschütterungsamplituden (0.05 g) und relativ tiefen Frequenzen (0.5 Hz) Erdbeben über den ganzen Entfernungs- und Magnitudenbereich signifikante Beiträge liefern. Betrachtet man dagegen, am anderen extremen Ende, die grössten Amplituden (0.7 g) und höchsten Frequenzen (PGA), so zeigt sich, dass hier die Gefährdung massgeblich von nahegelegenen Erdbeben (< 20 km) im Magnitudenband 5-7 bestimmt wird (Abbildung 3.5-24, unterer Teil). Dies ist nicht typisch für den Standort EKKM, 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 nahegelegene Quellenzonen, wobei in jedem Expertenmodell die "host zone", die den Standort selbst enthält, an der Spitze steht (Abbildung 3.5-28). 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 km zu konzentrieren.

Aus dem unmittelbaren Umfeld vom Standortbereich Mühleberg sind keine bedeutenden, an der Oberfläche geologisch kartierbaren Störungen bekannt. Dies ist nicht weiter überraschend, da einerseits viele der kleinräumigen Störungen im Bereich der Molasse nicht bis an die Oberfläche reichen und andererseits die wichtigen Bruchsysteme im Grundgebirge und in den mesozoischen Sedimenten nicht unmittelbar beobachtet werden können. Aufschluss geben allein die reflexionsseismischen Daten der Explorationsindustrie, die aber bis vor kurzem noch nicht öffentlich zugänglich waren. Die Abbildungsleistung der Reflexionsseismik ist abhängig vom Stand der Technik zur Zeit der Datenakquisition, vor allem aber von den Eigenschaften der unterschiedlichen tektonischen Einheiten, die den Untergrund aufbauen. Die kontrastreichen und über weite Strecken gleichförmigen Schichten des Mesozoikums bieten bessere Voraussetzungen

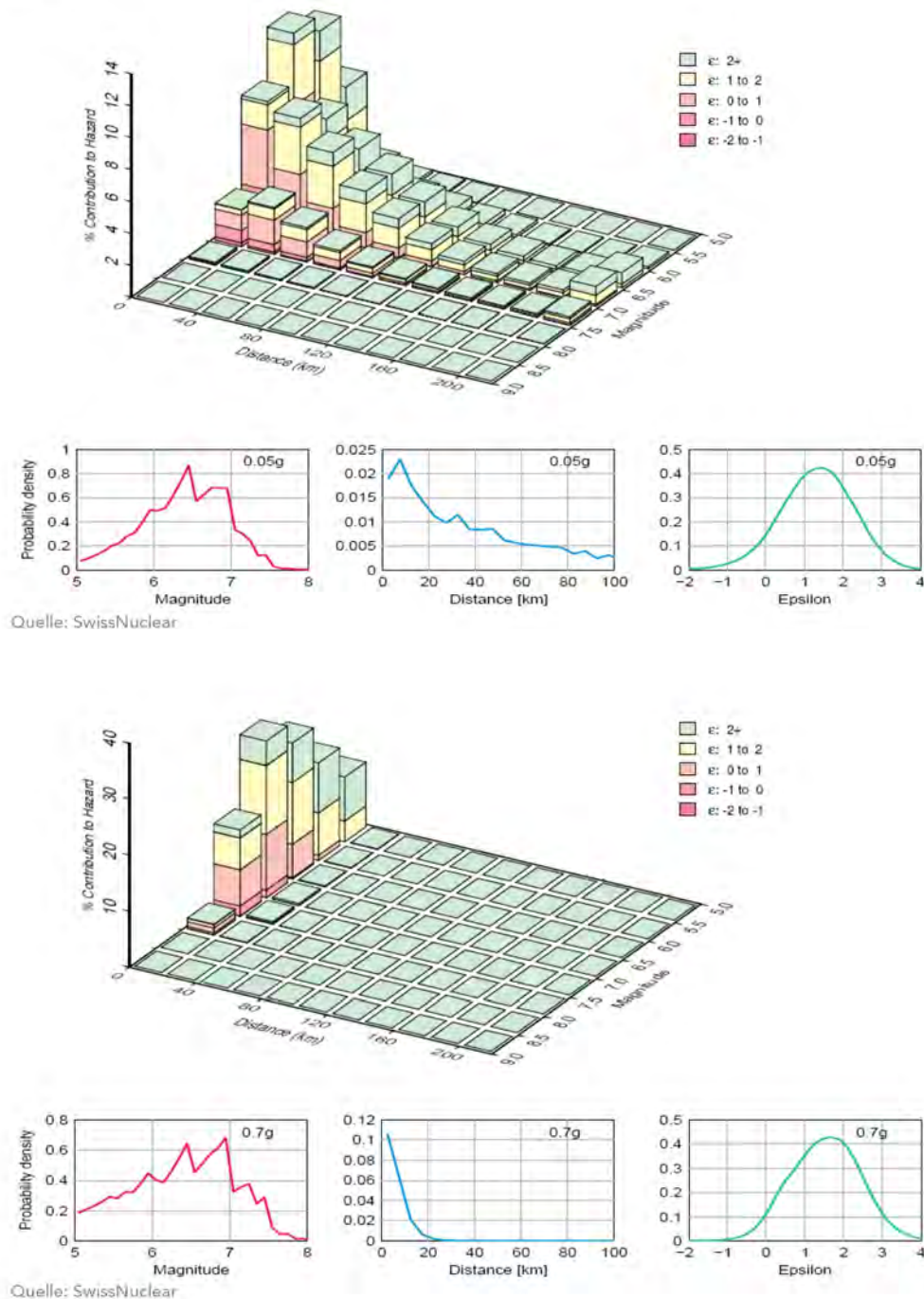
für die Kartierung eines Bruchmusters als das darunterliegende Grundgebirge oder die kontrastarmen Sedimente der Unteren Süsswassermolasse (siehe Kap. 3.5.3.7 und dessen Abbildungen). Dementsprechend ist der Kenntnisstand über Brüche im Bereich der Molasse bescheiden. Für die seismische Gefährdung ist dies aber nicht von Belang, weil diese untiefen, kleinräumigen Störungen als mögliche Erdbebenherde keine ingenieurtechnische Rolle spielen.

Vom seismologischen Standpunkt aus wichtiger sind die Störungsmuster in grösseren Tiefen, wo bedeutendere Spannungen aufgebaut werden können. Im weiteren Umfeld von Mühleberg sind zwei wichtige Bruchsysteme zu unterscheiden: Das grösstenteils unbekannte Störungsmuster im Grundgebirge und die mesozoischen Brüche oberhalb des Abscherungshorizontes in der unteren Trias, die teilweise bis in die Molassesedimente reichen. Diese Störungssysteme wurden in der Vergangenheit mehrfach anhand reflexionsseismischer Daten analysiert, u.a. von Berger & Gundlach (1990) zitiert in [70] und von der NAGRA. Eine neue Interpretation der Gesuchstellerin, die sich erstmals auf das gesamte vorhandene reflexionsseismische Datenmaterial abstützt, ermöglicht jetzt neue Einsichten in den tektonischen Baustil des westlichen Molassebeckens und die detaillierte Kartierung der lokalen und regionalen Störungen in der Umgebung von Mühleberg (siehe Kap. 3.5.3.7). Bedeutungsvoll für die Beurteilung der seismischen Gefährdung ist die Entkoppelung der mesozoischen Störungen vom Bruchmuster im Grundgebirge, die "en-échelon"¹ Anordnung von Brüchen beschränkter Ausdehnung an den Rändern der Fribourg-Struktur und das generell bessere Verständnis der Fribourg-Zone, einschliesslich ihres Verlaufs und ihrer räumlichen Ausdehnung.

Die Fribourg-Zone ist das auffälligste und einzig bekannte lokale Strukturelement mit einer möglichen direkten Auswirkung auf die seismische Gefährdung am Standort. Ihr Potential wird deshalb im Folgenden vertieft behandelt.

¹ "en-échelon": Parallele oder subparallele, enggescharte bzw. überlappende kleinere Strukturelemente z.B. Brüche oder Zerrungsklüfte die schiefwinklig zum generellen strukturellen Trend verlaufen

Abbildung 3.5-24: Beiträge zur seismischen Gefährdung am Standort Mühleberg (Fels) nach Magnitude, Distanz und ϵ^1 . Oben für eine Horizontalbeschleunigungsamplitude von 0.05 g und eine Frequenz von 0.5 Hz, unten für eine Amplitude von 0.7 g und eine Frequenz von 100 Hz (PGA)



¹ 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

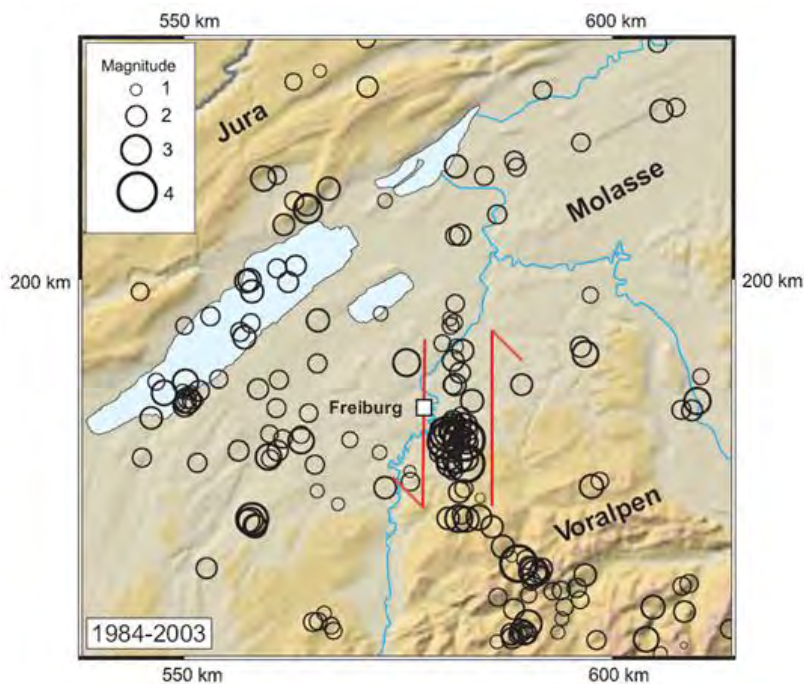
3.5.3.6 Das Gefährdungspotential der Fribourg-Zone (FZ)

In diesem Kapitel wird zuerst beschrieben, wie die Fribourg-Zone von den PEGASOS-Experten in ihren Quellenmodellen berücksichtigt wurde und wie sich die unterschiedlichen Modellierungsansätze auf die Gefährdung auswirken. Anschliessend werden die neuen Erkenntnisse, seit dem Abschluss der PEGASOS-Studie im Jahre 2003, und ihre möglichen Auswirkungen diskutiert. Zu den neuen Erkenntnissen, auch wenn sie nicht unmittelbar mit der Fribourg-Zone zusammenhängen, gehört die präzisere Lokalisierung resp. der Ausschluss von Brüchen in unmittelbarer Nähe des Standortes, die im letzten Abschnitt behandelt wird.

3.5.3.6.1 Die Konzentration beobachteter seismischer Aktivität

Studiert man die räumliche Verteilung der Seismizität im westlichen Molassebecken, an sich einer Region geringer seismischer Aktivität, erkennt man eine auffällige Häufung von Epizentren unmittelbar östlich der Stadt Fribourg. Diese Konzentration von Erdbebenherden liegt in einem schmalen Streifen nach Norden und setzt sich bis etwa auf die Höhe des Bielersees fort (siehe Abbildung 3.5-25). Ob die Erdbeben im Norden allerdings ursächlich mit dem eigentlichen Fribourg-Schwarm zusammenhängen, ist fraglich. Die meisten der Fribourg-Erdbeben gehören zu drei Serien, die 1987, 1995 und 1999 registriert worden waren. Ihre Magnituden (ML) sind schwach, vier Beben erreichen eine ML zwischen 3 und 4 und ein einziges die ML 4.3 (entspricht M_w 4.0). Die Herdtiefen liegen, nach neuen Erkenntnissen, im Mittel bei ca. 2 km. Die Herdflächenlösungen deuten auf fast reine (sinistrale) Blattverschiebungen entlang +/- NS orientierten Bruchflächen (siehe Abbildung 3.5-18).

Abbildung 3.5-25: Erdbeben-Epizenterkarte des westlichen Molassebeckens für den Zeitraum 1984-2003 mit Magnitude $M_w > 1$ (siehe [126]). Die lineare Anordnung der Epizentren westlich von Fribourg weist auf eine aktive N-S streichende sinistrale Blattverschiebung hin. Die Hypozentren dieser Beben liegen im Deckgebirge (siehe [22]).



Bemerkenswert ist, dass sich diese Häufung seismischer Aktivität mit bekannten NS-verlaufenden tektonischen Störungen am Ostrand der Fribourg-Struktur in Verbindung bringen lässt. Diese Korrelation in einem Gebiet mit generell diffus verteilter Seismizität ist ungewöhnlich und erklärt das Interesse, das die Fribourg-Zone in den letzten Jahren auf sich gezogen hat. Zusammen mit der Vuache-Störung (in der Nähe von Annecy in Frankreich) gehört die Fribourg-Zone zu den ganz wenigen Bruchzonen im Einzugsgebiet der PEGASOS-Studie, die möglicherweise die Kriterien für einen "active fault" erfüllen. Beachtet man ausschliesslich historische Erdbeben (makroseismische Daten) im Zeitraum zwischen ca. 1000 n.Chr. und 1975 (dem Beginn systematischer instrumenteller Beobachtungen) so manifestiert sich die FZ nicht als seismisch aktives Gebiet (siehe Abbildung 3.5-40). Daraus lässt sich den Schluss ziehen, dass es zumindest in den letzten ungefähr 1'000 Jahren keine zerstörerischen Erdbeben gab, die mit der Fribourg-Struktur in Zusammenhang werden müssten.

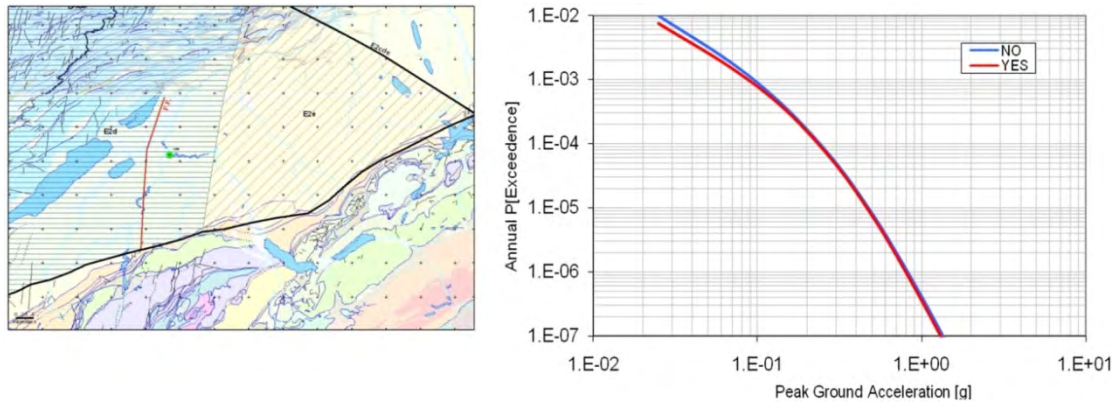
Bei der Diskussion der Einschätzung durch die PEGASOS-Experten, wird vorerst nicht unterschieden, ob es sich bei der Fribourg-Zone um eine einzelne Störung grösserer Ausdehnung oder um ein Störungssystem, d.h. eine Anordnung nicht unmittelbar zusammenhängender kleinerer Störungen handelt. Die im Folgenden verwendete Abkürzung FZ deckt beide Hypothesen ab.

3.5.3.6.2 Beurteilung der FZ durch die PEGASOS-Experten

Die vier Expertengruppen berücksichtigten die FZ in ihren Modellen auf unterschiedliche Weise. Die meisten Experten wählten ausschliesslich Flächenquellen als Bausteine für ihre Modelle und bekannten sich damit zur Vorstellung einer räumlich diffusen und zeitlich instationären Verteilung der Seismizität, auch im Gebiet südlich vom Standortbereich Mühleberg. Die Erdbebenherde innerhalb einer Flächenquelle sind an aktive Störungen ("active faults") gebunden, an denen Erdbeben aufgrund der aufgebauten tektonischen Spannungen ausgelöst werden können. Die Experten hatten also prinzipiell die Möglichkeit, ein tektonisches Element wie die FZ lediglich als Realisation einer aktiven Störung innerhalb einer Flächenquelle anzusehen oder sie konnten sie explizit als Linienquelle mit spezifischen und von der Hintergrund-Flächenquelle unterscheidbaren Eigenschaften modellieren. Die zweite Lösung wurde nur von einer der vier Expertengruppen gewählt.

Die Expertengruppe EG1a behandelte die FZ in einer Modellvariante als Linien- oder Störungsquelle (FF, siehe Abbildung 3.5-26) innerhalb der grossen alpinen Vorlandzone E2cde (Kombination der Zonen E2c, E2d und E2e). Diese Alternative hat eine Gewichtung von 0.35. In allen anderen Modellvarianten (die zusammen eine Gewichtung von 0.65 haben) liegt die nicht explizit ausgeschiedene FZ innerhalb einer Flächenquelle (z.B. E2d in der in Abbildung 3.5-20 dargestellten Modellvariante).

Abbildung 3.5-26: *Links*: Detail der Quellenzonierungsszenarien der Expertengruppe EG1a im Fall "PC troughs not reactivated"; FF ist die Fribourg-Störungsquelle
Rechts: Mittlere Gefährdung (mean hazard, PGA) im Standortbereich Mühleberg, alternativ mit und ohne explizite Berücksichtigung der Fribourg-Zone als Linienquelle ("yes" resp. "no").

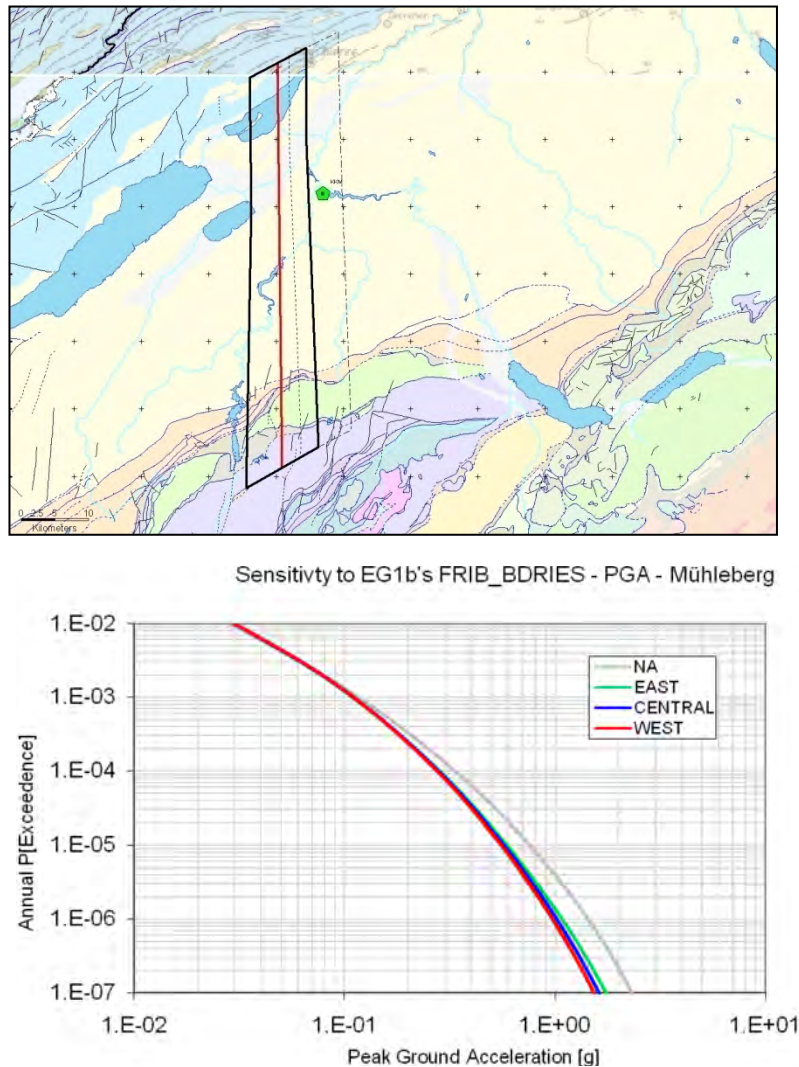


Interessant ist die Frage, wie sich die Alternativen auf die seismische Gefährdung im Standortbereich auswirken. Für die Sensitivitätsanalyse wird das Gesamt-Quellenmodell in Logic-Tree Äste mit und ohne explizite Berücksichtigung der FZ aufgeteilt. Eine getrennte Berechnung der seismischen Gefährdung auf der Basis der zwei alternativen Modellgruppen zeigt dann die Auswirkungen. Aufgrund der Resultate (siehe Abbildung 3.5-26 rechts) gibt es im kritischen Wahrscheinlichkeitsbereich 10^{-4} - 10^{-6} kaum erkennbare Unterschiede bei den vorausgesagten Beschleunigungen. Die mittlere Gefährdung ändert sich also in diesem Fall nicht, unabhängig davon, ob die FZ als separate Störungsquelle modelliert oder implizit in einer Flächenquelle enthalten ist.

Ein etwas anderes Vorgehen wählte die Expertengruppe EG1b. Auch diese Gruppe entschied sich für eine explizite Berücksichtigung der FZ, wählte dazu aber eine speziell ausgeschiedene, schmale NS-verlaufende Flächenquelle (AE07, siehe Abbildung 3.5-27). Die Geometrie dieser Quelle folgt dem Seismizitätsmuster, d.h. den aufgereihten Epizentren entsprechend der Abbildung 3.5-25. Damit wird die Spur einer vermuteten NS-orientierten sinistralen Blattverschiebung definiert (roter Strich in Abbildung 3.5-27), die aber – weil die Quelle als Flächenquelle behandelt wird – überall in der Quelle mit der gleichen Wahrscheinlichkeit auftreten kann.

Abbildung 3.5-27: *Oben:* Modellierung der Fribourg-Zone durch die Expertengruppe EG1b. Die schmale Flächenquelle AE07 ist an einer angenommenen Störung im Zentrum ausgerichtet. Für die Ostgrenze werden 3 alternative Positionen mit der Gewichtung 0.25, 0.5 und 0.25 angenommen. Die Lage des EKKM Standorts ist grün markiert.

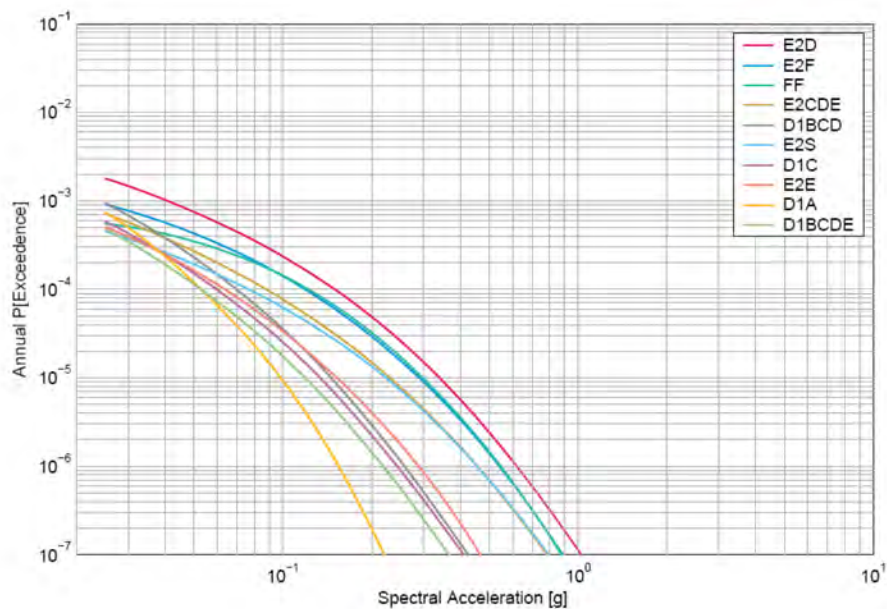
Unten: Mittlere Gefährdung (mean hazard, PGA) im Standortbereich Mühleberg, abhängig von der Lage der Ostgrenze der Quellenzone. Die graue Kurve (NA) steht für den Beitrag der "Logic-Tree"-Äste ohne explizite Modellierung der Fribourg-Zone.



Die Breite der Zone beträgt ca. 8.3 km; die Ostgrenze der Zone wird "weich" modelliert, um der Unsicherheit der Epizenter-Lagebestimmung Rechnung zu tragen. Erreicht wird dies durch eine Zentrumsposition der Ostgrenze, die mit 0.5 gewichtet wird und zwei Alternativpositionen mit je einer Gewichtung von 0.25. Die eine liegt 2.5 km westlich (d.h. gegen das Innere der Fribourg-Struktur verschoben) und die andere 5 km östlich der Zentrumsposition, also gegen aussen verschoben. Der Standortbereich liegt, gemäss Fig. 28 im PEGASOS "Elicitation Summary" ([127]) noch knapp ausserhalb der östlichen Extremlage der Zonengrenze. Eine genaue Positionierung anhand der Quellenkoordinaten bestätigt dies allerdings nicht. Wie Abbildung 3.5-27 zeigt,

schliesst die östliche Extremlage den EKKM-Standort mit ein. Sensitivitätsrechnungen zeigen, dass die Positionierung der Ostgrenze der FZ nur eine sehr untergeordnete Rolle spielt (Abbildung 3.5-27 unten). Dies gilt selbst im Extremfall, in dem der EKKM Standort ins Innere der Flächenquelle zu liegen kommt.

Abbildung 3.5-28: Die 10 wichtigsten Beiträge von Einzelquellen zum Mittelwert der Gefährdung im Standortbereich Mühleberg gemäss dem Quellenmodell der Expertengruppe EG1a. (Horizontalkomponente, Oberfläche, Fels, PGA). Die Störungsquelle FF (Fribourg Fault) liefert keinen dominanten Beitrag



Quelle: SwissNuclear

Unabhängig davon, ob die FZ als "active fault" eingestuft wurde oder nicht und unabhängig von der Art und Weise, wie sie in den Quellenmodellen der vier Expertengruppen berücksichtigt wurde, hatte sie keinen dominierenden Einfluss auf die seismische Gefährdung im Standortbereich. Diese Aussage gilt für die Expertenbeurteilung auf Basis des Kenntnisstandes von 2003. Seither sind neue Erkenntnisse über die FZ hinzugekommen und die Frage stellt sich, ob und wie diese neuen Erkenntnisse die o.g. Einschätzung durch die Experten verändern würden.

3.5.3.7 Neue Erkenntnisse zur FZ nach PEGASOS

3.5.3.7.1 Herdtiefenverteilung und neues strukturgeologisches Konzept

Es sind vor allem zwei Erkenntnisse, die das Bild der FZ seit 2003 modifiziert haben: eine neue Herdtiefenverteilung und, mittelbar damit zusammenhängend, eine neues konzeptionelles Modell der Tektonik und der daraus resultierenden Strukturen im Molassebecken.

Eine Neuinterpretation der Herdtiefen der Fribourg-Schwärme (siehe Abbildung 3.5-25) mit einem neuen methodischen Ansatz durch den Schweizerischen Erdbebendienst (SED) ergab tiefere Herde als früher angenommen. Während man zur Zeit der PEGASOS Quellencharakterisierung noch davon ausging, dass der Schwerpunkt der Herdtiefenverteilung bei ca. 7 km liegt, ergab die Neuinterpretation eine mittlere Tiefe von nur ca. 2 km. Damit liegen die Herde eindeutig im Bereich der tertiären und mesozoischen Sedimente, die in diesem Gebiet eine Mächtigkeit von ca. 3.5 km erreichen. Die Verschiebung der Herdtiefen war mit ein Anlass, auch das konzeptionelle, strukturgeologische Modell zu überdenken.

Die aktuellen Vorstellungen zur Tektonik und Struktur des westlichen Molassebeckens (siehe [68]) sind im Kap. 3.5.1.2 beschrieben. Einige Schlussfolgerungen aus diesem neuen Modell sind für die Abschätzung des seismogenen Potentials der FZ von Bedeutung. Wenn die Störungsflächen auf die Sedimente beschränkt bleiben und wenn die FZ, d.h. der seismisch aktive Teil der Fribourg-Struktur (siehe Abbildung 3.5-25) eine Abfolge relativ kleinräumiger, nicht direkt zusammenhängender, NNE-SSW streichender Störungen in "en-échelon" Anordnung ist, so ergeben sich daraus kleinere, maximal denkbare Magnituden im Bereich der FZ. Zwischen den Dimensionen der Bruchfläche (die maximal die Grösse der Störungsfläche erreicht) und der Magnitude gibt es einen empirisch nachgewiesenen Zusammenhang (siehe z.B. [65] und [69]). Deshalb können für die grössten denkbaren Störungsflächen die maximalen Magnituden eines Erdbebens an diesen Störungen vertrauenswürdig abgeschätzt werden¹.

Von dieser Methode machten Kastrup et al [22] Gebrauch. Basierend auf einer Interpretation reflexionsseismischer Daten von Berger & Gundlach aus 1990 (BuG1990), legten sie eine einzige, bis zu 30 km lange, NS-verlaufende Störung zugrunde und kamen zum Schluss, dass unter diesen Voraussetzungen ein Erdbeben mit Magnitude (M_w) 6.0 auf der FZ nicht auszuschliessen wäre. Gleichzeitig wiesen sie aber darauf hin, dass ein direkter Zusammenhang der Erdbeben des eigentlichen Fribourg-Schwarms mit den weiter nördlich gelegenen Epizentren (siehe Abbildung 3.5-25) nicht erwiesen sei.

¹ Um das stärkstmögliche Erdbeben zu bestimmen, das die FZ auslösen kann, muss man auf theoretische Beziehungen zurückgreifen, die wichtige Herdparameter miteinander in Verbindung setzen (siehe z.B. [22] und [69]) haben eine solche Beziehung bereits 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") ist selber wiederum Magnitudenabhängig und kann aus den Regressionen von [65] 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:

$$M_w = 2.256 \log W + 0.752 \log (\Delta\sigma / C) - 7.376 \quad (3)$$

Die Neuinterpretation der reflexionsseismischen Linien der Erdölindustrie hat inzwischen gezeigt, dass die bis ca. 6 km südwestlich Mühleberg kartierbare, der Fribourg-Struktur zugehörige Störung und die ca. 4 km nördlich Mühleberg einsetzende westvergente Überschiebung ("Hermrigen-Struktur") nicht zusammenhängen. Die Vorstellung einer 30 km langen durchgehenden Störung ist damit nicht länger haltbar (siehe Kap. 3.5.3.7.2).

Demnach muss man sich bei der Schätzung des stärksten Bebens, das die FZ auslösen kann, nach der Bruchtiefe, also bei einer Blattverschiebung nach der Bruchbreite, richten. Die M_w -Magnitude für ein strike-slip Erdbeben erreicht nach [65], bei einer der Sedimentmächtigkeit entsprechenden Bruchbreite von 3.3 km, einen Wert von ca. 4.8. Dies ist weit weniger als die $M_{\max}$ -Werte die die PEGASOS Experten für die FZ eingesetzt haben und liegt unter der Grenze dessen, was im Allgemeinen als "ingenieurseismologisch relevantes" Beben¹ angesehen wird. Die Tiefenbeschränkung für die Bruchflächen in der FZ führt also mit grosser Wahrscheinlichkeit zu einer Erniedrigung der Maximalmagnituden ($M_{\max}$) der FZ-Quellen und damit tendenziell zu einer Reduktion der Gefährdung am Standort.

Hebt man die Tiefenbeschränkung auf, sind natürlich im Standortgebiet, wie überall sonst, sehr viel grössere Bruchflächen mit einem höheren Magnitudenpotential denkbar. Die Stärke dieser Erdbeben werden von den PEGASOS $M_{\max}$ -Verteilungen der Mühleberg "host"-Zone oder den $M_{\max}$ -Verteilungen speziell ausgeschiedener FZ-Quellenzonen begrenzt. Diese Verteilungen erreichen Maximalwerte von $M_w = 8.0$ (mit einer Gewichtung von unter 1%) und Medianwerte von 6.1. Erdbebenszenarien mit diesen Magnituden sind - ob sie nun mit der FZ im Zusammenhang stehen oder nicht - mit ihren empirisch modellierten Standortbeschleunigungen bereits in den Resultaten der Standortgefährdung enthalten (vgl. Kap. 3.5.3.2.2 und Kap. 3.5.3.2.3).

Am ersten Workshop des PRP Projektes (siehe Kap. 3.5.3.4) in September 2008 wurden den PEGASOS Quellencharakterisierungs-Expertengruppen die neuen Erkenntnisse zur Fribourg-Zone vorgestellt. Die Experten wurden anschliessend, in Übereinstimmung mit den SSHAC-Regeln, angefragt, ob sie aufgrund der neuen Erkenntnisse ihre Einschätzung der FZ überdenken und gegebenenfalls die von der FZ tangierten Charakteristika ihrer Quellenmodelle revidieren wollten. Nach eingehender Diskussion wurde die Frage verneint: Keiner der Experten verlangte eine Neuevaluation der FZ oder weitergehende Abklärungen. Die Quellzone (Quelle "AE07" im EG1b-Modell), die am stärksten von den neuen Lokalisierungen betroffen ist, wurde dennoch analysiert. Nach Entfernung der Vor- und Nachstösse ergibt sich eine Verschiebung der mittleren Tiefe in dieser Quelle von 11.1 km (bei einer Standardabweichung von 6.1 km) im PEGASOS-Modell auf neu 10.5 km (sigma 6.7 km). In den anderen Expertengruppen-Modellen, die grössere, mehr regionale Quellen beinhalten, ist diese Verschiebung noch kleiner. Die Einschätzung der PRP-Experten, dass die Neubestimmung der Fribourger Herdtiefen nur einen sehr geringen Effekt haben würde, wurde somit bestätigt.

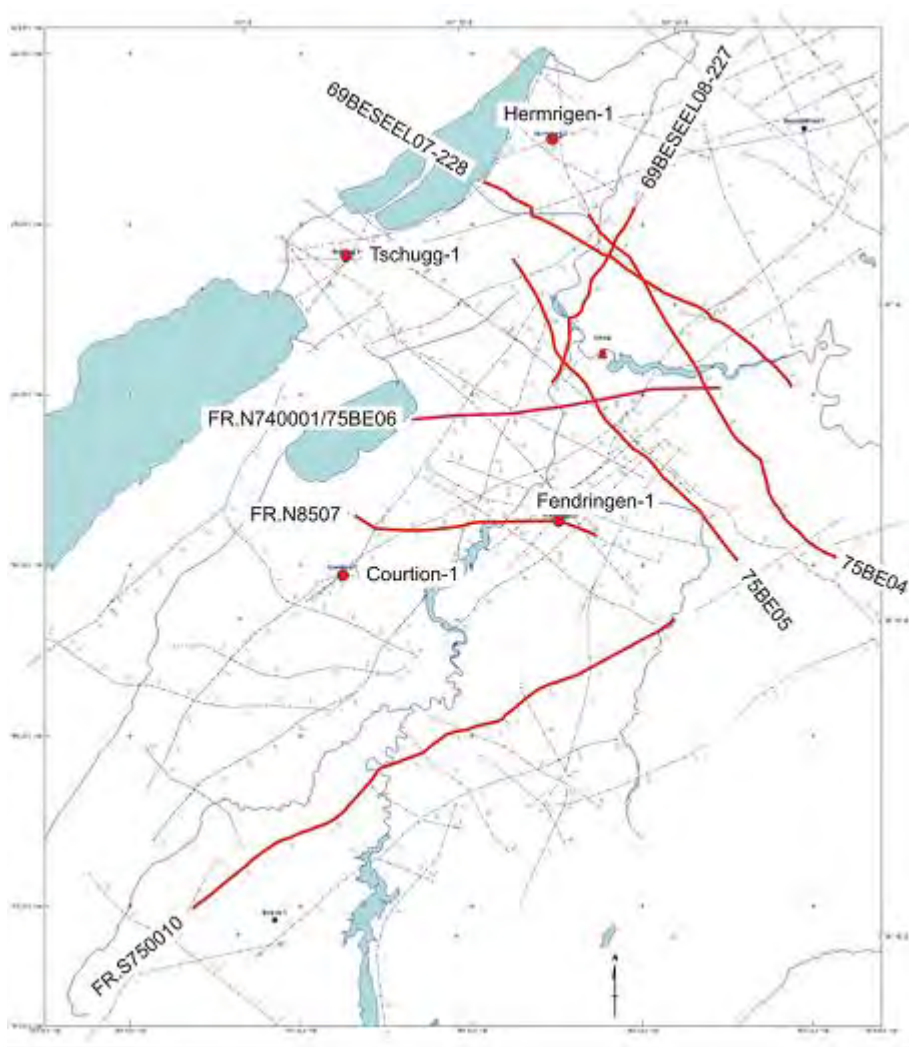
¹ In den USA wird als unterer Grenzwert für ein Erdbeben mit Schadenspotential ("of engineering relevance") eine Magnitude (M_w) von 5.0 angenommen. Dieser Wert wurde auch in der PEGASOS Gefährdungsstudie verwendet. Im PEGASOS Refinement Projekt (PRP) ist geplant, zu Vergleichszwecken einen Satz Gefährdungsergebnisse mit einer "lower bound magnitude" von 4.5 berechnen zu lassen.

3.5.3.7.2 Neuinterpretation reflexionsseismischer Daten

Da die FZ an der Oberfläche nicht kartierbar ist, war ihr Verlauf und ihre Ausdehnung lange Zeit nicht genau bekannt. Für eine Lokalisierung können prinzipiell die Epizentren der Fribourg-Schwärme selbst oder das Netz reflexionsseismischer Linien der Explorationsindustrie herangezogen werden. Die Abgrenzung anhand der Epizentren ist wegen des Lokalisierungsfehlers weniger präzise als die Kartierung auf der Basis reflexionsseismischer Daten. Zur Zeit des PEGASOS Projektes (2001) waren zwei, auf reflexionsseismischen Daten basierende, Interpretationen aus den westlichen Molassebecken bekannt: eine Interpretation der NAGRA und die oben erwähnte Interpretation BuG1990. Beide Interpretationen werden in [22] zitiert. Gemäss BuG1990 verläuft der Ostrand der FZ ca. 5.5 km westlich des Standortgebietes (siehe Abbildung 3.5-33). Eine Bewertung der Interpretationen konnte zum damaligen Zeitpunkt nicht vorgenommen werden, da weder die Grundlagendaten noch die Interpretationsdokumente zugänglich waren.

Zur Ergänzung der Datenbasis für die Standortbewertung hat die Gesuchstellerin daraufhin die Rechte an 444 km bisher unveröffentlichten seismischen Daten der Explorationsindustrie erworben. Dieser Datensatz umfasst das gesamte existierende reflexionsseismische Liniennetz in der Umgebung des EKKM-Standortes bzw. der FZ (siehe Abbildung 3.5-29). Die Linien sind zwar älteren Datums (1969-1985), die Abbildungsqualität ist jedoch für eine detaillierte Strukturanalyse ausreichend.

Abbildung 3.5-29: Lageplan der reflexionsseismischen Linien im untersuchten Gebiet. Sämtliche Linien wurden in die in diesem Abschnitt beschriebene Interpretationsstudie mit einbezogen. Rot markiert sind die im Abschnitt gezeigte Beispiele.



Die vollständige und in sich geschlossene Neuinterpretation der Daten [122] erlaubt erstmals die präzise Lokalisierung der NS-streichenden Störungssysteme, die möglicherweise mit der FZ in Verbindung stehen oder Ausdruck dieser Zone sind, auch in der unmittelbaren Umgebung des Standorts. Die Ergebnisse dieser neuen Interpretationsstudie werden im Folgenden behandelt. Dabei ist zu beachten, dass die Reflexionsseismik nur im Mesozoikum präzise ausgewertet werden kann; sowohl im Sockel wie im Tertiär gibt es Störungen (siehe z.B. [64]), aber die ältere Reflexionsseismik bildet sie kaum ab. Zur Abklärung der Längserstreckung der Fribourg Zone ist der Ansatz dieser Neuinterpretation ausreichend.

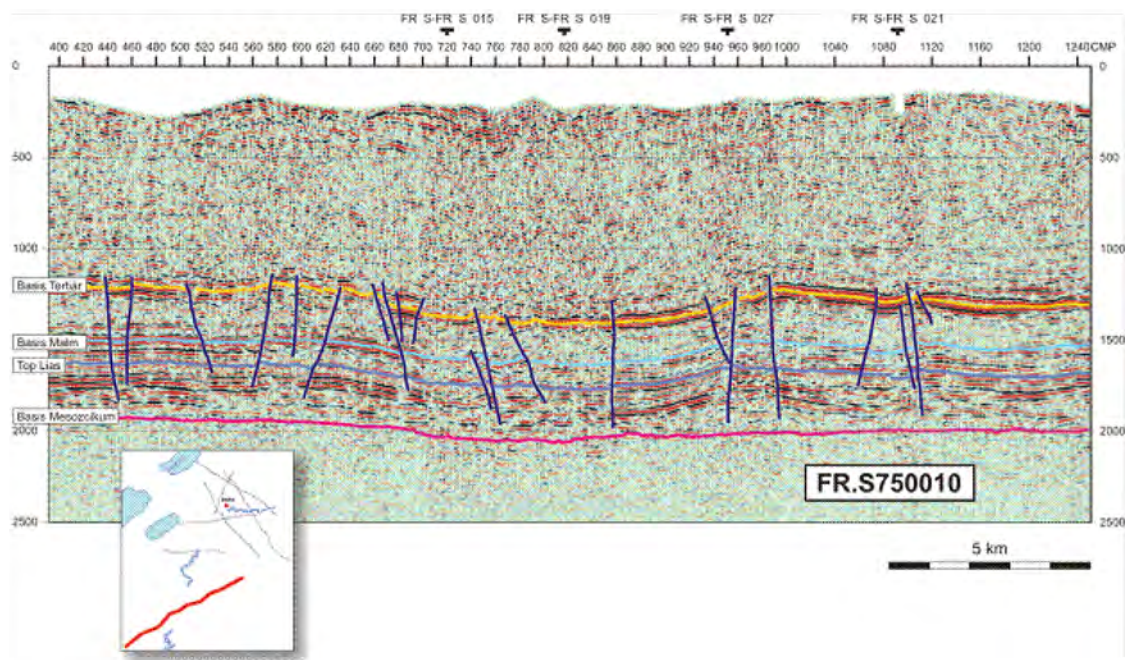
Für die neue Interpretationsstudie wurden vier seismische Markerhorizonte ausgewählt und kartiert:

- Basis Tertiär (ocker)
- Basis Malm (hellblau)
- Top Lias (violett)
- Basis Mesozoikums (rot).

Diese Horizonte sind in den gezeigten Sektionen (Abbildung 3.5-30 und Abbildung 3.5-37) farbig markiert. Zu beachten ist, dass auf der Vertikalachse nicht die Tiefe sondern die Reflexionslaufzeit "two-way-traveltime" (TWT) dargestellt ist. Nach Abschluss der Interpretation wurden Zeitkarten mit speziellen, horizontbezogenen Intervall-Geschwindigkeitsmodellen auf Tiefe umgerechnet. Dabei wird eine Genauigkeit in der Grössenordnung von +/- 50 m erreicht.

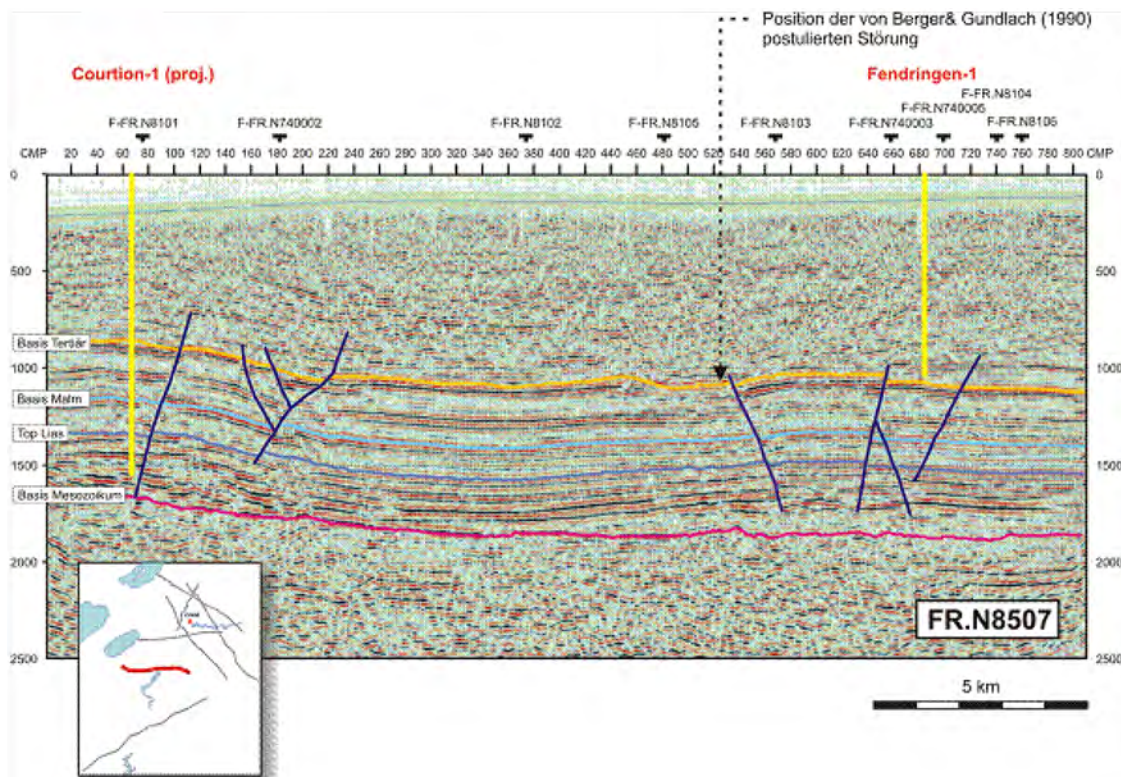
Die Fribourg-Struktur manifestiert sich auf das Niveau der mesozoischen Sedimentdecke generell als N-S streichende Synklinale, welche östlich und westlich durch unterschiedlich ausgeprägte ebenfalls meist N-S orientierte Störungszonen begleitet wird. Sie ist im Wesentlichen als Ausdruck von Evaporit- und Abschertektonik zu verstehen. Besonders auf der Ostseite wird die Synklinale durch eine antiklinal-ähnliche Struktur begleitet, welche durch die Aufwölbung von Evaporitvorkommen erzeugt wurde. Die seitlich begrenzenden Störungszonen sind diesen kissenartigen Aufwölbungen aufgesetzt und enden generell auf dem Niveau der mittleren Trias.

Abbildung 3.5-30: Die Fribourg-Struktur auf einer repräsentativen seismischen Linie ca. 5 km SO der Stadt Fribourg. Die Sektion zeigt die kartierten, stratigraphischen Markerhorizonte Basis Tertiär, Basis Malm, Top Lias und Basis Mesozoikum. Auf der Ostseite der Fribourg-Synklinale ist die mesozoische Schichtserie durch ein Evaporit-Kissen in der mittleren Trias aufgewölbt. (Quelle: [122])



Im Bereich der Stadt Fribourg ist die Fribourg-Zone durch die östlich begrenzende "Fendringen Struktur" geprägt (siehe auch Abbildung 3.5-31). Sie wird im Westen durch eine ostvergente und im Osten durch eine westvergente Störung begrenzt. Diese strukturelle Ausbildung wird als (sinistrale) Transpressionszone interpretiert. Die Anlage der Brüche ist vergleichbar mit einer "flower-structure", die aber auf die mesozoischen Sedimente beschränkt bleibt. "Flower structures" werden aus Störungen mit sowohl vertikalen wie horizontalen Verschiebungskomponenten gebildet. Unmittelbar südlich der Sektion FR.N8507 (Abbildung 3.5-31) ist die sichtbare vertikale Verstellung entlang der westlichen Begrenzung am grössten (siehe auch Abbildung 3.5-39).

Abbildung 3.5-31: Seismische Sektion nördlich der Stadt Fribourg, zwischen den Bohrungen Fendringen-1 und Courtion-1 (entspricht dem "Profil B-B" der Interpretation BuG1990). (Quelle: [122])



Nördlich der Stadt Fribourg (siehe Abbildung 3.5-31) kommt die westliche Begrenzung der Fendringen Struktur etwas deutlicher als mögliche, kompressiv reaktivierte Abschiebung zur Geltung. Während besonders auf dem Niveau der Tertiärbasis der ursprüngliche Abschiebungscharakter noch vorherrscht, zeichnet sich auf den tieferen Markerhorizonten der Aufschiebungscharakter besser ab, der allerdings auf allen kartierten seismischen Niveaus gegen Norden deutlich abnimmt (siehe Abbildung 3.5-39, Isohypsenkarte Basis Tertiär).

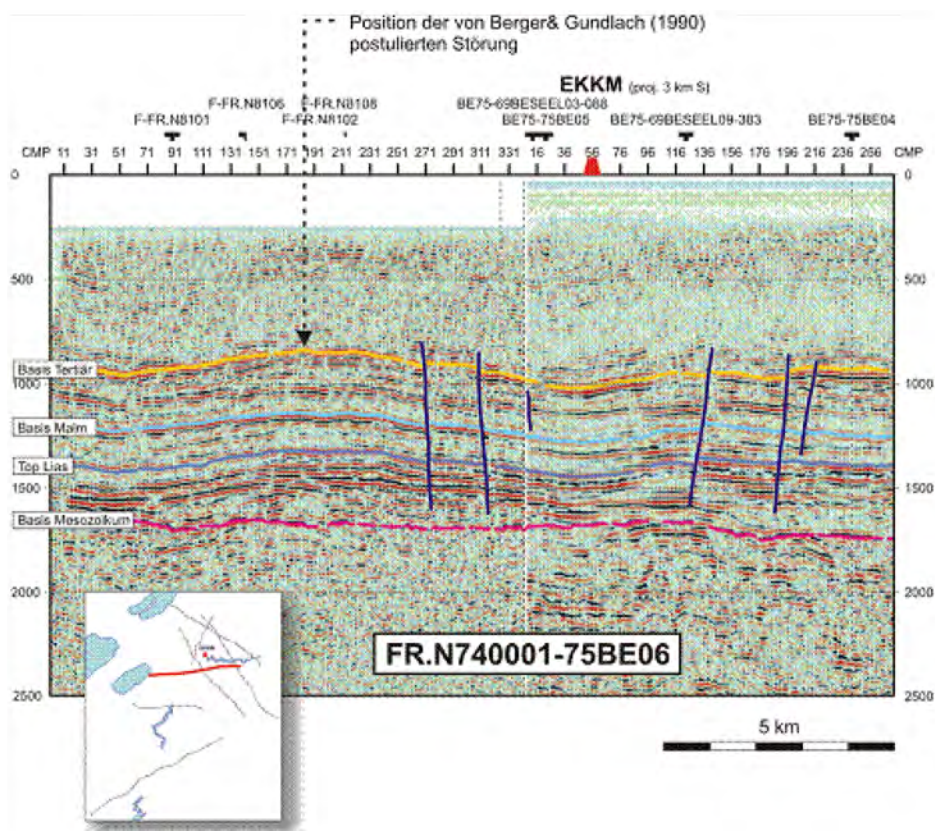
In W-O Profil unmittelbar südlich des EKKM Standortes (siehe Abbildung 3.5-32) sind in der nördlichen Verlängerung Brüche, die als Ostbegrenzung der FZ in Frage kämen, nicht mehr zu beobachten. Nach wie vor ausgebildet ist eine kissenartige Aufwölbung der Trias-Evaporite, allerdings gegen Westen versetzt. Sie scheint einer Verlängerung der ☐Hermrigen Struktur☐ im

Norden zu entsprechen. Die gemäss BuG1990 postulierte Störung ca. 5.5 km westlich des Standortes ist nicht sichtbar. Ihre Existenz kann in diesem Abschnitt ausgeschlossen werden. (vgl. Abbildung 3.5-39).

Die weiteren Störungen südlich des Standorts EKKM (siehe Abbildung 3.5-32) können nicht eindeutig mit Störungen auf benachbarten seismischen Linien korreliert werden und besitzen dementsprechend eine geringe laterale Ausdehnung. In den Strukturkarten (siehe z.B. Abbildung 3.5-39 und Abbildung 3.5-40) sind sie deshalb nur mit Bruchsymbolen senkrecht zum Linienverlauf markiert. Diese Brüche haben mehrheitlich Abschiebungscharakter und könnten entsprechend einen N-S bis (S)SW-(N)NO Verlauf oder eine (W)SW-(O)NO Orientierung besitzen. Letztere wäre der oligozänen Vorlandtektonik im Molassebecken zuzuordnen.

Südlich der Linie FR.S750010 (siehe Abbildung 3.5-30) teilt sich die Ostbegrenzung der FZ "en-échelon"-artig in weitere, einzelne Bruchsegmente mit Aufschiebungscharakter auf, wobei sich auch die Kulminationen der Evaporitkissen seitlich verlagern und einander ablösen.

Abbildung 3.5-32: O-W verlaufende (zusammengesetzte) seismische Sektion ca. 3 km südlich des Standortes EKKM. Die gemäss BuG1990 eingezeichnete "regionale" Störung ca. 5.5 km westlich des Standorts ist auf dieser Sektion nicht mehr zu sehen (vgl. Abbildung 3.5-33). Es kann ausgeschlossen werden, dass zwischen der ostvergenten Überschiebung im Norden (Abbildung 3.5-34) und der kompressiv reaktivierten Abschiebung im Süden (Abbildung 3.5-31) eine Verbindung besteht, u.a. weil die Natur und der Verschiebungssinn der Störungen gänzlich verschieden sind. Die eingezeichneten lokalen Störungen im Osten und Westen des Standortes sind unbedeutend. Sie können nicht über mehrere Linien korreliert werden und erscheinen deshalb in den Karten der seismischen Horizonte nur als Symbole (siehe Abbildung 3.5-39). Unter dem Standort sind keine Störungen oder andere strukturelle Komplikationen erkennbar. (Quelle: [122])



Ebenfalls dieser oben genannten Zerrtektonik sind möglicherweise die Strukturen östlich und westlich des Standortes EKKM zuzuordnen (siehe Abbildung 3.5-40), wobei die W-O orientierte Störung westlich davon als Querstörung der Hermrigen-Struktur eine Reaktivierung während der kompressiven Jura Falten- und Überschiebungsphase erfahren haben könnte.

Nordwestlich bzw. nördlich des EKKM Standortes (siehe Abbildung 3.5-36 und Abbildung 3.5-34) entwickelt sich die "Hermrigen-Struktur", welche zunächst ebenfalls eine N-S-Orientierung mit einer westvergenten Aufschiebung aufweist. Gegen Norden biegt die Struktur in eine SW-NO Richtung ab, wo die Hermrigen Antiklinalstruktur am stärksten ausgebildet ist (siehe Abbildung 3.5-39). Es handelt sich hier um frontale, resp. laterale Rampen (frontal NO-SW und lateral N-S orientiert), die mit der Fribourg-Struktur im Süden nichts zu tun haben.

Abbildung 3.5-33: Die Interpretation reflexionsseismischer Daten aus dem westlichen Molassebecken von BuG1990. Das Bild unten ist ein Ausschnitt aus dem Tiefenlinienplan auf Niveau Top Jura (ca. Basis Tertiär). Es zeigt die Kreuzungspunkte seismischer Sektionen mit der gemäss BuG1990 postulierten Störung NS-verlaufenden Störung ca. 6 km westlich von EKKM. Die Lage der Störung auf den seismischen Sektionen wird jeweils durch eine CMP (Common-Mid-Point) Nummer angegeben.

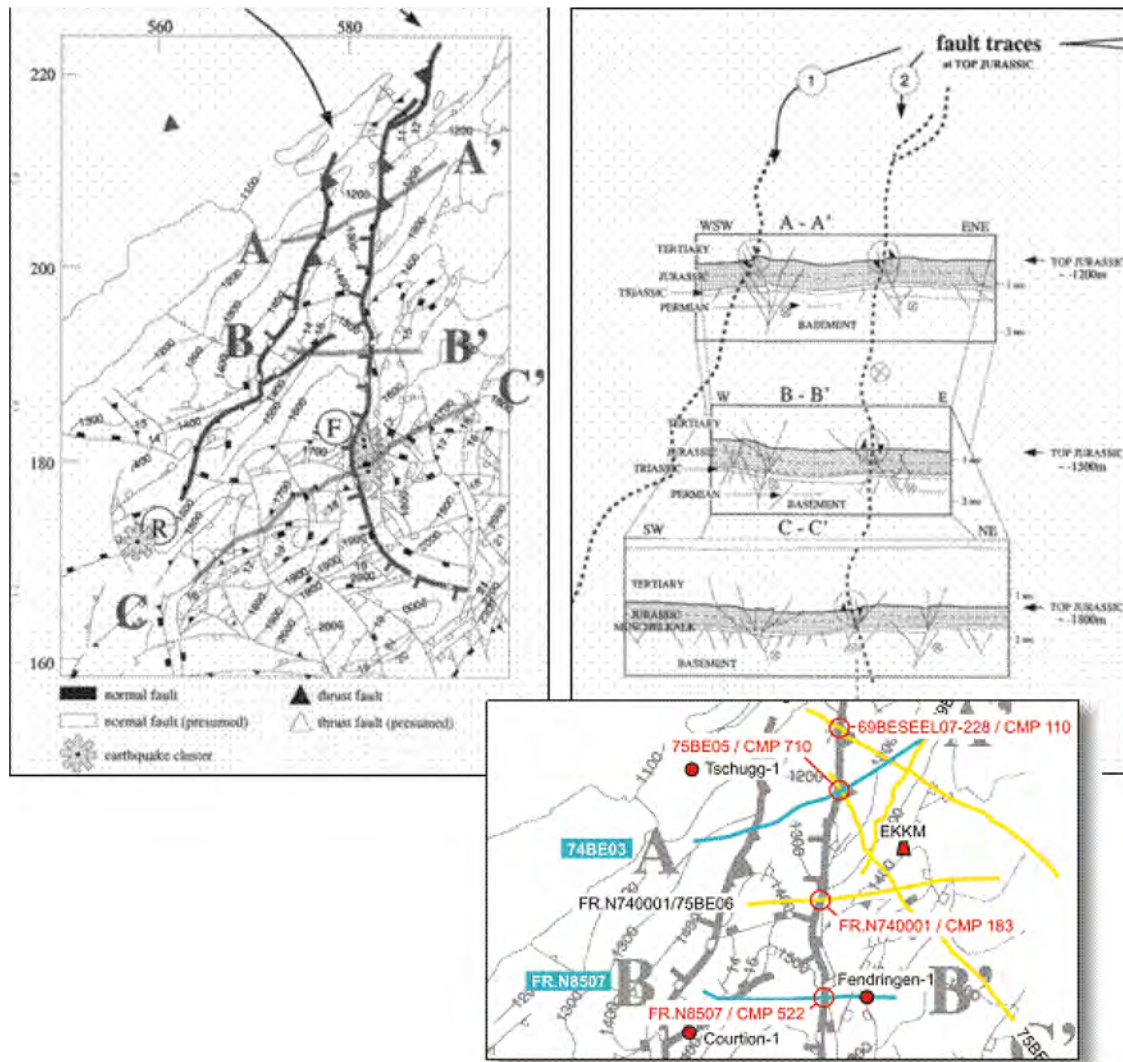


Abbildung 3.5-34: Sektion ca. 5 km nordöstlich des Standorts EKKM. Die "regionale" Störung gemäss BuG1990 ist hier als westvergente Aufschiebung ausgebildet.
(Quelle: [122])

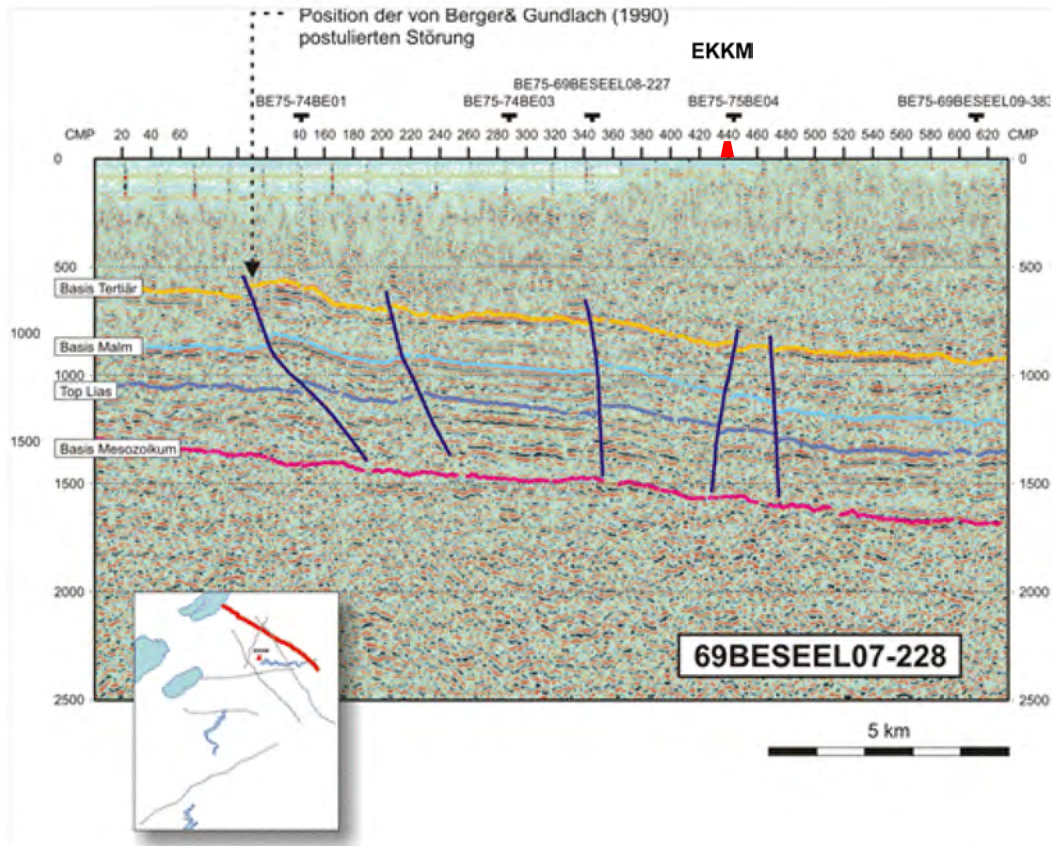


Abbildung 3.5-35: NW-SO verlaufende seismische Sektion ca. 5 km nordöstlich des Standorts EKKM (Quelle: [122])

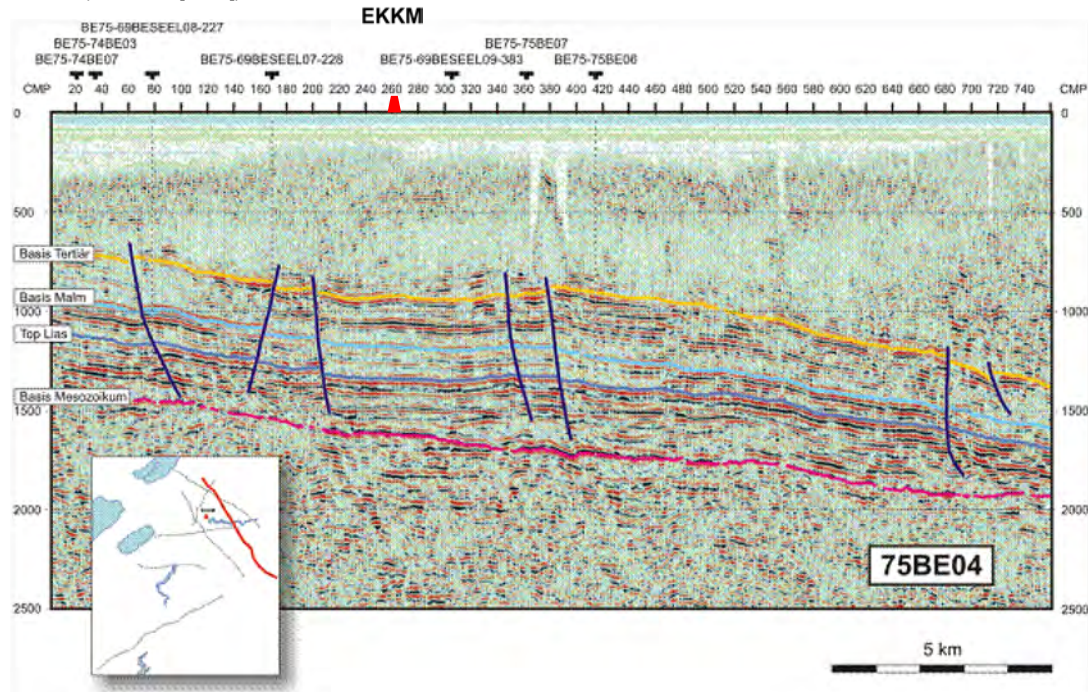


Abbildung 3.5-36: SW-NO verlaufende seismische Sektion ca. 2 km südwestlich des Standorts EKKM (Quelle: [122])

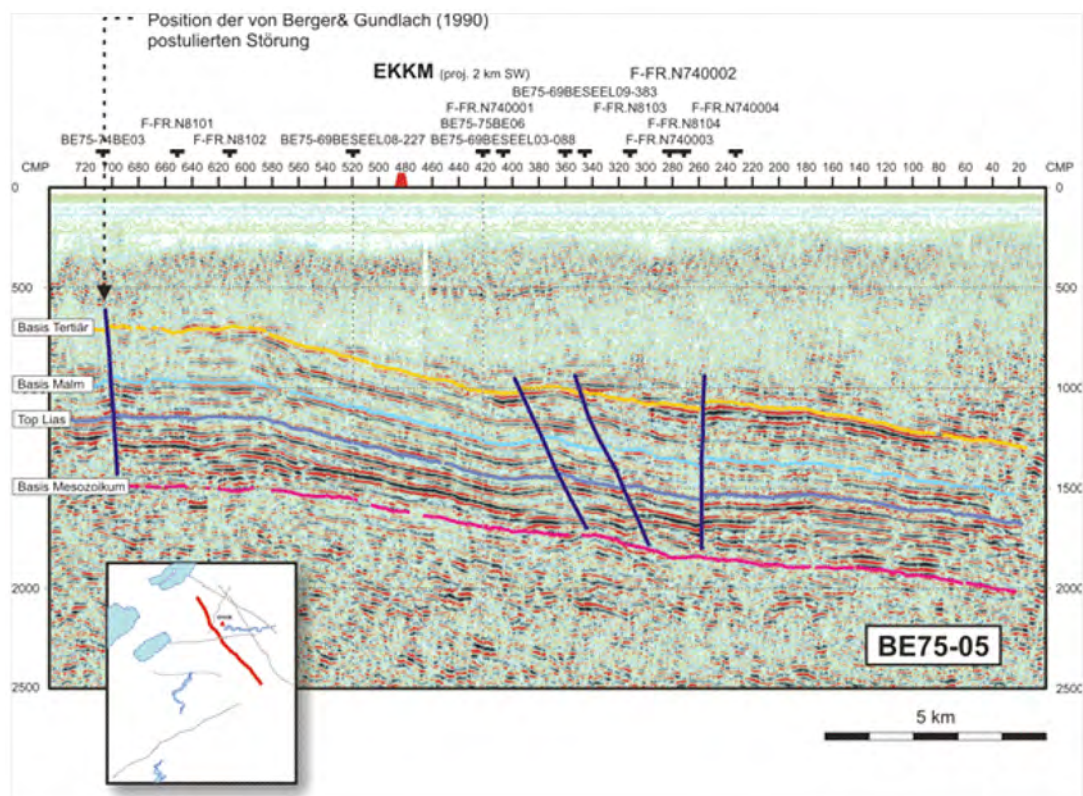
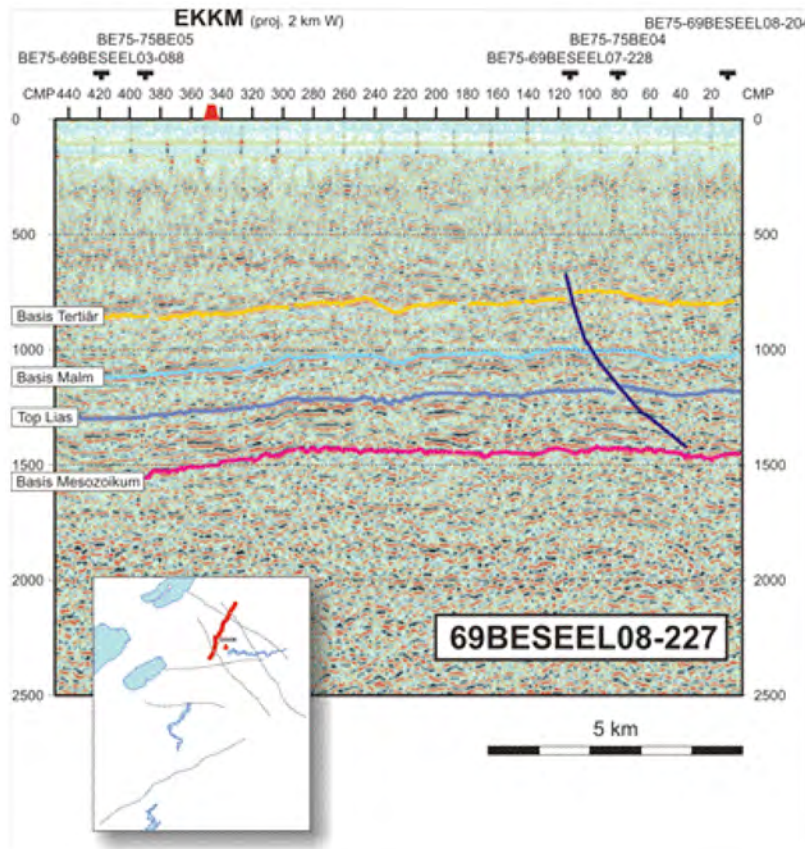
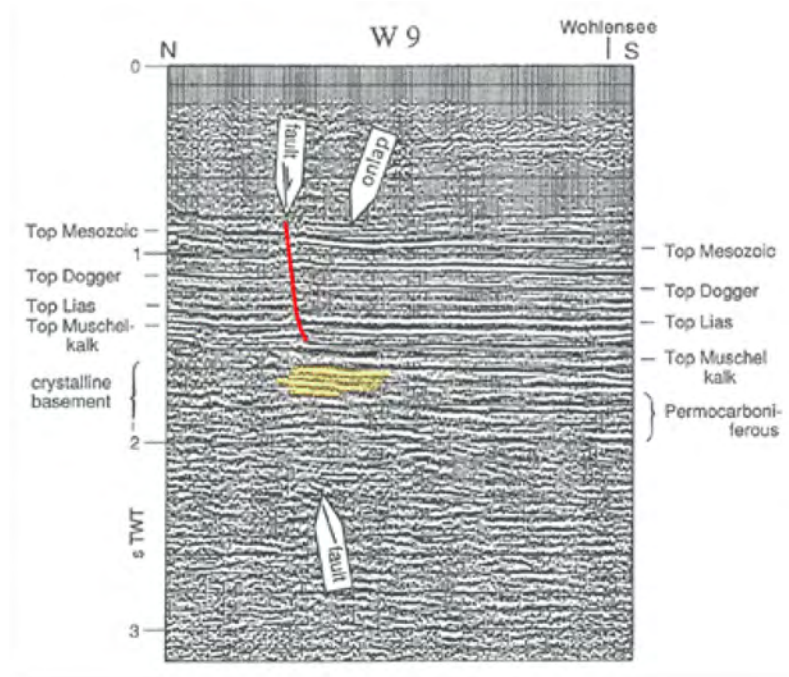


Abbildung 3.5-37: NW-SO verlaufende seismische Sektion ca 2 km süd-westlich des Standorts EKKM (Quelle: [122])



Innerhalb des untersuchten Gebietes gibt es keine Hinweise auf Störungen, die bis ins Grundgebirge reichen (siehe auch Abbildung 3.5-38). Bei dieser allgemein fehlenden direkten Verbindung der steilstehenden Störungen mit prämesozoischen Strukturelementen scheinen die N-S streichenden, sinistral-transpressiven Bewegungen im sedimentären Deckgebirge von den Evaporiten der mittleren Trias absorbiert worden zu sein und sind in diesem Sinne von der Grundgebirgstektonik abgekoppelt.

Abbildung 3.5-38: Interpretation eines Ausschnitts der Linie 75BE04 (W9) (aus [121], Seite 70, Fig. 8-11). Die Abschiebung begrenzt gemäss den Autoren einen Permokarbon Trog ("halfgraben") im Grundgebirge¹. Eine *direkte* Fortsetzung der (rot eingezeichneten) Störung bis in den Sockel scheint jedoch zweifelhaft. Dazu müsste sie die gelb markierten Reflexionen im Grundgebirge durchschlagen, was ausgeschlossen werden kann.



¹ Zitat aus [121]: "The Mesozoic succession is cut by a marked fault downthrowing the southern block within the northern half of line W9. Reflections from beneath the Triassic strata in the southern block at 1.8-2 sTWT are slightly oblique to the triassic strata and pinch out in the southern half of line W9. This is interpreted to represent a halfgraben containing Permo-Carboniferous strata bordered by the normal fault mentioned before. It is interesting to note that above this normal fault the upper-Jurassic sediments are overlain unconformably by younger sediments. The onlap is particularly well visible following the high-frequency reflections on the southern block. These reflections disappear southward into the "noisy" transparent looking Tertiary strata; most probably they represent USM strata. It thus seems that this particular fault of Permo-Carboniferous age was reactivated during the Tertiary (Oligocene)."

Abbildung 3.5-39: Isohypsenkarte Basis Tertiär. Neben den Tiefenlinien zeigt die Karte das Störungsmuster an der Grenze Mesozoikum / Tertiär. Deutlich zu erkennen ist, dass die grabenartige Fribourg-Struktur nicht wesentlich weiter nach Norden reicht als bis zu einer Linie zwischen dem östlichen Ende des Murtensees und Laupen. Die lokalen Störungen, die auf der Linie FR.N-74001 – BE7506 (Abbildung 3.5-32) im Süden vom Standortgebiet auszumachen sind, können nicht über mehrere Linien korreliert werden und sind auf der Karte durch Symbole gekennzeichnet.

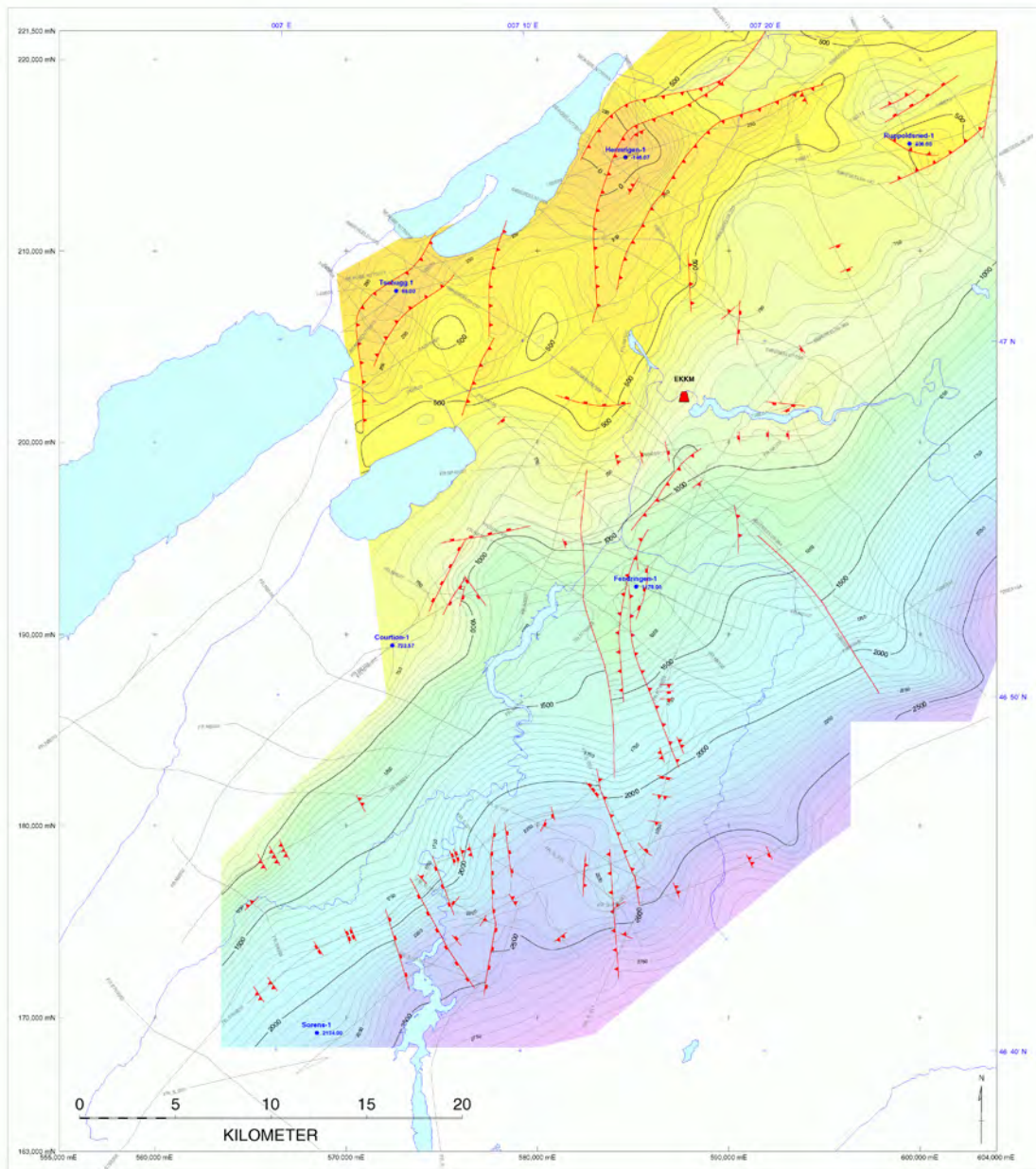
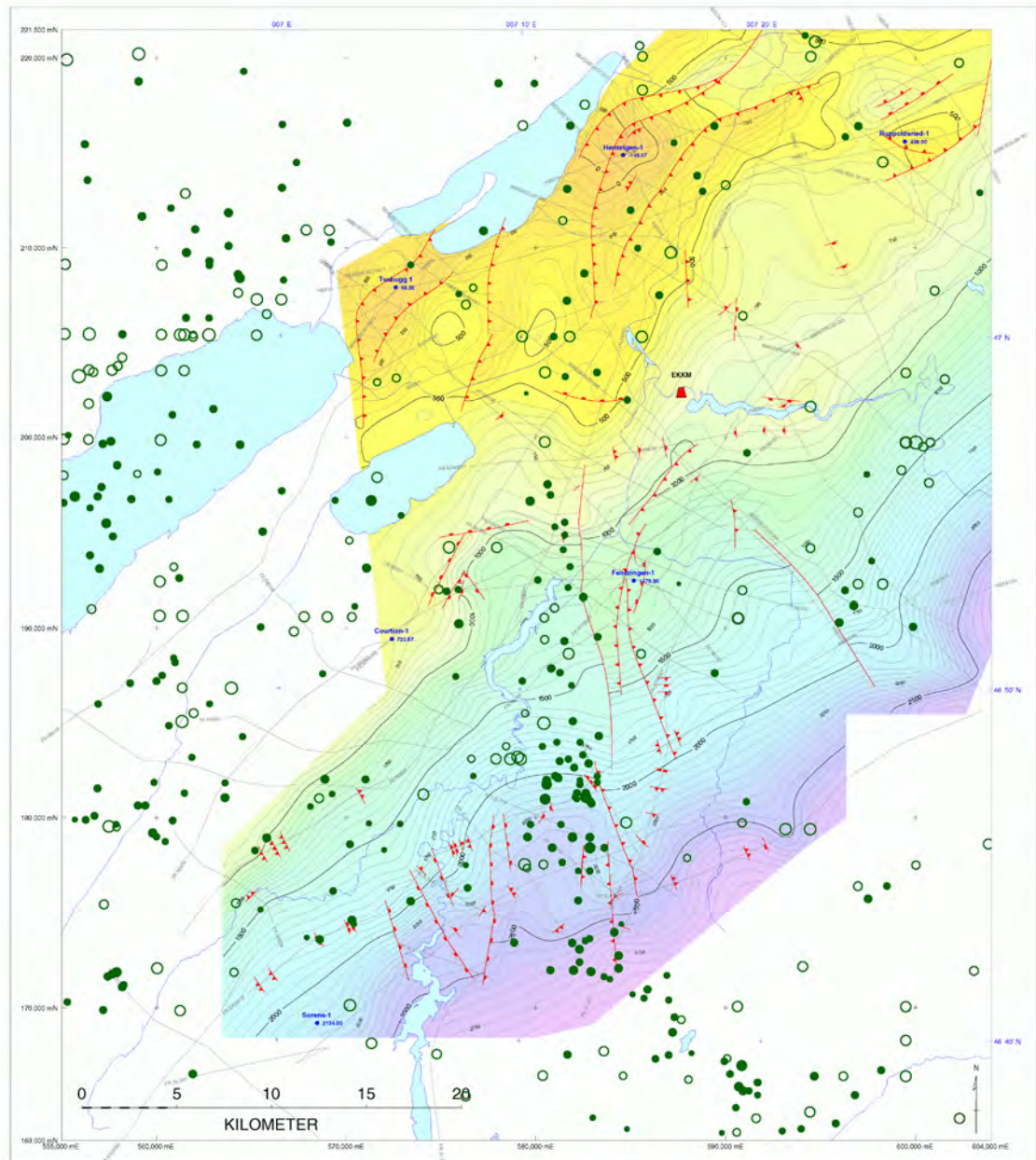


Abbildung 3.5-40: Seismische Aktivität im Bereich der Fribourg-Zone. Epizentren des Erdbebenkatalogs sind durch Kreise dargestellt, deren Fläche der Magnitude M_w entspricht. Der Katalog schliesst instrumentelle (geschlossene Kreise) und historische (offene Kreise) Daten ein.



3.5.3.7.3 Auswirkungen der FZ auf das Gefährdungspotential

Trotz der Sonderstellung der Fribourg-Zone als eines der wenigen möglicherweise seismisch aktiven, mit Explorationsseismik oder anderen Methoden abbildbaren Störungssysteme der Schweiz, bleibt ihr Einfluss auf die seismische Gefährdung am Standort des EKKM bescheiden. Dies entspricht der Einschätzung der PEGASOS Expertengruppen, von denen nur zwei die FZ explizit als Störungsquelle oder speziell geformte Flächenquelle modelliert haben und als Alternativen in ihre Quellenmodelle mit aufnehmen. Mit Sensitivitätsrechnungen lässt sich zeigen,

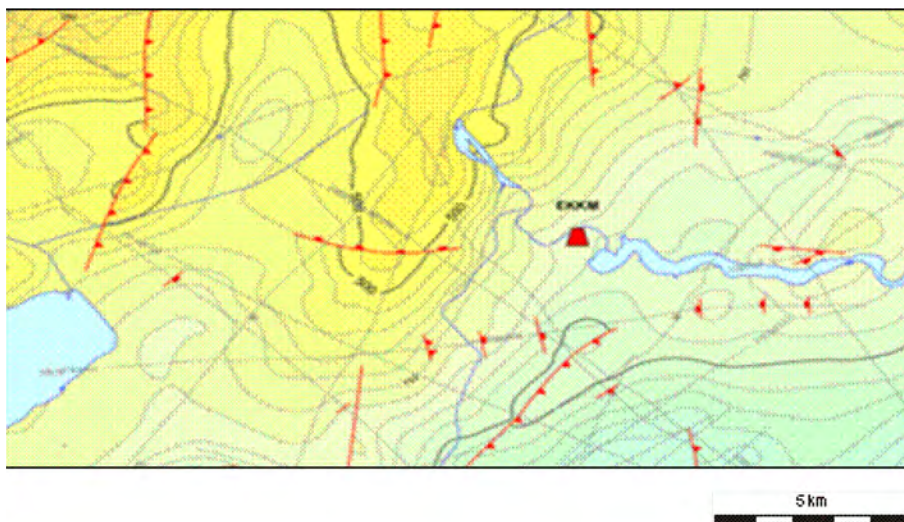
dass der Effekt dieser Alternativen auf die Gefährdung sehr gering bleibt. Daraus muss gefolgert werden, dass die Experten, selbst wenn sie spezielle Quellen zur Darstellung der FZ wählten, diese Quellen so charakterisierten, dass sich ihre Parameter nur wenig vom Hintergrund bzw. den benachbarten Flächenquellen abhoben.

Die neuen Erkenntnisse zur FZ in den Jahren nach PEGASOS sprechen eher für einen abnehmenden Gefährdungsbeitrag. Geringere Herdtiefen, zusammen mit dem tektonischen "thin-skin" Modell und einem neuen strukturgeologischen Konzept das von relativ kleinräumigen "en-échelon" Brüchen ausgeht, limitieren die Magnituden, die am seismogenen Ostrand der Fribourg-Struktur zu erwarten sind. Das Konzept wird durch die Neuinterpretation der reflexionsseismischen Daten gestützt. Sie zeigt, dass die Fribourg-Struktur nördlich einer Linie zwischen dem östlichen Ende des Murtensees und Laupen nicht mehr nachgewiesen werden kann und dass der Standort nicht mehr im Bereich dieser Struktur liegt. Weiter folgt aus diesen Interpretationen, dass es keine Störungen gibt, die unmittelbar unter der geplanten Anlage verlaufen.

3.5.3.7.4 Die Verschiebungsgefährdung durch die FZ

Die reflexionsseismischen Linien im Standortgebiet zeigen eine ruhige Lagerung der Gesteinsschichten unter dem Standort. Da es unter dem Standort keine Störungen gibt, die den Grundriss der geplanten Anlage tangieren, kann eine Verschiebungsgefährdung mit grosser Sicherheit ausgeschlossen werden.

Abbildung 3.5-41: Detail des Bruchmusters auf Niveau Basis Tertiär in der unmittelbaren Umgebung des Standortes EKKM



3.5.4 Bewertung der Standorteignung

Wie an anderen Kernkraftwerkstandorten steht im Standortbereich Mühleberg eine überdurchschnittlich gute geologisch / geotechnische Datenbasis zur Verfügung, die seit dem Bau der Anlage über Jahrzehnte ergänzt und ausgebaut wurde, zuletzt durch die Baugrund-Untersuchungskampagne im Frühjahr und Sommer 2008. Die Analyse der geologischen Strukturen im weiteren Umfeld und in grösseren Tiefen kann auf vorhandene reflexionsseismische

Linien abgestützt werden. Dank dieser Datenbasis sind Aussagen zum Baugrund und zur Standorteignung aus geologischer Sicht gut fundiert und zuverlässig. Gleiches gilt für die standortspezifische seismische Gefährdung. Hier steht als Beurteilungsgrundlage eine der aufwändigsten und technisch fortschrittlichsten Analysen zur Verfügung, die weltweit bisher durchgeführt wurde (PEGASOS-Studie).

Mühleberg liegt im mittelländischen Molassebecken, einem tektonisch vergleichsweise ruhigen Gebiet ohne strukturelle Komplikationen. Die nächstgelegene, möglicherweise tektonisch aktive Struktur ist die Fribourg-Zone am Ostrand einer synklinalen, NS-verlaufenden Einsenkung der mesozoischen und tertiären Sedimente bei der Stadt Fribourg, die aber südlich von Mühleberg endet und keinen Einfluss auf den Standort hat. Eine Neuinterpretation von mehr als 500 km seismischer Linien der Erdölindustrie zeigt, dass es in der Nähe des Standortes keine Störungen von regionaler Bedeutung gibt. Auch lokale Störungen können aufgrund der in diesem Kapitel dargestellten reflexionsseismischen Daten im Umkreis von mind. 2.5 km ausgeschlossen werden.

Der Standort selbst liegt über ruhig gelagerten Schichten. Da es keine Störungen gibt, die den Grundriss der geplanten Anlage tangieren, kann eine Verschiebungsgefährdung mit grosser Sicherheit ausgeschlossen werden. Der untief anstehende Fels und die horizontal verlaufende Schichtung machen den Baugrund für die Aufnahme von grossen Vertikallasten geeignet. Die Setzungsempfindlichkeit ist gering. Die tragfähigen Lockergesteinsschichten weisen kein Verflüssigungspotential auf. Der Standort liegt im Gewässerschutzbereich B, d.h. in einem Gebiet, in dem Grundwasservorkommen weniger bedeutend sind. Das Bauvorhaben ist deshalb aus hydrogeologischer Sicht unproblematisch. Die möglichen Hangrutschungen haben keine direkten Auswirkungen auf den Kraftwerksstandort. Rutschungen in den Wohlensee oder in die Aare sind zwar möglich, ihre Auswirkungen (Überflutung des Geländes resp. Ausfall der Flusswasserkühlung) sind aber beherrschbar.

Die Gefährdungskarten des Schweizerischen Erdbebendienstes zeigen, dass der Standortbereich Mühleberg innerhalb der Schweiz in einer seismisch relativ ruhigen Zone liegt¹. Die von den PEGASOS-Experten ermittelten standortspezifischen (Fels-) Beschleunigungen sind vergleichbar mit der Gefährdung in anderen Gebieten mit schwacher bis mittlerer seismischer Aktivität, wie etwa der östliche und zentrale Teil der USA. Der Einfluss der möglicherweise seismisch aktiven Fribourg-Zone auf die Gefährdung im Standortbereich Mühleberg ist nach Einschätzung der PEGASOS-Experten gering. Dabei spielt es – wie Sensitivitätsrechnungen zeigen – kaum eine Rolle, wie die Fribourg-Zone in den Quellencharakterisierungsmodellen berücksichtigt wurde, ob als Störungsquelle resp. speziell geformte Flächenquelle oder implizit als Teil einer grösseren Flächenquelle. Diese Einschätzung der Experten beruht auf der Datenbasis und dem Wissensstand von 2003. Neue Erkenntnisse, die seither dazugekommen sind, insbesondere die geringeren, auf die Sedimente beschränkten Herdtiefen und das tektonische Modell von J. Mosar, deuten auf einen eher abnehmenden Gefährdungsbeitrag der Fribourg-Zone hin. Aufgrund reflexionsseismischer und gravimetrischer Daten ist bekannt, dass die Fribourg-Struktur und die mit ihr assoziierte Fribourg-Zone nicht weiter nach Norden reichen als bis zu einer Linie zwischen

¹ Am Standort des bestehenden KKM ist seit 1982 an 5 verschiedenen Positionen eine Instrumentierung zur Aufzeichnung von seismischen Ereignissen installiert. Seitdem wurden insgesamt 3 leichte Erdbeben registriert, und zwar am 14.2.1999, am 22.2.2003 und am 23.2.2004. Auch das Erdbeben mit der grössten Intensität (2003, Stärke 5.5) hatte keine Konsequenzen für den Normalbetrieb des KKM.

dem östlichen Ende des Murtensees und Laupen. Die zwischenzeitlich publizierte Vorstellung, es könnte sich bei der Fribourg-Zone um eine einzige, bis zu 30 km lange und bis ins Grundgebirge reichende Störung handeln, kann aufgrund der Neuinterpretation reflexionsseismischer Daten widerlegt werden. Zur permanenten Überwachung der seismischen Aktivität der Fribourg-Zone im Süden des Standortes und zur präzisen Lokalisierung der Epizentren wird das bestehende Netz von Registrierstationen verdichtet und ausgebaut. Des Weiteren sind spezielle mikroseismische Untersuchungen der Fribourg-Zone in der Umgebung von Mühleberg geplant.

Die PEGASOS-Gefährdungskurven für den Standortbereich Mühleberg (Horizontalkomponente; Fels) liefern, bei einem Referenzwert von $1E-4$ für die jährliche Überschreitungswahrscheinlichkeit, eine "Peak Ground Acceleration" von 0.2 g. Dies ist der Medianwert einer Unsicherheitsverteilung, die beispielsweise durch die Bandbreite zwischen dem 16% und dem 84% Fraktil dargestellt werden kann (0.12-0.3 g). Der Standorteffekt, d.h. die frequenzabhängige Verstärkung des seismischen Signals durch die oberflächennahen geologischen Schichten, erhöht den Medianwert der Felsbeschleunigung auf 0.4 g mit einer Unsicherheitsbandbreite im entsprechenden Fraktilbereich von 0.23-0.68 g.

Mit der PEGASOS-Studie wurde die seismische Gefährdung für das bestehende KKM ermittelt. Die Gefährdungsergebnisse sind aber auch für den neuen, nur ca. 500 m entfernt liegenden EKKM-Standort anwendbar, da die Baugrundeigenschaften sehr ähnlich sind. Nach Auswertung der oben genannten Baugrunduntersuchungen und nach Folgestudien wie das PEGASOS-Refinement-Projekt (PRP) wird die gefährdungsrelevante Datenbasis am Standort weiter verbessert werden können. Falls es gelingt, die Unsicherheiten bei den Eingabegrößen für den Standorteffekt zu verringern, führt dies möglicherweise zu einer Reduktion der prognostizierten Gefährdung. Die grundsätzlichen Aussagen zur Standorteignung werden aber in jedem Fall gültig bleiben; es ist nicht denkbar, dass sich aufgrund der zu erwartenden Resultate wesentliche Korrekturen ergeben. Auf die PEGASOS-Beschleunigungen kann die neue Anlage ausgelegt werden.

Die PEGASOS-Ergebnisse werden für die bindende Festlegung der seismischen Gefährdung am Standort massgebend sein. Aufgrund dieser Gefährdung wird während der Projektierung der neuen Anlage die seismische Auslegungsbasis für die Systeme, Strukturen (inkl. Bauwerke) und Komponenten definiert. Dies beinhaltet auch die Bestimmung des Gefährdungsniveaus für ein so genanntes Betriebserdbeben (OBE), bei welchem Strukturen / Komponenten, die den sicheren Weiterbetrieb der Kernanlage gewährleisten, operativ bleiben müssen, sowie das Gefährdungsniveau für ein so genanntes Sicherheitserdbeben (SSE), bei welchem nur gewisse Strukturen / Komponenten noch funktionsfähig sein müssen, damit die Anlage in einen sicheren Zustand überführt (d.h. abgeschaltet) werden kann. Eine deterministische Analyse solcher Störfälle wird im Rahmen der Auslegung durchgeführt und erstmals im Rahmen der Baubewilligung eingereicht. Aufgrund der gegenwärtig bekannten seismischen Standortgefährdung können die Sicherheitskriterien zur Beherrschung dieser Störfälle eingehalten werden.

Die Gesamtheit dieser Überlegungen führen zu einer positiven Beurteilung der Standorteignung im Hinblick auf Geologie, Baugrundeigenschaften und seismische Gefährdung.

3.6 Gefährdungspotential

Die Standorteigenschaften können bzgl. der Eintrittshäufigkeit und / oder Auswirkung von externen Ereignissen von Bedeutung sein und werden deshalb zur Bewertung der Gefährdung resp. der Standorteignung untersucht. Diese Untersuchungen sind Gegenstand dieses Kapitels. Gemäss Kernenergieverordnung KEV¹ sind erst im Gesuch zur Baubewilligung im Rahmen des Konzeptes der Gesamtanlage die detaillierten Gefährdungsspezifikationen im Rahmen einer PSA zu analysieren und zu dokumentieren. Für das RBG bezieht sich die Untersuchung der Möglichkeit und Auswirkung der Ereignisse deshalb auf übergeordnete Aspekte resp. auf externe, standortbezogene Ereignisse.

3.6.1 Anlageintern ausgelöste Ereignisse

Zum Zeitpunkt des RBG sind nur die Grundzüge der zu errichtenden Anlage festgelegt, die definitive Auslegung wird zu einem späteren Zeitpunkt bestimmt und im Gesuch zur Baubewilligung dokumentiert. Die Definition der anlageinternen Ereignisse ist auslegungsspezifisch und kann somit zu diesem Zeitpunkt nicht festgelegt werden. Eine entsprechende Untersuchung ist deshalb im RBG nicht enthalten; die Definition und detaillierte Analyse der internen Ereignisse und der Störfälle, die daraus möglicherweise resultieren, werden auch im Gesuch zur Baubewilligung dokumentiert.

3.6.2 Evaluation möglicher extern ausgelöster Ereignisse

Im Zusammenhang mit den Sicherheitsbewertungen für das KKM werden sämtliche möglichen externen Ereignisse eruiert. Weil die Standorte KKM und Niederruntigen sich in unmittelbarer Nähe befinden, ist zu erwarten, dass mögliche externe Ereignisse im Wesentlichen identisch sind für beiden Standorte. Somit wurden die Untersuchungen von auslösenden Ereignissen für den Standort EKKM auf den bestehenden Sicherheitsanalysen für den Standort KKM basiert und wo erforderlich dem Standort EKKM angepasst. Die möglichen externen Ereignisse und deren vorstellbaren Konsequenzen werden nachfolgend einzeln untersucht.

Auswahl der möglichen externen Ereignisse

Die Kernenergieverordnung KEV² enthält eine Angabe über externe Ereignisse; diese ist jedoch nicht vollständig, die Auswahl der zu betrachtenden möglichen Ereignisse muss für den Standort spezifisch entwickelt werden.

Die Auswahl der auslösenden Ereignisse erfolgt auf der Basis der "PRA Procedures Guide" NUREG/CR-2300 [27] und der "Procedural and Submittal Guidance for the Individual Plant Examination of External Events (IPEEE) for Severe Accident Vulnerabilities" NUREG-1407 [29]. Im "PRA Procedures Guide" wird eine generische Liste möglicher auslösender Ereignisse aufgelistet (die englischen Begriffe aus dem Originalbericht sind in Klammern angegeben):

- Flugzeugabsturz (Aircraft impact)
- Lawinen (Avalanche)

¹ Anhang 4 (Art. 24, 26, 28, 29, 40) KEV [2]

² Art. 8 Abs. 3 KEV [2]

- Küstenerosion (Coastal erosion)
- Trockenheit (Drought)
- Externe Überflutung (External flooding)
- Extreme Winde und Tornados (Extreme winds and tornadoes)
- Nebel (Fog)
- Waldbrand (Forest fire)
- Frost (Frost)
- Hagel (Hail)
- Hochwasser (High tide, high lake)
- Hohe Sommertemperaturen (High summer temperature)
- Hurrikane (Hurricane)
- Vereisung (Ice cover)
- Unfälle in industriellen oder militärischen Anlagen (Industrial or military facility accident)
- Massenselbstbewegung: Erdrutsch (Landslide), Felssturz (Rockslide)
- Blitzschlag (Lightning)
- Niedrigwasser (Low lake or river water level)
- Tiefe Wintertemperaturen (Low winter temperature)
- Meteoriteneinschlag (Meteorite)
- Pipeline-Unfall (Pipeline accident)
- Extreme Niederschläge (Intense precipitation)
- Freisetzung von Chemikalien aus Lagern auf dem Gelände (Release of chemicals in onsite storage)
- Flussverlagerung (River diversion)
- Sandsturm (Sand storm)
- Seiche (= periodische Wellenbewegungen)
- Erdbeben (Seismic activity)
- Schnee (Snow)
- Bodenverfestigung durch Schrumpfen und Quellen (Soil shrink-swell consolidation)
- Sturm-Brandung (Storm surge)
- Transport (Transportation)
- Tsunami
- Giftige Gase (Toxic gas)
- Turbinensplitter (Turbine-generated missiles)
- Vulkanische Aktivität (Volcanic activity)
- Wellen (Waves).

Diese Auflistung hat generischen Charakter, d.h. nicht alle aufgeführten Ereignisse sind an jedem Standort gleichermassen relevant. Beispielsweise sind Ereignisse, die nur in Küstennähe auftreten können, für den Standort Niederrurtingen nicht relevant.

Des Weiteren wurden folgende Dokumente dahingehend überprüft, ob sie Hinweise auf externe Ereignisse enthalten, die bisher nicht in der o.g. Liste berücksichtigt sind und daher zusätzlich beachtet werden müssen: IAEA Safety Guide NS-R-3 [110], ANSI/ANS-58.21 [109] sowie eine Umweltverträglichkeitsstudie zur Nachrüstung eines neueren, osteuropäischen Kernkraftwerks. Aus diesen Dokumenten wurden folgende auslösenden Ereignisse identifiziert, die zusätzlich betrachtet werden:

- Biologische Ereignisse (Biological events)
- Satellitenabstürze (Satellite strike)
- Gletscheraktivitäten (Glacial activity)
- Bergsenkung und Einsturz (Sinkholes and collapse)
- Elektromagnetische und hochfrequente Interferenz (Electromagnetic and radiofrequency interference).

Die so ergänzte Liste der möglichen externen Ereignisse (siehe Tabelle 3.6-1) ist damit für den Standort abdeckend; sie enthält ausserdem die in der Kernenergieverordnung KEV¹ aufgeführten Ereignisse zum Verlust der externen Stromversorgung resp. der externen Kühlwasserversorgung.

¹ Art. 8 Abs. 3 KEV [2]

Tabelle 3.6-1: Mögliche externe Ereignisse mit Referenz zu den Kapitel-Abschnitten, in denen sie beschrieben werden

Ereignis	Kap.- Abschnitt	Ereignis	Kap.- Abschnitt
Trockenheit	3.6.2.1	Erdbeben	3.6.2.22
Erosion	3.6.2.2	Extreme Winde, Tornados	3.6.2.22.1
Waldbrand	3.6.2.3	Überflutung	3.6.2.24
Hohe Sommertemperaturen	3.6.2.4	Unfallbedingter Flugzeugabsturz	3.6.2.25
Vereisung	3.6.2.5	Tsunami	3.6.2.26
Unfälle in industriellen oder militärischen Anlagen	3.6.2.6	Giftige Gase	3.6.2.27
Massenselbstbewegung	3.6.2.7	Turbinensplitter	3.6.2.28
Blitzschlag	3.6.2.8	Vulkanische Aktivität	3.6.2.29
Niedrigwasser	3.6.2.9	Wellen	3.6.2.30
Tiefe Wintertemperaturen	3.6.2.10	Meteoriteneinschlag	3.6.2.31
Pipeline-Unfall (Druckwelle)	3.6.2.11	Gletscheraktivitäten	3.6.2.32
Freisetzung von Chemikalien aus Lagern auf dem Gelände	3.6.2.12	Bergsenkungen und Einsturz	3.6.2.33
Flussverlagerung	3.6.2.13	Seiches	3.6.2.34
Biologische Ereignisse	3.6.2.14	Sandsturm	3.6.2.35
Schnee(verwehung)	3.6.2.15	Extreme Niederschläge	3.6.2.36
Bodenverfestigung	3.6.2.16	Satellitenabsturz	3.6.2.37
Transportunfälle	3.6.2.17	Lawinen	3.6.2.38
Sturm-Brandung	3.6.2.18	Nebel	3.6.2.39
Hagel	3.6.2.19	Frost	3.6.2.40
Hochwasser	3.6.2.20	Verlust der externen Stromversorgung	3.6.2.41
Hurrikan	3.6.2.21	Verlust der externen Kühlwasserversorgung	3.6.2.42
		Elektromagnetische und hochfrequente Interferenz	3.6.2.43

Die aufgelisteten Ereignisse werden im Folgenden einzeln diskutiert. Die Eintrittshäufigkeit und Konsequenzen externer Ereignisse werden nicht nur durch standortspezifische, sondern auch durch anlagenspezifische Faktoren bestimmt; die hier aufgeführten Untersuchungen beziehen sich

nur auf den Standort, und sind daher von mehr qualitativer als quantitativer Art. Eine detaillierte, quantitative Analyse solcher Ereignisse wird, zusammen mit der Analyse anlageninterner Ereignisse, in der Form einer PSA im Rahmen des Gesuches zur Bau- resp. Betriebsbewilligung durchgeführt.

3.6.2.1 Trockenheit

Mögliche Einflüsse durch Trockenheit im Umfeld des Standortes wären eine Absenkung des Wasserspiegels der Aare oder eine Erhöhung des Risikos für Waldbrände in der Umgebung der Anlage. Diese Effekte werden als separate Ereignisse (Waldbrand siehe Kap. 3.6.2.3 und Niedrigwasser Kap. 3.6.2.9) diskutiert.

Die neue Anlage wird, wie jede moderne Anlagekonzeption, über mehrere redundante Wärmesenken verfügen. Weitere Alternativen zur Notkühlung (Grundwasser, Wasserreservoir – siehe Kap. 2.4.4) werden von einer länger anhaltender Trockenheit auch betroffen sein. Da es sich um einen langsamen Vorgang handelt, kann rechtzeitig Abhilfe durch z.B. Ablassen des Wassers aus dem Wohlensee geschafft werden, falls diese Alternativen überhaupt zum Tragen kommen sollten.

Aus den o.g. Gründen muss dieses Ereignis nicht weiter betrachtet werden.

3.6.2.2 Erosion

Aufgrund der geografischen Lage sind für das KKM keine Betrachtungen zur Küstenerosion erforderlich.

Eine mögliche Ufererosion der Aare ist ein langsamer Prozess, der rechtzeitig bemerkt werden würde, bevor es zu einer Gefährdung des Kraftwerksgeländes oder der Wärmesenke (Einlaufbauwerk für Kühlwasserentnahme) kommen könnte. Die Querprofile der Aare werden regelmässig aufgenommen. Die letzte Aufnahme fand im Jahr 2006 statt und lieferte gegenüber früheren Untersuchungen keine neuen Befunde am Standort. Mit dieser Profilmessung konnte nachgewiesen werden, dass im Flussabschnitt zwischen dem Wasserkraftwerk Mühleberg und der Saane-Mündung selbst beim bislang grössten gemessenen Hochwasserereignis im August 2005 die Aare keine signifikanten Erosionstendenzen aufweist.

Erosionen, welche an den Prallhängen unter- oder oberhalb des Standortes zu Erdrutschen führen, können die Gewässer derart verschlammen, dass es zu einer Beeinträchtigung der Kühlwasserversorgung kommen könnte. In der Vergangenheit durchgeführte Studien haben allerdings gezeigt, dass eine komplette Blockierung des Aareflusses ausgeschlossen werden kann (siehe Kap. 3.6.2.7). Diesem Umstand soll jedoch durch redundante und diversitäre Wärmesenken Rechnung getragen werden, sodass die nukleare Sicherheit auch bei solchen Ereignissen jederzeit gewährleistet ist.

Erosion kann damit als Gefährdung des Standortes ausgeschlossen werden.

3.6.2.3 Waldbrand

Bei der Auslegung der neuen Anlage wird ein adäquater Abstand zum nächsten Wald eingehalten. Ebenfalls werden die Bereiche um die äussere Umzäunung von Gebüsch freigehalten. Dies verhindert, dass ein Feuer auf das Gelände übergreifen kann. Die

Anlagenauslegung und die Brandschutzeinrichtungen werden implizit so dimensioniert, dass Waldbrände sich nicht auf die Anlage ausbreiten können.

Eine potenzielle Gefährdung wäre durch die Ansaugung von Rauch in die Lüftungsanlagen oder in Notstromaggregate denkbar. Die Frischluftversorgung wird jedoch so dimensioniert werden, dass eine Ansaugung von Rauch detektiert und entsprechende Gegenmassnahmen eingeleitet werden.

Daher kann Waldbrand bezüglich der Gefährdung des Standortes ausgeschlossen werden.

3.6.2.4 Hohe Sommertemperaturen

Die Auslegung nuklearer Anlagen, und damit auch die Auslegung der neuen Anlage am Standort, sieht vor, dass die primäre Wärmesenke einen Betrieb von mindestens 30 Tagen¹ unter Berücksichtigung wesentlicher Wasserverluste ermöglicht.

Mögliche Auswirkungen hoher Sommertemperaturen sind eine Veränderung des Wasserstandes der Aare oder auch Auswirkungen auf die Zuverlässigkeit der Anlagensysteme. Das Hauptkühlsystem mit Hybridkühlturm funktioniert auslegungsgemäss auch bei einem sehr niedrigen Stand der Aare (siehe Kap. 2.4), die Trockenheit ist als externes Ereignis in Kap. 3.6.2.1 separat beschrieben.

Temperaturen einzelner Systeme ausserhalb der zulässigen Spezifikationen werden üblicherweise erfasst und führen zu Gegenmassnahmen, bevor es zur Auslösung einer Störung kommt. Darüber hinaus sind Räume mit wärmeempfindlichen Komponenten grundsätzlich mit einer Kühlung ausgestattet, sodass die hohen Aussentemperaturen kein Problem für solche Systeme darstellen.

Insgesamt wird durch die Auslegung der neuen Anlage eine ausreichende Versorgung mit Kühlwasser auch unter ungünstigen Bedingungen sichergestellt; hohe Sommertemperaturen sind deshalb für die Anlagengefährdung vernachlässigbar.

3.6.2.5 Vereisung

Für den Standort kann eine Versperrung der Aare durch Eis wegen der kurzen Distanz zur Staumauer Mühleberg ausgeschlossen werden (siehe auch Kap. 3.4.4.4). Der Betrieb des Wasserkraftwerks wird verhindern, dass der Fluss gefriert bzw. wird eine Herabsetzung der Temperatur, bei welcher der Fluss gefriert, verursachen.

Vereisungen im Uferbereich der Aare, in Stillwasserbereichen, sind unproblematisch; die zukünftige Wasserfassung des EKKM wird kontinuierlich angeströmt, weshalb hier Eisbildung erst spät einsetzt. Nur wenn der ganze Fluss bis zum Flussbett einfriert, wäre ein totaler Wasserverlust möglich. Dies ist jedoch aufgrund der Eigenschaften von Wasser nicht plausibel. Auch wenn die Oberfläche des Flusses gefroren ist, steht genügend Kühlwasser zur Verfügung, solange die Wasserfassungen tief genug angelegt sind.

Nach einem umfangreichen Zufrieren der Fliessgewässer kann es in der Auftauphase zu starken Treibeisereignissen kommen, diese können insbesondere an Engstellen zu Verstopfungen und Rückstau führen. In diesem Fall hält das Wehr Mühleberg einen Grossteil der Eisschollen zurück, sodass wenig Treibeis flussabwärts auftreten sollte. Es ist zudem nicht plausibel, dass durch

¹ U.S.NRC NUREG/CR-2300 [27]

Eiswallbildung höhere Wasserstände erreicht werden als bei den in Kapitel 3.4.3 behandelten Ereignissen.

Die Bildung von nadelförmigen Eiskristallen ("frazil ice") entsteht in turbulentem, unterkühltem Wasser und kann die Ansaugkomponenten der Anlage in Mitleidenschaft ziehen. Dieses Phänomen kommt jedoch nur in maritimen Gewässern vor und kann für die neue Anlage ausgeschlossen werden. Damit ist auch die Bildung von Grundeis bei den Wasserfassungen ausgeschlossen.

Gefrierung der Hauptwärmesenke (Kühlwasserzufuhr zum Kondensator) kann ausgeschlossen werden, weil das Kühlwasser immer viel wärmer ist als 0 °C. Vereisung im Nebenkühlkreislauf kann durch eine entsprechende Auslegung (Vorwärmung des zugeführten Aarewassers mit einem Teil der Wasserrückgabe) verhindert werden. Dem Einfrieren von Abläufen und Wassersammlungen kann ebenfalls durch elektrische Beheizung entgegengewirkt werden.

Eisbildung an Komponenten des Stromnetzes (Kabel, Transformatoren) wird manchmal im Winter wahrgenommen und kann zum Ausfall der externen Stromversorgung führen. Ein Verlust der externen Stromversorgung wird durch die Anlage beherrscht (siehe Kap. 3.6.2.41).

Vereisung von Lufteintritten sicherheitsrelevanter Lüftungs- oder Hilfssysteme kann durch eine geeignete Auslegung verhindert werden, z.B. indem die Blenden oder Gitter, die an den Eintrittsöffnungen angebracht werden, um einen Eintritt von Fremdkörper bzw. Insekten zu vermeiden, elektrisch beheizt werden.

Insgesamt kann Vereisung für die Anlagegefährdung ausgeschlossen werden. Die Einzelheiten der konstruktiven bzw. technischen Massnahmen zur Verhinderung von Vereisung werden später im Gesuch zur Baubewilligung beschrieben.

3.6.2.6 Unfälle in industriellen oder militärischen Anlagen

Eine Gefährdung durch industrielle oder militärische Anlagen in der unmittelbaren Umgebung des Standortes kann ausgeschlossen werden (siehe Kap. 3.2). Die mögliche Folgen der Wechselwirkung zwischen EKKM und KKM wird in Kap. 3.6.3.3 beschrieben.

3.6.2.7 Massenselbstbewegung

3.6.2.7.1 Erdbeben

Die Möglichkeit von Erdbeben in der Umgebung des Standortes Niederruntigen und insbesondere die Möglichkeit, durch ein Erdbeben die Wasserversorgung des bestehenden KKM zu unterbrechen, wurden in der Vergangenheit ausführlich untersucht. Es wurde festgestellt, dass aufgrund der geografischen und geologischen Verhältnisse eine vollständige Unterbrechung der Aare nicht möglich ist. Kühlwasserfassungen können aber durch Verschlämmung beeinträchtigt werden. Durch entsprechende Diversifikation sowie Redundanz der Wärmesenke kann diesem Effekt ausreichend entgegengewirkt werden. Die ausreichende Versorgung von sicherheitsrelevanten Systemen mit Kühlwasser ist daher durch Erdbeben nicht gefährdet.

3.6.2.7.2 Felssturz

Sturzprozesse sind Massenbewegungen, bei welchen das aus dem Gebirge ausgebrochene Material den grössten Teil des Weges in der Luft zurücklegt. Beim Felssturz löst sich eine grosse Felsmasse "en bloc" aus der Felswand. Während des Sturzes oder beim Aufprall wird die Masse dann in Blöcke und Steine zerteilt.

Flussabwärts in der näheren Umgebung des Kraftwerkes könnte es zu Felsstürzen kommen. Zur Klärung der Auswirkungen dieses Sachverhaltes wurde in der Überflutungsgefährdungsstudie für das KKM [8] der Prallhang Runtigenflue, der östlich des Mündungspunktes der Saane liegt und der am ehesten Potential für einen Aufstau hätte, auf Gefährdung hinsichtlich Felssturz und anschliessendem Höherstau untersucht. Zielsetzung dieser Studie war es, abzuschätzen, wie weit ein Bergsturz den Hochwasserspiegel beeinflussen würde. Es wurde festgestellt, dass der Hang stabil ist und selbst ein Absturz eines 4500 m³ grossen Gesteinspaketes keinen nennenswerten Einfluss auf die Hochwassergefährdung hätte.

Am linken Ufer der Aare am EKKM-Standort existiert keine Felswand, die Talsenke ist sehr flach sowie bewaldet. Somit kann hier ein Felssturz ausgeschlossen werden.

Am rechten Ufer der Aare gegenüber dem EKKM-Standort besteht eine fast 50 m hohe senkrechte Felswand. Die im Rahmen der seismischen Standortuntersuchungen des bestehenden KKM durchgeführten Analysen haben ergeben, dass der Hang allgemein stabil ist. Es gibt keinen Hinweis auf Hangbewegungen und keine deutlichen Bruchstellen oder Auflagerungen, die auf ein potentielles Gleitfähigkeitsverhalten hindeuten würden. Der Fels ist im Allgemeinen massiv und es gibt kaum Geröll, das zu einem Felssturz beitragen könnte. Das flache Gebiet am Fuss der Felswand ist frei von Steinschlagmaterial, was ebenfalls auf eine relative stabile Lage hinweist. Im unwahrscheinlichen Fall, dass doch ein Felssturz auftreten sollte, würde die 80 m breite Aare diesen abfangen.

Somit stellt ein Felssturz keine nennenswerte Gefährdung für den Standort des EKKM dar.

3.6.2.8 Blitzschlag

Sicherheitsrelevante Gebäude und Systeme werden durch die Auslegung ausreichend gegen die möglichen Konsequenzen von Blitzschlag, entsprechend der erwarteten Auftretenshäufigkeit wie in Kap. 3.3.9 dargelegt, geschützt sein. Die deterministischen Sicherheitsanalysen sind eine der Grundlagen für ein entsprechendes Blitzschutzkonzept. Auf Basis dieses Konzeptes und der vorgesehenen Blitzschutzmassnahmen werden die Auswirkungen eines Blitzschlags auf die Anlage und ihre Komponenten sowohl in den deterministischen Sicherheitsanalysen als auch in den Risikoanalysen (PSA) bewertet. Die entsprechenden Nachweise werden in den Gesuchen zur Bau- resp. Betriebsbewilligung dokumentiert. Mit dem Gesuch zur Baubewilligung wird, gemäss den gesetzlichen und behördlichen Anforderungen¹, das Blitzschutzkonzept der Gesamtanlage eingereicht.

Auswirkungen von Blitzschlag ausserhalb der Anlage sind durch die relevanten auslösenden Ereignisse, z.B. den Verlust der externen Stromversorgung (siehe Kap. 3.6.2.41), berücksichtigt.

¹ Anhang 4 (Hierarchie G1) KEV [2] und HSK-Richtlinie R-30 [108]

3.6.2.9 Niedrigwasser

Dieses Ereignis ist in Kapitel 2.4 behandelt: auch unter den ungünstigsten Verhältnissen ist eine ausreichende Wasserversorgung der neuen Anlage gewährleistet.

3.6.2.10 Tiefe Wintertemperaturen

Gemäss PRA Procedures Guide [27] sind thermische Spannungen und Versprödung durch tiefe Wintertemperaturen geringfügig resp. sollen bei der Auslegung der Anlage berücksichtigt werden. EKKM wird für die standortspezifischen klimatischen Bedingungen ausgelegt. Die entsprechenden Grundlagen (Temperaturrextremwertanalysen) sind in Kap. 3.3.5 enthalten.

Die möglichen Effekte von Vereisung sind im Kapitel 3.6.2.5 beschrieben.

3.6.2.11 Pipeline-Unfall

Eine Gefährdung durch einen Pipeline-Unfall kann ausgeschlossen werden, siehe Kap. 3.2.

3.6.2.12 Freisetzung von Chemikalien aus Lagern auf dem Gelände

Die Lagerung von für den Betrieb erforderlicher Chemikalien wird in Lagereinrichtungen erfolgen, die für die gelagerten Mengen ausgelegt und mit geeigneten Rückhaltesystemen im Falle eines Chemikalienaustrittes versehen sind. Des Weiteren wird durch betriebliche Abläufe sichergestellt sein, dass allfällig benötigte Chemikalien nur an den vorgesehenen Lagerorten und insbesondere nicht in der Nähe sicherheitsrelevanter Systeme aufbewahrt werden.

Eine Freisetzung von Chemikalien könnte eine Schädigung von Bauwerken oder Komponenten beispielsweise durch verstärkte Korrosion bewirken. Darüber hinaus könnten freigesetzte Chemikalien durch Frischluftansaugstutzen für Lüftungssysteme oder Notstromaggregate angesogen werden und innerhalb der Anlage verteilt werden. Aufgrund der genannten räumlichen und organisatorischen Randbedingungen sowie der Auslegung der Frischluftsysteme werden derartige Schäden an sicherheitsrelevanten Systemen verhindert. Schäden würden ausserdem hinreichend langsam auftreten, sodass Gegenmassnahmen möglich sind.

Die möglichen Konsequenzen einer Freisetzung von Chemikalien bzw. die Gefährdung der Lieferung und Lagerung von Gefahrstoffen, die für den Betrieb benötigt werden, werden bei der Projektierung des EKKM untersucht und die Anlage wird entsprechend ausgelegt. Dies wird in den Gesuchsunterlagen zur Baubewilligung dokumentiert. Somit wird die neue Anlage durch eine Freisetzung von Chemikalien auf dem Gelände nicht gefährdet sein.

Der mögliche Effekt durch Bildung toxischer Gase aus den freigesetzten Chemikalien wird in Kapitel 3.6.2.27 behandelt.

3.6.2.13 Flussverlagerung

Dieses Ereignis ist in Kapitel 3.4.4.2.2 behandelt. Aufgrund der geologischen Gegebenheiten am Standort ist eine Verlagerung des Flussbettes, die zu einem Verlust der Wasserversorgung für sicherheitsrelevanten Systemen / Komponenten führen würde, ausgeschlossen.

3.6.2.14 Biologische Ereignisse

Bei biologischen Ereignissen geht es beispielsweise um Bewuchs von Rohrleitungen durch Zebrauscheln, die Verstopfung von Wasserfassungen durch grosse Mengen von Fischen, Quallen, Algen usw. oder eine Gefährdung durch grössere Mengen von Meerespflanzen nach einem starken Sturm.

Für den Standort sind die folgenden Situationen aus diesem Bereich denkbar:

- Verstopfung einer Wasserfassung durch Fischeschwärme oder Algen: Damit es zu einer Gefährdung kommen kann, muss die Fischpopulation in der Aare innerhalb kurzer Zeit stark ansteigen. Da der Fluss intensiv durch Sportfischer befischt wird, ist eine unbemerkte Vergrösserung des Fischbestandes über einen längeren Zeitraum nicht möglich. Denkbar wäre weiter noch ein Einwandern eines Fischeschwarms aus einem anderen Gebiet. Da die Aare aber durch zahlreiche Staustufen stark unterteilt ist, ist auch diese Möglichkeit einer schnellen Zunahme des Fischbestandes auszuschliessen. Daher kann eine Gefährdung durch einen Fischeschwarm ausgeschlossen werden. Unter entsprechenden klimatischen Bedingungen können sich Algen derart vermehren, dass es zu einer Beeinträchtigung der Kühlwasserversorgung kommen könnte. Durch diversitäre und redundante Auslegung der Kühlwasserfassungen kann jedoch eine Gefährdung der nuklearen Sicherheit ausgeschlossen werden.
- Verstopfung einer Wasserfassung durch Seegras: am Wasserkraftwerk Mühleberg tritt in regelmässigen Abständen Seegras auf. Die kanadische Wasserpest wächst im Wohlensee zu grossen Teppichen, stirbt ab und wird in der Regel im Dezember / Januar flussabwärts getrieben. Durch die jahreszeitliche Gebundenheit dieses Auftretens ist eine Koinzidenz mit einem schweren Hochwasser sehr unwahrscheinlich. Das Seegras wird durch die Einlaufrechen des Wasserkraftwerkes abgehalten und routinemässig abgefischt, sodass es nicht weiter flussabwärts treiben kann. Im Abstand von mehreren Jahren gibt es grössere Seegrasereignisse, sodass zum Abfischen zusätzliches Personal aufgeboden wird. Für die Wasserfassung des EKKM hat Seegras daher keine Bedeutung. Eine weitere Kontrollierbarkeit dieses Ereignisses ist durch Mähaktionen gegeben.
- Verstopfung einer Wasserfassung durch Schwemmholz: Die Erfahrungen der jüngsten Hochwasser in der Schweiz zeigen, dass im Falle eines Hochwassers auch ein grosser Anteil Schwemmholz anfällt. Dieses Schwemmholz hat an verschiedenen Staustufen zu einer Verschärfung der Hochwassersituation geführt. Damit Schwemmholz für die neue Anlage zu einer Gefährdung führen kann, muss es an den Standort gelangen. Schwemmholz, welches mit der Aare durch den Wohlensee mitgeführt wird, wird grösstenteils am Wasserkraftwerk Mühleberg aufgefangen. Möglicherweise wird es dort die Abläufe der Stauanlage verstopfen und damit zu einem verstärkten Rückstau im Wohlensee führen. Dies hat aber keinen direkten Einfluss auf den Standort unterhalb des Wasserkraftwerks. In gleicher Weise würde Schwemmholz, welches mit der Saane befördert wird, an den dortigen Staustufen zurückgehalten werden. In der unmittelbaren Umgebung des Standortes können keine nennenswerten Mengen von Schwemmholz entstehen, da die Entfernung bis zum Wasserkraftwerk klein ist. Aufgrund der konstruktiven Anordnung der Wasserfassungen und ihrer Grösse ist ein vollständiges Verstopfen durch Schwemmholz nicht möglich.

Bei der Projektierung, insbesondere durch Anordnung und Grösse der Wasserfassungen, wird ein vollständiges Verstopfen verhindert. Daher werden biologische Ereignisse nicht zur Gefährdung der neuen Anlage führen.

Für die Diskussion über Ablagerungen bei Staumauerereignissen siehe Kap. 3.4.4.2.3.

3.6.2.15 Schnee / Schneeverwehungen

Durch Schnee resp. Schneeverwehungen kann es zu höheren Belastungen der Gebäude kommen. Die erwartete Belastung durch Schnee (149 cm bzw. 4.5 kN/m² für ein 10'000-jährliches Ereignis, siehe Kap. 3.3.8) wird bei der Auslegung der neuen Anlage berücksichtigt.

Des Weiteren ist eine Überschwemmung als Folge der Schneeschmelze möglich. Aufgrund der lokalen Gegebenheiten kann davon ausgegangen werden, dass der Effekt von Hochwasser resp. extremen Niederschlägen die Auswirkungen einer Schneeschmelze einschliesst (siehe Kap. 3.4.2).

3.6.2.16 Bodenverfestigung

Die sicherheitsrelevanten Gebäude werden in der Unteren Süsswassermolasse (USM) fundiert. Die Feuchtigkeitsverhältnisse in der Molasse bleiben beim Bau und späteren Betrieb gegenüber dem Ausgangszustand unverändert. Schwinden und Quellen in der Molasse sind wegen des geringen Anteils an Tonstein vernachlässigbar kleine Effekte. Die (kleinen) Initial-Setzungen sind bis zur Gestaltung der Umgebung abgeklungen und können bzgl. der Gefährdung ausgeschlossen werden.

Bodenverfestigung muss somit für die Gefährdung des Standortes nicht weiter untersucht werden. Bei der Aufschüttung der Terrasse wird im Speziellen darauf geachtet, dass der Baugrund derart vorbereitet wird, dass Bodenverdichtungseffekte auch für die weiteren Gebäude keine Gefährdung darstellen.

3.6.2.17 Transportunfälle

Eine Gefährdung für den Standort durch Transportunfälle kann ausgeschlossen werden (siehe Kap.3.2).

3.6.2.18 Sturm-Brandung

Die Effekte von Brandung sind mit einer externen Überflutung vergleichbar; jedoch ist aufgrund der geografischen Lage der Standort nicht durch Brandung gefährdet. Eine entsprechende Gefährdung kann daher ausgeschlossen werden.

3.6.2.19 Hagel

Die Häufigkeit von Hagelereignissen in der Umgebung von Mühleberg ist in Kapitel 3.3.10 dargestellt. Bei Hagel ist an eine Gefährdung durch die Hagelkörner zu denken. Dieses Ereignis kann aber gegenüber anderen Projektilen, die höhere Masse, Energie und Schädigungspotential besitzen, vernachlässigt werden. Der Nachweis dazu wird für alle relevanten Gebäude im Rahmen des Gesuches zur Baubewilligung erbracht werden.

Eine Gefährdung von so genannten "Nacktdächern" (Kunststoffolie ohne Schutzschicht) oder Dächern aus dünnen Platten ist prinzipiell möglich. Solche Dächer werden bei qualifizierten Gebäuden aber nicht eingesetzt.

Durch die entsprechende Auslegung der Anlage kann daher eine Gefährdung durch Hagel ausgeschlossen werden.

3.6.2.20 Hochwasser

Hochwasserereignisse und deren Konsequenzen für die Anlagekonzeption sind im Kapitel 3.4.2 behandelt.

3.6.2.21 Hurrikan

Hurrikane, Zyklone oder Taifune sind tropische Wirbelstürme, die über dem Meer entstehen und auch nur über dem Meer längere Zeit existieren können. Treffen solche Wirbelstürme auf das Festland, schwächen sie sich schnell ab. Im Atlantik treten Hurrikane bevorzugt im Karibischen Meer und im Golf von Mexiko auf. Es ist möglich, dass ein Hurrikan sich über dem Festland der USA abschwächt und dann als Tiefdruckgebiet über den Atlantik nordostwärts nach Europa zieht. Die Entstehung eines Hurrikans, der direkt die Schweiz erreicht, ist jedoch nicht möglich.

Eine Gefährdung der neuen Anlage durch Hurrikane kann somit ausgeschlossen werden.

3.6.2.22 Erdbeben

3.6.2.22.1 Generell

Dieses Ereignis und die Konsequenzen für die Anlagekonzeption sind im Kapitel 3.5.2.5 resp. 3.5.4 dargelegt. Eine Analyse der durch Erdbeben ausgelösten möglichen Unfallsequenzen (Brände, Explosionen, Überflutungen, Verlust der externen Stromversorgung) sowie von indirekt durch seismische Aktivität möglicherweise ausgelöste Ereignisse (z.B. Dammbrüche, Industrieunfälle) wird später im Rahmen der deterministischen und probabilistischen Störfallanalysen zur Bau- resp. Betriebsbewilligung durchgeführt.

Das Verhalten der Böden im Erdbebenfall insbesondere in Hinblick auf deren Verflüssigungspotential wird in Kap. 3.5.2.4.3 detailliert beschrieben. Die Beurteilung der sich zur Foundation eignenden Schichten findet sich in Kapitel 3.5.2.4.2. Aus diesen Ausführungen geht hervor, dass die potentiell zur Verflüssigung neigenden Böden ohnehin nicht als Foundationshorizont eignen. Dies wiederum lässt den Schluss zu, dass Beschädigungen auch bei grossen erdbebeninduzierten Beschleunigungen für die sicherheitsrelevanten Anlageteile auszuschliessen sind.

Die detaillierte Beschreibung der Thematik Spontanrutschungen findet sich in Kapitel 3.5.2.4.5. Die Ausdehnung von Spontanrutschungen ist räumlich stark begrenzt und sie bleiben ohne Einfluss auf den Standort. Im Erdbebenfall ist südseitig die Möglichkeit einer Loslösung des Gehängelehms gegeben. Die Kubaturen der Lockergesteine bleiben aber aufgrund des südlich sehr rasch anstehenden Felsens (vgl. Felslage bei der Bohrung RB9/08, siehe Abbildung 3.5-11) beschränkt. Die horizontale Schichtung des Molassefels ist in Bezug auf Problematik der Ablösung von Felspakete sehr günstig und limitiert die Kubaturen im Erdbebenfall auf ein Minimum. Eine

detaillierte Analyse der Sturzbahnen sowie möglicher Schutzvorrichtungen erfolgt im Rahmen der Bau- resp. Betriebsbewilligung.

3.6.2.22.2 Erdbebenereignis beim KKW Kashiwazaki-Kariwa [66]

In 2007 kam es als Folge eines schweren Erdbebens am Standort Kashiwazaki-Kariwa (Japan) zu grossen Ground-Motion-Amplituden (PGA Werte zwischen 0.37 und 0.90 g), welche die Auslegungsbeschleunigungen (PGA Werte von 0.2 bis 0.3 g) erheblich überschritten. Die gemessenen Beschleunigungen zeigten eine grosse Variation im Bereich der sieben Blöcke dieser Kernanlage, was mit standortabhängigen (unterschiedliche Qualität der Lockergesteine) und messtechnischen Effekten (lokale 3D-Wellenausbreitungs- und Interferenzeffekte) erklärt wird. Trotz der hohen Beschleunigungsamplituden gab es kaum Schäden an sicherheitsrelevanten Strukturen. Nur nicht-sicherheitsrelevante Systeme und Komponenten wurden z.T. stark beschädigt, dies hauptsächlich durch Bodenversagen und differenzielle Setzungen; ein Transformatorbrand bzw. die Überflutung eines Reaktorgebäudes wurden durch Verschiebungen bzw. Setzungen bis ca. 1.5 m im Erdreich verursacht.

Die im Rahmen der seismischen Standortuntersuchungen des bestehenden KKM durchgeführten Analysen haben gezeigt, dass bei einer Bodenbeschleunigung von 1.0 g Verschiebungen und Setzungen im Erdreich von höchstens 12 cm zu erwarten sind. Für die Auslegung des EKKM ist die Durchführung von standortspezifischen geotechnischen Untersuchungen der Verschiebungen bzw. Setzungen im Erdreich geplant; die differenzierte Bewegung der verschiedenen Gebäude, Strukturen und Komponenten bei einem Erdbeben kann bei der Auslegung berücksichtigt werden.

Beim Ereignis im KKW Kashiwazaki-Kariwa wurde durch das Versagen elektrischer Durchdringungen von zwei Reaktorgebäuden Radioaktivität aus einem Brennelementbecken freigesetzt. Durch eine geeignete Auslegung des EKKM kann ein solches Versagen sowie auch die Unterspülung der unterirdischen elektrischen Durchdringungen der verschiedenen Gebäude vermieden werden.

3.6.2.23 Extreme Winde, Tornados

Extreme Winde (Sturmböen) und Tornados können die Integrität der Gebäude am Standort gefährden, wenn sie die Belastbarkeit der Strukturen überschreiten. Die Folge wären Kollaps von Wänden oder Umkippen von Gebäuden durch die Windeinwirkung direkt oder indirekt durch aufgewirbelte Gegenstände, welche als Projektile wirken und Anlagestrukturen möglicherweise beschädigen oder zerstören. Darüber hinaus zeigt die bisherige internationale Erfahrung, dass bei starken Winden die Übertragungsnetzanlagen am ehesten betroffen sind. Für die Kernanlage hätte dies zur Konsequenz, dass bei extremen Winden oder Tornados von einem Verlust der externen Stromversorgung ausgegangen werden müsste.

Durch die Auslegung der Kernanlage nach gültigen Baunormen und den Anforderungen aus der Kernenergieverordnung KEV [2], welche eine Auslegung auf die Einwirkungen von starken Erdbeben und unfallbedingtem Flugzeugabsturz vorschreibt, sind die sicherheitsrelevanten Gebäude inhärent sehr gut gegen die Einwirkungen von extremen Winden oder Tornados geschützt. Nach der Kernenergieverordnung KEV [2] wird auch der Verlust der externen Stromversorgung ohne Konsequenzen auf die nukleare Sicherheit beherrscht werden.

Häufigkeit von extremen Winden

Die detaillierte Datenauswertung (siehe Kap. 3.3.3) zeigt, dass am Standort Niederruntigen, wo das KKM seit dessen Inbetriebnahme eine Wettermessstelle betreibt (Meteomast Mühleberg), die stärkste gemessene Windböe während des Sturmereignisses "Lothar" im Dezember 1999 aufgetreten ist. 10 m ü.B. hat man eine maximale Windgeschwindigkeit von 102 km/h gemessen. Beim gleichen Sturmereignis wurden im Flachland Böenspitzen bis zu 158 km/h gemessen. Der Standort Niederruntigen zeichnet sich dadurch aus, dass durch das hügelige Umland die Windstärken gegenüber dem übrigen Mittelland / Flachland deutlich abgeschirmt und gedämpft werden. Um die Gefährdung zu bestimmen, muss die Eintrittswahrscheinlichkeit von deutlich stärkeren Winden mittels statistischer Extremwertanalyse bestimmt werden.

Die Extremwertanalyse (siehe Kapitel 3.3.4), in welcher die maximalen Böenspitzen in den Jahren 1987 bis 2007 ausgewertet wurden, ergibt für den Standort Niederruntigen folgende erwartete Windstärken (Böenspitzen), Tabelle 3.6-2:

Tabelle 3.6-2: Böenspitzen am Standort (10 m ü.B. gemäss Extremwertanalyse aus Kapitel 3.3.4)

Wiederkehrperiode	Windstärke (km/h)	Konfidenzintervall (km/h)
50 Jahre	93.6	[84.2 ; 105.1]
100 Jahre	96.1	[86.0 ; 108.7]
200 Jahre	98.3	[87.5 ; 112.3]
1'000 Jahre	102.2	[89.6 ; 119.2]
10'000 Jahre	106.6	[92.2 ; 127.1]

Auch für Windstärken mit einer Wiederkehrperiode von 10'000 Jahren können die Baunormen bzgl. Windstärken eingehalten werden (z.B. schreibt der SIA-Norm 261 für die Einwirkung auf Tragwerke in Mühleberg bei einer Höhe von 10 m ab Terrainoberfläche einen Auslegungswert von 0.9 kN/m² vor, was umgerechnet in Windgeschwindigkeit etwa 135 km/h bedeutet).

Häufigkeit von Tornados

Jährlich werden in der Schweiz ca. 2 bis 3 Tornados beobachtet, siehe Kap. 3.3.4. In der näheren Umgebung von Niederruntigen ist jedoch noch nie ein solches Wetterphänomen aufgetreten. Seit 1983 werden Tornados systematisch von Meteorologen erfasst. Die Auswertung dieser Daten ergibt für die Schweiz folgende Häufigkeiten von Tornados, Tabelle 3.6-3:

Tabelle 3.6-3: Tornadohäufigkeiten in der Schweiz

Fujita-Skala	Häufigkeit in der Schweiz (pro Jahr)
F0	1.58
F1	7.08E-01
F2	2.24E-01
F3	5.23E-02
F4	9.24E-03
F5	1.40E-03

Diese Gefährdung bezieht sich jedoch auf die Fläche der ganzen Schweiz. Unter Berücksichtigung der Fläche des Schadenszuges und unter der Annahme, dass das Auftreten von Tornados in der Schweiz gleichverteilt ist und das Kraftwerksareal die Dimensionen von ca. 400 m x 400 m hat, ergibt sich die folgende Gefährdung des Standortes Niederruntigen, Tabelle 3.6-4:

Tabelle 3.6-4: Tornadohäufigkeiten am Standort

Fujita-Skala	Häufigkeit in Niederruntigen (pro Jahr)
F0	9.2945 E-5
F1	4.1529 E-5
F2	1.9261 E-5
F3	1.1349 E-5
F4	3.4014 E-6
F5	5.1513 E-7
Total	1.6960 E-4

Mögliche indirekte Gefährdung durch extreme Winde und Tornados

Als indirekte Gefährdungen resp. Ereignisse als Folge eines extremen Windes oder Tornados können folgende Szenarien identifiziert werden:

- a) Verlust der externen Stromversorgung durch Überschreitung der Belastbarkeitsgrenze von Stromnetzleitungen
- b) Eindringen von Wasser, Druckaufbau während des Durchzuges eines extremen Windes / Tornados, Versagen von Glasfenstern
- c) Beschädigungen durch Aufprall von durch den Wind / Tornado beförderte Gegenstände (Projektilwirkung bei Tornados)

Zu a): in den Risikoanalysen wird ein totaler Verlust der externen Stromversorgung als Folgeereignis bei Tornados unterstellt. Für extreme Winde mit Geschwindigkeiten grösser

180 km/h wird dies ebenfalls gemacht, da solche Geschwindigkeiten dem unteren Teil der Geschwindigkeitsbandbreite für Tornados mit Stärke F2 entsprechen.

Zu b): im Nuklearteil (Nuclear Island) der neuen Anlagekonzeptionen sind keine Glasfenster enthalten, somit kann diese Gefährdung ausgeschlossen werden.

Zu c): die Auswirkungen dieser Gefährdung werden durch die Auslegung gegen Flugzeugabsturz (siehe Kap. 3.6.2.25) und Erdbeben (siehe Kap. 3.6.2.22) abgedeckt.

Zusammenfassende Betrachtung

Die meteorologischen Daten zeigen deutlich, dass der Standort Niederruntigen durch seine versteckte Lage im Aaretal vor starken Winden gut geschützt ist. Auch die Häufigkeit von starken Tornados ist gering (obwohl diese Aussage nicht standortspezifisch ist). Die Auslegungsanforderungen aus der Kernenergieverordnung KEV [2] für eine neue Kernanlage decken die Bemessungsvorgaben für Windlasten ab, sodass von extremen Winden und Tornados durch die geringen Eintrittshäufigkeit und der starken Dimensionierung der Gebäude nur ein sehr geringer Beitrag zum Anlagenrisiko ausgehen wird.

Die (direkten und indirekten) Gefährdungen durch extreme Winde und Tornados werden bei der Projektierung der neuen Anlage detailliert untersucht, unter Berücksichtigung der geltenden behördlichen Anforderungen.

3.6.2.24 Überflutung

Die Überflutungsereignisse sowie deren Konsequenzen für den Standort Niederruntigen sind im Kapitel 3.4.3 dargelegt. Durch Terrassendimensionierung und Auslegung der Anlage wird ein ausreichender Schutz gegen die Einwirkung von Überflutungsereignissen (Hochwasser, Dammbrüche) gewährleistet sein.

3.6.2.25 Unfallbedingter Flugzeugabsturz

Eine Kernanlage am Standort Niederruntigen kann durch den Absturz eines Flugzeuges gefährdet werden. Gemäss den Auslegungsanforderungen der Aufsichtsbehörde muss die nukleare Sicherheit auch bei einem Flugzeugabsturz gewährleistet werden können. Damit müssen die sicherheitsrelevanten Bauwerke entsprechend bemessen werden.

Die Häufigkeit eines unfallbedingten Flugzeugabsturzes wird auf der Basis der Luftraumtopologie, der Anzahl Flugbewegungen und der internationalen Erfahrung bezüglich Flugzeugabstürzen mit Hilfe von Berechnungsmodellen bestimmt. Die Berechnungsmodelle basieren auf der Überlegung, dass die Häufigkeit F' eines unfallbedingten Flugzeugabsturzes linear von den drei Faktoren "Anzahl Flugbewegungen" N , "Wahrscheinlichkeit eines Absturzes je Flugbewegung" C und "bedingte Wahrscheinlichkeit eines Absturzes in einem Flächenquadrat (1 km^2) am Punkt x, y " $f(x, y)$ abhängig ist:

$$F' = N \cdot C \cdot f(x, y)$$

Wird diese Grösse F' mit der anlagen- resp. gebäudespezifischen "virtuellen Gebäudefläche" A multipliziert ($F = F' \cdot A$), ergibt dies die anlagen- resp. gebäudespezifische Häufigkeit eines unfallbedingten Flugzeugabsturzes F für den Standort (x, y) . Letztere wird erst zum Zeitpunkt der Konkretisierung der Bauphase des neuen Kernkraftwerkes bestimmt, da hierfür die Dimensionen

der Gebäude und des Areals bekannt sein müssen. Unabhängig davon kann aber die Häufigkeit eines unfallbedingten Flugzeugabsturzes pro Quadratkilometer F' bereits ermittelt werden.

Die Luftraumtopologie in einem Umkreis von 50 km um den Standort Niederruntigen umfasst:

- 4 Regionalflughäfen (Bern-Belp, Ecuwillens, Grenchen, Les Eplatures)
- 11 Flugfelder (Bellechasse, Biel-Kappelen, Courtelary, Delémont [Corroux], Gruyères, Langenthal, Môtiers, Neuchâtel, Reichenbach, Thun, Zweisimmen)
- 1 Militärflugfeld (Payerne).

Von Bedeutung für den Standort Niederruntigen sind zudem die Flugkorridore zwischen Zürich und Genf sowie die Zugangskorridore des Militärflugplatz Payerne zu den Übungsgebieten im Berner Oberland und im Jura.

Die internationale Erfahrung bezüglich Flugzeugabstürzen zeigt, dass es zur Auswertung der vorhandenen Daten sinnvoll ist, Absturzhäufigkeiten nach Gewichtsklassen und ggf. nach Flugphasen zu gruppieren:

- Grossflugzeuge (Gewicht grösser als 20 t) mit Unterteilung nach Flugphasen: Transitflug, Start / Landung
- Flugzeuge (Gewicht zwischen 5.7 und 20 t) mit Unterteilung nach Flugphasen: Transitflug, Start / Landung
- Leichtflugzeuge (Gewicht kleiner als 5.7 t) mit Unterteilung nach Flugphasen: Transitflug, Start / Landung
- Militärflugzeuge (Gewicht zwischen 5.7 und 20 t und Gewicht kleiner als 5.7 t) mit Unterteilung nach Flugphasen: Transitflug, Start / Landung.

Absturzhäufigkeit von Grossflugzeugen

Grossflugzeuge mit einem Gewicht grösser als 20 t starten und landen nur von den Flugplätzen Bern-Belp und Payerne, wobei an beiden Orten der Anteil von solchen Flugzeugen gegenüber der Gesamtzahl von jährlichen Bewegungen klein ist.

In Bern-Belp sind das jährlich im Durchschnitt rund $N = 5000$ Flugzeuge mit einem Gewicht von mehr als 20 t, die starten und landen. Diese Anzahl Bewegungen ergibt sich aus Berechnungen von Daten des Bundesamtes für Statistik BFS aus dem Zeitraum von 1995–2007 [97]. Um N zu berechnen wurden die Zahlen aller Flugzeugtypen basierend auf den Angaben des Flughafens Bern-Belp des Jahres 2005 auf die entsprechenden Gewichtsklassen aufgeteilt. Nach Angaben des Flughafens Bern-Belp hat die Anzahl Flugbewegungen seit 1980 im Trend stets abgenommen und sich in den letzten Jahren stabilisiert. Es kann davon ausgegangen werden, dass diese Anzahl auch zukünftigem Flugaufkommen entspricht, weil trotz der kürzlich getätigten Pistenverlängerung keine Veränderung in der verkehrstechnischen Bedeutung des Flughafens Bern-Belp absehbar ist. Davon geht auch eine Studie des Bundesamtes für Zivilluftfahrt BAZL [96] aus, welche einen durchschnittlichen Anstieg der Flugbewegungen von 2000-2020 auf regionalen Flughäfen von lediglich 0.1% pro Jahr prognostiziert.

In Payerne sind es weniger als $N < 30$ pro Jahr. Dies geht basierend auf den Referenzjahren 2006 und 2007 aus einer Berechnung aller Flugbewegungen des Flughafens Payerne über den Zeitraum von 1999-2007 hervor. Die Gefährdung durch Starts und Landungen von Flugzeugen von mehr als

20 t in Payerne ist aufgrund der geringen Anzahl um Grössenordnungen kleiner (ca. $1E-10$) als die anderen beiden Beiträge und ist deshalb für die Berechnung vernachlässigbar.

Zur Bestimmung der Absturzwahrscheinlichkeit je Flugbewegung wurden verschiedene, generische Datenquellen herangezogen: Statistiken von Boeing [98], vom amerikanischen Energieministerium USDOE [99], eine für den Flughafen Zürich verfasste Studie [100], sowie die von der Aufsichtsbehörde vorgeschlagenen Werte [93] und eine Analyse der Absturzgeschichte in der Schweiz [101], [97]. Letztere zeigt, dass zwischen 1960 und 2007 auf insgesamt 12.3 Mio. Flugbewegungen von Flugzeugen mit einem Gewicht (> 20 t) in der Schweiz lediglich 6 Abstürze während des Starts oder der Landung passiert sind.

Die Absturzwahrscheinlichkeit je Start und Landung (C) wird anhand eines Logikbaums mit Gewichtung der verschiedenen Methoden berechnet. Die Berücksichtigung verschiedener Datenquellen verringert dabei die hinsichtlich des Modells vorhandene Unsicherheit. Die Daten der Unfallstatistik werden mit einem hohen Gewicht von 0.5 versehen, da sie sich ausschliesslich auf Schweizer Daten und Flugzeuge der Gewichtsklasse (> 20 t) stützen. Alle anderen Methoden beinhalten Flugzeuge der Gewichtsklasse 1 und 2 (Flugzeuge > 5.7 t). Die von der Behörde vorgeschlagene Methode [93] wird mit 0.2 gewichtet, da es sich um ein aktuelleres Verfahren handelt. Die Studie des Flughafens Zürich wird mit 0.15 gewichtet. Die USDOE Statistik hat durch den grösseren Umfang des Datenmaterials zwar eine höhere statistische Genauigkeit als die Schweizer Daten, jedoch beziehen sich diese Werte ausschliesslich auf die USA bis ins Jahr 1996. Deshalb wird diese Methode mit einer Gewichtung von 0.12 berücksichtigt. Die Statistiken von Boeing verwendet weltweite Daten und stellt für die Schweiz eher einen „upper bound“ Wert dar, da darin auch Daten von Charterunternehmen jeglicher Herkunft enthalten sind. Sie erhält deshalb eine tiefe Gewichtung von 0.03. Die Zahlen der letzten zehn Jahre werden stärker gewichtet, da diese infolge technischer Entwicklung der Luftfahrt ein besseres Abbild der heutigen Flugsicherheit gewährleisten. Die Absturzwahrscheinlichkeit für Grossflugzeuge bei Start und Landung ist in der Tabelle 3.6-5 dargestellt.

Tabelle 3.6-5 : Berechnung C, Grossflugzeuge, Start & Landung, Bern-Belp

	C	Bern-Belp	> 20 t	Start & Landung	Mean	5.3E-07
					σ	2.39E-07
	Modell	Gewichtung	Parameter	Gewichtung	C	Finale Gewichtung
Berechnung von C, Absturzrate pro Flugbewegung in der Start- und Landephase	Unfallstatistik	0.5	95% Percentile	0.05	6.33E-07	0.025
			Best estimate	0.9	4.87E-07	0.450
			5% Percentile	0.05	3.64E-07	0.025
	Ref. [93]	0.2	95% Percentile	0.05	1.68E-06	0.010
			Mean	0.9	7.80E-07	0.180
			5% Percentile	0.05	1.86E-07	0.010
	Boeing (Commercial > 5.7 t)	0.03	1993 bis 2003	0.6	7.20E-07	0.018
			1959 bis 2003	0.4	1.24E-06	0.012
	USDOE (Commercial > 5.7 t)	0.12	N.A.	--	4.80E-07	0.120
	Zurich airport (Commercial > 5.7 t)	0.15	N.A.	--	3.10E-07	0.150

Die Berücksichtigung der verschiedenen Datenquellen führt zu einer Absturzwahrscheinlichkeit je Start oder Landung von Grossflugzeugen (> 20 t) von $C = 5.4E-07$.

Aus Berücksichtigung der geografischen Verhältnisse und der internationalen Erfahrung, welche zeigt, dass die bedingte Wahrscheinlichkeit eines Absturzes umso grösser wird, je näher das Ereignis an der Piste und der Pistenachse liegt, erschliesst sich der Faktor $f(x, y)$.

Dabei fliessen sowohl das von der Behörde vorgeschlagene Modell [93] wie auch das amerikanische Standardverfahren nach USDOE in die Berechnung mit ein. Dem Behördenmodell kommt dabei eine tiefe Gewichtung von 0.1 zu, da die Distanz zum Flughafen und die Pistenausrichtung nicht explizit enthalten sind. Zudem variiert die Flughöhe von Flugzeugen im Abstand von 50 km zum Flughafen sehr stark.

Nach Berechnungen der gewichteten Modellparameter gemäss Tabelle 3.6-6, beträgt dieser Faktor für den Standort Niederruntigen $f(x, y) = 1.2E-05$ pro Quadratkilometer für Starts und Landungen in Bern-Belp.

Tabelle 3.6-6 : Berechnung $f(x, y)$ Grossflugzeuge, Start & Landung, Bern-Belp

	f	Bern-Belp	> 20 t	Start & Landung	Mean	1.23E-05
					σ	2.51E-05
	Modell	Gewichtung	Parameter	Gewichtung	F	Finale Gewichtung
Berechnung von $f(x, y)$, bedingte Flugzeugabsturz-wahrscheinlichkeit pro Quadratkilometer	Ref. [93]	0.1	Lower bound	0.10	1.01E-05	0.01000
			Best estimate	0.85	6.88E-05	0.08500
			Upper bound	0.05	1.28E-04	0.00500
	USDOE	0.9	Lower bound	0.10	3.49E-07	0.09000
			Best estimate Takeoff	0.40	3.36E-06	0.36000
			Best estimate Landing	0.40	3.63E-06	0.36000
			Upper bound	0.10	3.49E-05	0.09000

Die Multiplikation der drei obigen Faktoren, unter Berücksichtigung von Unsicherheiten, ergibt eine Gefährdung des Standortes Niederruntigen durch Starts und Landungen von Flugzeugen schwerer als 20 t in Bern-Belp von $F' = 3.9\text{E-}08$ pro Jahr und Quadratkilometer.

Grossflugzeuge mit einem Gewicht grösser als 20 t sind in grosser Zahl im Transitkorridor über dem Standort Niederruntigen unterwegs. Abschätzungen und Flugraumsimulationen aufgrund der IFR annual flights Daten von skyguide ([102] bis [104]) über den Zeitraum von 1999-2006 lassen darauf schliessen, dass es sich in diesem Korridor jährlich um rund $N = 266'000$ Grossflugzeuge handelt. Die Tendenz über die letzten Jahre zeigt, dass seit dem starken Rückgang nach dem 11. September 2001 die Anzahl Flugbewegungen kontinuierlich angestiegen ist. Es kann deshalb davon ausgegangen werden, dass der Flugverkehr und damit auch der Flugkorridor Zürich-Genf in Zukunft eher noch an Bedeutung gewinnen wird. Eine Studie des BAZL [96] geht dabei von einem durchschnittlichen Ansteigen der Flugbewegungen von 2.9% pro Jahr aus. Mit dem Anstieg der Flugbewegungen N wird auch die Wahrscheinlichkeit eines unfallbedingten Flugzeugabsturz am Standort Niederruntigen ansteigen.

Die Auswertung der Boeing-Flugunfallstatistik zeigt deutlich, dass die Absturzwahrscheinlichkeit während des Transitfluges deutlich geringer als während des Starts und insbesondere während der Landung ist. Gemäss dieser Statistik sind 18.5% der Unfälle während der Flugphase Transitflug passiert. Unter Berücksichtigung der CH-spezifischen Datenlage lässt sich die Absturzwahrscheinlichkeit von $C = 9.0\text{E-}08$ pro Flugbewegung während der Flugphase Transitflug erschliessen.

Zur Ermittlung der bedingten Wahrscheinlichkeit, dass ein Flugzeugabsturz, welcher im Korridor oberhalb des Standortes Niederruntigen seinen Ursprung hat, den Standort trifft, sind wiederum geometrische Überlegungen notwendig. Dazu wird angenommen, dass diese Wahrscheinlichkeit umgekehrt proportional zum Produkt aus der Breite des Korridors und der mittleren Länge der Wegstrecke im Transitflug ist. Aus der Boeing-Statistik geht hervor, dass die mittlere Flugdauer 1.5 h beträgt; multipliziert mit einer gewichteten, mittleren Geschwindigkeit ergibt eine mittlere Fluglänge von 1105 km. Die gewichtete Breite der beiden Flugkorridore über dem Standort Niederruntigen lässt sich aus Flugspurenbildern und den Angaben von der Luftraumüberwachungsagentur zu ungefähr 20 km abschätzen. Damit ergibt sich die bedingte

Wahrscheinlichkeit eines Absturzes aus der Flugphase Transitflug am Standort Niederruntigen von $f(x, y) = 4.9E-05$ pro Quadratkilometer.

Nach dem gleichen Modellansatz wie für Abstürze während Starts und Landungen, d.h. durch Multiplikation der drei Faktoren, ergibt sich damit eine Absturzhäufigkeit am Standort Niederruntigen für Grossflugzeuge (> 20 t) in der Transitphase von $F' = 1.3E-06$ pro Jahr und Quadratkilometer. Von der Aufsichtsbehörde und vom USDOE werden andere Modellansätze zur Bestimmung der Absturzhäufigkeit benutzt, welche jedoch zu deutlich tieferen Werten führen. Um die epistemische Unsicherheit einzubeziehen, welche in diesen Modellen steckt, werden auch diese in einer gewichteten Berechnungen mitberücksichtigt. Für das Modell nach [93] wurde dabei mit einem Gleitfaktor $g = 17$, einer horizontalen Distanz $b = 0$, der vorgegebenen Absturzrate $P = 5.8E-11$ und einer Flughöhe $= 9$ km gerechnet.

So ergibt sich schliesslich eine Absturzhäufigkeit für Grossflugzeuge im Transitflug von $F' = 7.0E-07$ pro Jahr und Quadratkilometer am Standort Niederruntigen, siehe Tabelle 3.6-7.

Tabelle 3.6-7 : Berechnung $F' = N \cdot C \cdot f(x, y)$, Grossflugzeuge, Transit, Zürich-Genf

	F'	Zürich-Genf	> 20 t	Transit	Mean	6.98E-07
					StdDev	8.68E-07
	Modell	Gewichtung	Parameter	Gewichtung	NPf	Finale Gewichtung
Berechnung von F', Absturzwahrscheinlichkeit am Standort im Transitflug	Unfallstatistik	0.45	Upper bound (95% quantile)	0.05	2.83E-06	0.023
			Best estimate (mean)	0.9	1.25E-06	0.405
			Lower bound (5% quantile)	0.05	3.80E-07	0.023
	Ref. [93]	0.45	Upper bound (95% quantile)	0.05	1.46E-07	0.023
			Best estimate (mean)	0.9	6.74E-08	0.405
			Lower bound (5% quantile)	0.05	2.25E-08	0.023
	USDOE	0.1	Maximum	0.05	5.00E-06	0.005
			Average Conus	0.9	7.00E-07	0.09
			Minimum	0.05	2.35E-07	0.005

Die gesamte Gefährdung am Standort Niederruntigen durch unfallbedingte Abstürze von Flugzeugen mit einem Gewicht von mehr als 20 t beider Flugphasen beträgt somit total $F' = 7.4E-07$ pro Jahr und Quadratkilometer.

Absturzhäufigkeit von mittleren Verkehrsmaschinen

Für Flugzeuge der Gewichtskategorie 5.7-20 t sind die Starts und Landungen auf den Regionalflughäfen Bern-Belp, Grenchen, Ecuwillens und Les Eplatures massgebend.

Nach Daten des Flughafenbetreibers Bern-Belp sind auf Basis der Zahlen von 2005, über den Zeitraum 1997-2007 in Bern-Belp hochgerechnet im Mittel jährlich rund $N = 6900$ Flugzeuge dieser Gewichtsklasse gestartet und gelandet. Nach Angaben des Flughafen Grenchen von 2005-2007 erfolgen im Mittel $N = 3300$ Starts und Landungen von Flugzeugen dieser Gewichtsklasse pro Jahr. Ausgehend von den Angaben des Flughafen Ecuwillens von 2005-2007 erfolgen jährlich im Mittel $N = 400$ Starts und Landungen von Flugzeugen dieser Gewichtsklasse. Nach Angaben des Flughafen Les Eplatures von 2005-2007 erfolgen im Mittel $N = 300$ Starts und Landungen von Flugzeugen dieser Gewichtsklasse pro Jahr.

Seit 1980 hat die Anzahl Flugbewegungen mittlerer Flugzeuge in Bern-Belp im Trend stets abgenommen. Es kann davon ausgegangen werden, dass damit die Anzahl Bewegungen auch zukünftigem Flugaufkommen entspricht, weil keine Veränderung in der verkehrstechnischen Bedeutung des regionalen Flughafens Bern-Belp abzusehen ist. Bei den drei regionalen Flughäfen Grenchen, Ecuwillens und Eplatures waren die Bewegungen über den beobachteten Zeitraum von 3 Jahren stabil. Es ist jedoch anhand des kurzen Zeitraums der Daten kaum eine Aussage über zukünftiges Verkehrsaufkommen möglich. Es kann jedoch vermutet werden, dass keine Veränderung in der verkehrstechnischen Bedeutung der Regionalflughäfen zu erwarten ist und somit die Flugbewegungen kaum überdurchschnittlich anwachsen werden. Davon geht auch die Studie des BAZL [96] aus, welche ein Anstieg der Flugbewegungen von 2000- 2020 von 0.1% pro Jahr prognostiziert.

Für diese Gewichtsklasse wird zur Bestimmung der Absturzhäufigkeit am Standort Niederruntigen das gleiche Vorgehen, sowohl für die Absturzwahrscheinlichkeit, wie auch für die bedingte Absturzwahrscheinlichkeit am Standort Niederruntigen, gewählt.

Die Berücksichtigung der verschiedenen Datenquellen führt zu einer Absturzwahrscheinlichkeit je Start oder Landung von Flugzeugen mit einem Gewicht zwischen 5.7 und 20 t von $C = 6.6E-07$, siehe Tabelle 3.6-8.

Tabelle 3.6-8: Berechnung C, mittlere Flugzeuge, Start & Landung, Regionale Flughäfen

	C	Regionale Flughäfen	5.7 t < x < 20 t	Start & Landung	Mean	6.57E-07
					σ	2.52E-07
	Modell	Gewichtung	Parameter	Gewichtung	P	Final Gewichtung
Berechnung von C, Absturzrate pro Bewegung in der Start- und Landephase	Unfallstatistik	0.5	95% Percentile	0.05	9.50E-07	0.025
			Best estimate	0.9	7.31E-07	0.450
			5% Percentile	0.05	5.47E-07	0.025
	Ref. [93]	0.2	95% Percentile	0.05	1.68E-06	0.010
			Mean	0.9	7.80E-07	0.180
			5% Percentile	0.05	1.86E-07	0.010
	Boeing (Commercial > 5.7 t)	0.03	1993 bis 2003	0.6	7.20E-07	0.018
			1959 bis 2003	0.4	1.24E-06	0.012
	USDOE (Commercial > 5.7 t)	0.12	N.A.	--	4.80E-07	0.120
	Zurich airport (Commercial > 5.7 t)	0.15	N.A.	--	3.10E-07	0.150

Die bedingte Wahrscheinlichkeit eines Flugzeugabsturzes am Standort Niederruntigen durch Starts und Landungen von den verschiedenen Regionalflyghäfen wird auf die gleiche Weise wie für Grossflugzeuge (> 20 t), als gewichtetes Mittel durch das von den Behörden vorgeschlagenen Modell und nach dem Ansatz von USDOE, berechnet. Dies ergibt einen Wert für die bedingte Wahrscheinlichkeit eines Flugzeugabsturzes am Standort Niederruntigen von $f(x, y) = 1.8E-05$ pro Quadratkilometer für Bern-Belp, $8.2E-06$ pro Quadratkilometer für Grenchen, $9.1E-06$ pro Quadratkilometer für Ecuwillens und $8.2E-06$ pro Quadratkilometer für Les Eplatures.

Durch die Multiplikation der drei Faktoren und unter Berücksichtigung von Unsicherheiten ergibt sich eine Gefährdung des Standortes Niederruntigen von $F' = 8.9E-08$ pro Jahr und Quadratkilometer für Starts und Landungen in Bern-Belp. Auf gleicher Art und Weise ermittelt man $F' = 2.0E-08$ pro Jahr und Quadratkilometer durch Starts und Landungen in Grenchen, sowie für Ecuwillens und Les Eplatures $F' = 3.2E-09$ resp. $F' = 2.1E-09$ pro Jahr und Quadratkilometer.

Nach Zahlen von Skyguide von 1999- 2006 überqueren jährlich im Mittel rund $N = 29'500$ Zivilflugzeuge der Gewichtsklasse 5.7-20 t im Transitflug den Standort Niederruntigen. Nach dem gleichen Modellansatz wie für Grossflugzeuge ergibt sich eine Gefährdung durch diesen Flugzeugtyp im Transitflug von $F' = 2.0E-07$ pro Jahr und Quadratkilometer.

Damit ergibt sich eine gesamte Gefährdung des Standortes Niederruntigen durch Abstürze von mittleren Verkehrsmaschinen mit einem Gewicht zwischen 5.7 und 20 t beider Flugphasen von insgesamt $F' = 3.1E-07$ pro Jahr und Quadratkilometer.

Absturzhäufigkeit von Leichtflugzeugen

Ein weiteres Gefährdungspotential am Standort Niederruntigen sind Abstürze von Leichtflugzeugen, d.h. Flugzeuge mit einem Gewicht von weniger als 5.7 t.

Zusätzlich zum Flughafen Bern-Belp und den Regionalflughäfen Grenchen, Ecuvillens und Les Eplatures sind für diese Gewichtsklasse auch die Starts und Landungen auf allen umliegenden Flugfeldern massgebend. Dies sind die Flugfelder Bellechasse, Biel Kappelen, Courtelary, Delémont [Corroux], Gruyères, Langenthal, Môtiers, Neuchâtel, Reichenbach, Thun und Zweisimmen.

Aufgrund mangelnder Daten zu einzelnen Flugbewegungen auf allen Flugfeldern wird eine angepasste Methode für Leichtflugzeuge verwendet. Die Absturzrate wird deshalb pro Jahr und nicht pro Flugbewegungen pro Jahr berechnet. Nach Daten des BAZL sind von 1980- 2006 64 Flugzeuge der Gewichtskategorie 3 während der Start- und Landephase abgestürzt. Es gibt in der Schweiz 68 Flughäfen und Flugfelder, welche Landungen von Leichtflugzeugen ermöglichen. Davon befinden sich 16 in der Nähe, Distanz geringer als 50 km, des Standorts Niederruntigen. Betrachtet man den Absturz eines Leichtflugzeugs als gegeben, ergibt sich daraus die Wahrscheinlichkeit von $P = 0.235$, dass sich der Absturz auf einem Flughafen in der Nähe von Niederruntigen ereignet. Daraus ergibt sich unter Berücksichtigung aller Abstürze seit 1980 die Absturzwahrscheinlichkeit von $P = 0.56$ pro Jahr für Leichtflugzeuge.

Zur Ermittlung der bedingten Wahrscheinlichkeit, dass ein Flugzeugabsturz, welcher durch den Start oder die Landung eines Leichtflugzeugs in der Nähe erfolgt, den Standort Niederruntigen trifft, sind wiederum geometrische Überlegungen notwendig. Nach Standardansatz USDOE wird jedem Flughafen eine Wahrscheinlichkeit nach seiner Distanz und Lage zum Standort Niederruntigen zugewiesen. Da die verschiedenen Flughäfen von ihrer Anzahl Flugbewegungen nicht gleichbedeutend sind, wurden sie entsprechend den Bewegungsdaten von 2007 gewichtet.

Durch die Berechnung ergibt sich die bedingte Wahrscheinlichkeit eines Absturzes aus der Start- und Landephase von Leichtflugzeugen am Standort Niederruntigen von $f(x, y) = 2.9E-06$ pro Quadratkilometer, siehe Tabelle 3.6-9.

Tabelle 3.6-9: Berechnung $f(x, y)$ Leichtflugzeuge, Start & Landung, Flughäfen & Flugfelder

Berechnung von $f(x, y)$, bedingte Flugzeugabsturzwahrscheinlichkeit pro Quadratkilometer, gegeben eines Absturzes	f	< 5.7 t	Landung & Start				Mean	2.90E-06
	Flughafen	Koordinaten	Distanz [km]	Phase	f pro Phase	f pro Flughafen	σ	1.65E-05
							Bewegungen 2007	Gewichtung
	Bellechasse	x	10.0	Landung	1.93E-04	1.10E-04	4'612	0.01969
		y	2.5	Start	2.72E-05			
	Biel-Kappel.	x	10.5	Landung	2.12E-05	1.11E-05	7'097	0.03030
		y	8.5	Start	1.00E-06			

Berechnung von f(x, y), bedingte Flugzeugabsturz- wahrscheinlich-	f	< 5.7 t	Landung & Start				Mean	2.90E-06
							σ	1.65E-05
	Flughafen	Koordinaten	Distanz [km]	Phase	f pro Phase	f pro Flughafen	Bewegungen 2007	Gewichtung
Bern-Belp	x	15.6	Landung	4.66E-06	2.38E-06	42'825	0.18284	
	y	9.0	Start	1.00E-07				
Grenchen	x	19.5	Landung	1.00E-07	1.00E-07	64'930	0.27722	
	y	17.0	Start	1.00E-07				
Ecuvillens	x	11.0	Landung	1.00E-07	1.00E-07	22'732	0.09706	
	y	24.0	Start	1.00E-07				
Courtelary	x	27.5	Landung	3.86E-06	1.98E-06	8'445	0.03606	
	y	0.0	Start	1.00E-07				
Eplatures	x	>>	Landung	1.00E-07	1.00E-07	10'921	0.04663	
	y		Start	1.00E-07				
Delemont	x		Landung	1.00E-07	1.00E-07	N.A.	N.A.	
	y		Start	1.00E-07				
Gruyères	x		Landung	1.00E-07	1.00E-07	17'282	0.07379	
	y		Start	1.00E-07				
Langenthal	x		Landung	1.00E-07	1.00E-07	15'461	0.06601	
	y		Start	1.00E-07				
Motiers	x		Landung	1.00E-07	1.00E-07	2'253	0.00962	
	y		Start	1.00E-07				
Neuchâtel	x		Landung	1.00E-07	1.00E-07	14'711	0.06281	
	y		Start	1.00E-07				

Berechnung von $f(x, y)$, bedingte Flugzeugabsturz-wahrscheinlich-	f	< 5.7 t	Landung & Start				Mean	2.90E-06
							σ	1.65E-05
	Flughafen	Koordinaten	Distanz [km]	Phase	f pro Phase	f pro Flughafen	Bewegungen 2007	Gewichtung
	Reichenbach	x		Landung	1.00E-07	1.00E-07	5'662	0.02417
		y		Start	1.00E-07			
	Thun	x		Landung	1.00E-07	1.00E-07	10'865	0.04639
		y		Start	1.00E-07			
	Zweisimmen	x		Landung	1.00E-07	1.00E-07	6'263	0.02674
		y		Start	1.00E-07			
	Payerne	x		Landung	1.00E-07	1.00E-07	159	0.00068
		y		Start	1.00E-07			

Durch die Multiplikation der beiden Faktoren P und $f(x, y)$, unter Berücksichtigung von Unsicherheiten, ergibt sich eine Absturzhäufigkeit durch die Starts und Landungen von Leichtflugzeugen (< 5.7 t) am Standort Niederruntigen von $F' = 1.8E-06$ pro Jahr und Quadratkilometer.

Dazu kommen mögliche Abstürze von Leichtflugzeugen aus der Transitphase. Wie bei der Start- und Landephase kann die Absturzrate nur pro Jahr berechnet werden. Nach den Daten des BAZL sind zwischen 1980 und 2006 insgesamt 165 Leichtflugzeuge (inkl. Helikopter) abgestürzt. Daraus ergibt sich eine Absturzwahrscheinlichkeit für die ganze Schweiz von $P = 6.1$ pro Jahr. Da Leichtflugzeuge nicht in bestimmten Flugkorridoren fliegen, kann sich ein Unfall an einem beliebigen Standort in der Schweiz ereignen. Deshalb wird für die bedingte Absturzwahrscheinlichkeit auf den Standort Niederruntigen durch Leichtflugzeuge in der Transitphase die Absturzwahrscheinlichkeit durch die gesamte Fläche der Schweiz (41'285 km²) geteilt. Damit ergibt sich die bedingte Wahrscheinlichkeit eines Absturzes aus der Transitphase von Leichtflugzeugen am Standort Niederruntigen von $f(x, y) = 2.4E-05$ pro Quadratkilometer.

Dies ergibt durch die Multiplikation der beiden Faktoren P und $f(x, y)$, unter Berücksichtigung von Unsicherheiten, eine Absturzhäufigkeit am Standort Niederruntigen für Leichtflugzeuge in der Transitphase (< 5.7 t) von $F' = 1.6E-04$ pro Jahr und Quadratkilometer.

Damit ergibt sich eine gesamte Gefährdung des Standortes Niederruntigen durch Abstürze von Leichtflugzeugen beider Flugphasen von insgesamt $F' = 1.7E-04$ pro Jahr und Quadratkilometer.

Das private Flugaufkommen in der Schweiz ist in den letzten Jahren konstant geblieben [102] und vor allem vom Wetter abhängig. Davon geht auch die Studie des BAZL [96] aus: diese prognostiziert einen konstanten privaten Flugverkehr in der Schweiz bis 2030.

Absturzhäufigkeit von Militärflugzeugen

Ein weiteres Gefährdungspotential am Standort Niederruntigen sind Abstürze von Militärmaschinen. Dabei werden die Maschinen nach Gewichtsklassen, zwischen 5.7 und 20 t und kleiner als 5.7 t, unterschieden. Für den Standort Niederruntigen sind durch die Auswertung von Daten des Flughafens Payerne jährlich rund $N = 5200$ Flugbewegungen mittlerer Militärmaschinen relevant.

Die Auswertung der Schweizer Militärflugunfallstatistik [105] über den Zeitraum von 1985-2006 ergibt eine Absturzrate je Flugbewegung von $C = 1.3E-06$ in der Start- und Landephase für Militärflugzeuge der mittleren Gewichtskategorie. Dabei wurden Flugzeugtypen, die ausgemustert wurden oder nur noch sehr selten im Einsatz sind, bei der Auswertung weniger stark gewichtet.

Für die Berechnung der bedingten Wahrscheinlichkeit eines Absturzes auf den Standort Niederruntigen wurde die auf effektiven statistischen Erhebungen basierende Methode des USDOE und die durch die Behörden vorgeschriebene Methode, mit einer Gleitzahl $g = 8$ und einer mittleren Flughöhe von $h = 3$, verwendet und gewichtet.

Dies ergibt einen Wert von $f(x, y) = 5.7E-05$ für Starts und Landungen mittlerer Militärmaschinen am Standort Niederruntigen, siehe Tabelle 3.6-10.

Tabelle 3.6-10: Berechnung $f(x, y)$ mittlere Militärflugzeuge, Start & Landung, Payerne

	f	Payerne	5.7 t < m < 20 t	Start & Landung	Mean	5.70E-05
					σ	2.04E-04
	Modell	Gewichtung	Parameter	Gewichtung	f	Finale Gewichtung
Berechnung von $f(x, y)$, bedingte Flugzeugabsturz-wahrscheinlichkeit pro Quadratkilometer	Ref. [93]	0.1	Lower bound	0.10	5.53E-05	0.010
			Best estimate	0.85	5.53E-04	0.085
			Upper bound	0.05	1.20E-03	0.005
	USDOE	0.9	Lower bound	0.10	2.17E-07	0.090
			Best estimate (takeoff)	0.40	1.00E-06	0.360
			Best estimate (landing)	0.40	3.33E-06	0.360
			Upper bound	0.10	2.17E-05	0.090

Unter Berücksichtigung von Unsicherheiten beläuft sich die resultierende Gefährdung für den Standort Niederruntigen auf $F' = 4.5E-07$ pro Jahr und Quadratkilometer für Abstürze von mittleren Militärmaschinen im An- oder Abflug von Payerne.

Die Anzahl Flugbewegungen pro Jahr in der Transitphase lässt sich aus anhand der Daten [105] zu Starts und Landungen militärischer Flugzeuge berechnen. Aufgrund der stark sinkenden Anzahl an militärischen Flugbewegungen werden dabei nur die Jahre 1998-2007 berücksichtigt. Die gesamte Anzahl an Flugbewegungen mittlerer Militärmaschinen wird als die Hälfte aller Starts und Landungen in der Zeitperiode 1998-2007 auf ca. 163'000 geschätzt.

Dies ergibt ca. 16'300 Flugbewegungen mittlerer Militärmaschinen in der Schweiz pro Jahr. Dies ist aber ein zu konservativer Wert, da dabei davon ausgegangen wird, dass jedes Militärflugzeug am Standort Niederruntigen vorbeifliegen könnte. Dies ist aber in der Realität nicht der Fall, da sich die militärischen Flugzeuge hauptsächlich von Flughafen zu Flughafen oder in den Zugangskorridoren zu den Übungszonen bewegen. Die Zugänge zu den Übungszonen im Jura und den Alpen führen dabei in einiger Distanz am Standort Niederruntigen vorbei. Deshalb werden die 16'300 Bewegungen für den Standort Niederruntigen als einen „upper bound“ Wert, 95% Quantil einer Lognormalverteilung mit einem Error-Faktor = 5 betrachtet. Damit ergibt sich ein Mittelwert von knapp $N = 5300$ Flugbewegungen mittlerer Militärflugzeuge, welche den Standort Niederruntigen unmittelbar überqueren.

Die Auswertung der Schweizer Militärflugunfallstatistik [105] von 1985-2007 ergibt, dass sich in diesem Zeitraum in der ganzen Schweiz 4 relevante Abstürze mittlerer Militärmaschinen während der Transitphase ereignet haben. Dabei wurden Flugzeugtypen, die ausgemustert wurden oder nur noch sehr selten im Einsatz sind, bei der Auswertung weniger stark gewichtet. Dies ergibt eine Absturzrate je Flugbewegung in der Schweiz für Militärflugzeuge der mittleren Gewichtskategorie von $C = 4.2E-06$ in der Flugphase. Da Militärjets im Prinzip nicht an Flugkorridore gebunden sind und über der gesamten Schweiz fliegen, kann davon ausgegangen werden, dass Abstürze über die ganze Schweiz gleichverteilt sind. Für die Ermittlung der bedingten Wahrscheinlichkeit eines Absturzes in der Transitphase an einem bestimmten Standort wurde deshalb ein Wert von $1/\text{Fläche der Schweiz}$, d.h. $f = 2.4E-5$ pro Quadratkilometer angenommen.

Die Multiplikation dieser drei Faktoren ergibt somit die Gefährdung für den Standort Niederruntigen. Diese beläuft sich unter Berücksichtigung von Unsicherheiten auf $F' = 5.3E-07$ pro Jahr und Quadratkilometer für Abstürze von Militärmaschinen mit einem Gewicht zwischen 5.7 und 20 t in der Flugphase.

Die resultierende Gefährdung des Standortes Niederruntigen durch Abstürze von Militärmaschinen der Gewichtsklasse 5.7 t-20 t beider Flugphasen beläuft sich damit auf $F' = 9.8E-07$ pro Jahr und Quadratkilometer.

Für den Standort von Bedeutung sind zudem leichte Militärmaschinen (< 5.7 t), welche in Payerne starten und landen. Nach Daten des Flughafen Payerne landen und starten jährlich im Durchschnitt ca. $N = 3700$ Flugzeuge dieser Gewichtsklasse in Payerne. Helikopter werden bei Starts und Landungen nicht berücksichtigt, weil der Flughafen Payerne rund 30 km vom Standort Niederruntigen entfernt ist und Helikopter durch vertikale Starts und Landungen eine deutlich kleinere Start und Landezone benötigen als Flugzeuge.

Um die Absturzwahrscheinlichkeit zu berechnen, wurden alle Flugbewegungen leichter Militärflugzeuge und deren erfolgte Abstürze in der Schweiz betrachtet. Zwischen 1985 und 2006 sind dabei insgesamt 1'901'018 Flugbewegungen, 1'140'594 durch Leichtflugzeuge und 820'052 durch Helikopter, erfolgt. Da die Absturzwahrscheinlichkeit durch militärische Manöver viel höher ist und diese ausschliesslich in definierten Übungszonen geflogen werden, werden diese Abstürze für den Standort Niederruntigen nicht berücksichtigt. Nach Daten aus [105] erfolgten somit 3 relevante Abstürze bei Starts und Landungen von leichten Militärflugzeugen in dieser Zeitperiode. Dies ergibt eine Absturzwahrscheinlichkeit von $2.6E-06$ für leichte Militärflugzeuge.

Zur Ermittlung der bedingten Wahrscheinlichkeit, dass der Absturz eines leichten Militärflugzeugs, welcher durch den Start oder die Landung in Payerne erfolgt, den Standort Niederruntigen trifft,

sind wiederum geometrische Überlegungen notwendig. Dabei kommen erneut Berechnungen nach dem Standardansatz nach USDOE zur Anwendung. Damit ergibt sich die bedingte Wahrscheinlichkeit eines Absturzes aus der Start- und Landephase von leichten Militärflugzeugen am Standort Niederruntigen von $f(x, y) = 8.2E-06$ pro Quadratkilometer.

Damit ergibt sich unter Berücksichtigung von Unsicherheiten die Wahrscheinlichkeit eines Absturzes aus der Start- und Landephase von leichten Militärflugzeugen am Standort Niederruntigen von $F' = 9.8E-08$ pro Jahr und Quadratkilometer.

Die Anzahl Transitflüge leichter Militärflugzeuge nahe dem Standort Niederruntigen ist nicht bekannt, deshalb wird die Absturzrate pro Jahr und nicht pro Flugbewegungen pro Jahr berechnet. Nach der schweizerischen Militärabsturzstatistik sind 13 relevante Abstürze von leichten Militärflugzeugen zwischen 1985-2006 während der Flugphase erfolgt. Dies ergibt eine Absturzwahrscheinlichkeit von 0.6 pro Jahr.

Für leichte Militärflugzeuge existieren keine fixen Flugkorridore. Die Ermittlung der bedingten Wahrscheinlichkeit, dass der Absturz eines leichten Militärflugzeugs im Transitflug nahe des Standorts Niederruntigen, den Standort trifft, erfolgt damit analog zu den zivilen Leichtflugzeugen. Es wird davon ausgegangen, dass die Abstürze gleichverteilt über der ganzen Fläche der Schweiz erfolgen. Dies ergibt einen Wert für die bedingte Absturzwahrscheinlichkeit am Standort Niederruntigen von $2.4E-05$ pro Quadratkilometer.

Durch die Multiplikation der zwei genannten Werte ergibt sich unter Berücksichtigung von Unsicherheiten die Wahrscheinlichkeit eines Absturzes aus der Transitphase von leichten Militärflugzeugen am Standort Niederruntigen von $F' = 1.7E-05$ pro Jahr und Quadratkilometer.

Dies ergibt eine gesamte Gefährdung des Standorts Niederruntigen durch militärische Flugzeuge aller Gewichtsklassen und Flugphasen von $F' = 1.8E-05$ pro Jahr und Quadratkilometer.

Zusammenfassende Bewertung

Die oben genannten Analysen zur unfallbedingten Flugzeugabsturz ergeben die folgende Ergebnisse für die Gefährdung des Standortes Niederuntigen:

- durch unfallbedingte Abstürze von Grossflugzeugen beträgt die Gefährdung $7.4E-07$ pro Jahr und Quadratkilometer
- durch unfallbedingte Abstürze von mittleren Flugzeugen beträgt die Gefährdung $3.2E-07$ pro Jahr und Quadratkilometer
- durch unfallbedingte Abstürze von Leichtflugzeugen beträgt die Gefährdung $1.7E-04$ pro Jahr und Quadratkilometer
- durch unfallbedingte Abstürze von Militärflugzeugen beträgt die Gefährdung $1.8E-05$ pro Jahr und Quadratkilometer.

Jedoch muss bei diesen Zahlen noch berücksichtigt werden, dass sich diese auf eine Fläche von einem Quadratkilometer beziehen, während der Flächenbedarf der neuen Anlage nur ca. 0.16 km^2 beträgt, sodass die Gefährdung des Anlagenareals durch einen Flugzeugabsturz kleiner ist.

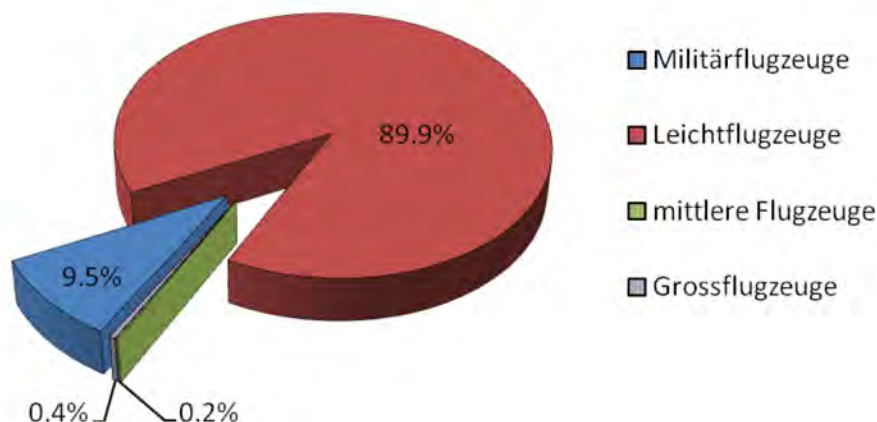
Damit ergibt sich eine Gefährdung des Anlagenareals am Standort Niederruntigen durch

- unfallbedingte Abstürze von Grossflugzeugen von $F = 1.2E-07$ pro Jahr
- mittlere Flugzeugen von $F = 5.1E-08$ pro Jahr
- Leichtflugzeugen von $F = 2.6E-05$ pro Jahr
- Militärflugzeugen von $F = 2.9E-06$ pro Jahr.

Dem angewandten Modell liegt zugrunde, dass die Gefährdung linear von der Anzahl Flugbewegungen abhängig ist. Eine Erhöhung der Flugverkehrsdichte hätte demzufolge auch eine Erhöhung der Gefährdung zur Folge. Durch eine entsprechende, bauliche Auslegung der sicherheitsrelevanten Gebäude und der darin enthaltenen Systeme gemäss den Anforderungen der Aufsichtsbehörde wird auch bei einer markanten Zunahme der Flugverkehrsdichte in der Schweiz das Risiko durch unfallbedingten Flugzeugabsturz gering bleiben.

Betrachtet man die gesamte Absturzrate am Standort Niederruntigen pro Jahr nach Gewichtsklassen, trägt wie auf Abbildung 3.6-1 zu erkennen ist, die Kategorie Leichtflugzeuge (< 5.7 t) mit einem Anteil von fast 90% am meisten dazu bei. Der militärische Flugverkehr trägt insgesamt etwa 9.5% bei.

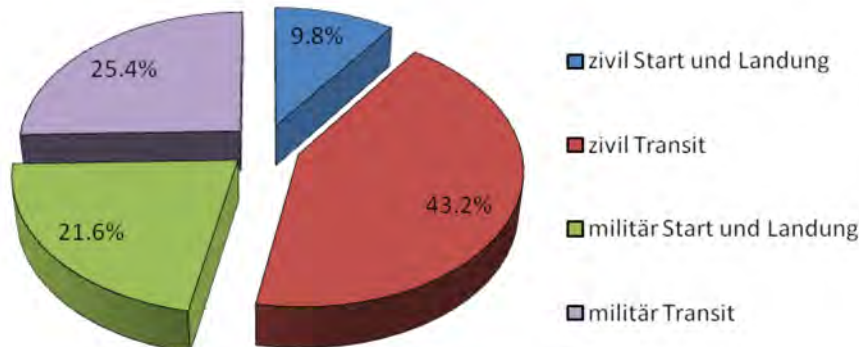
Abbildung 3.6-1: Anteil gesamte Absturzrate, Flugzeuge aller Gewichtsklasse



Man soll aber bedenken, dass Leichtflugzeuge über ein deutlich geringeres Schadenspotential verfügen als die Flugzeuge der schwereren Gewichtsklassen. Dies ist vor allem wichtig im Wissen, dass zur Bemessung der sicherheitsrelevanten Bauwerke gegen die Einwirkung eines Flugzeugabsturzes ein abdeckender Flugzeugtyp aus der Kategorie der Grossflugzeuge (> 20 t) herangezogen wird; darüber hinaus wird die Bemessung auch die grösseren Geschwindigkeiten und grössere Massendichte von Militärmaschinen mitberücksichtigen.

Betrachtet man nur die mittleren und grossen Flugzeuge (> 5.7 t) so tragen, wie auf Abbildung 3.6-2 zu erkennen ist, die zivilen Transitflüge mit einem Anteil von knapp 43% am meisten zur Gesamtabsturzrate bei. Dies ist hauptsächlich auf das starke Verkehrsaufkommen der internationalen Transitflüge im Flugkorridor Zürich – Genf zurückzuführen. Militärische Transitflüge tragen um die 25%, Starts und Landungen von Militärflugzeugen knapp 22% bei. Am wenigsten fallen zivile Starts und Landungen mit ca. 10% ins Gewicht.

Abbildung 3.6-2: Anteil gesamte Absturzrate, Flugzeuge der Gewichtsklasse > 5.7



In allen diesen Zahlen sind topografische Abschirmungen des Anlagenareals nicht miteinbezogen worden, weil sich diese erst durch die genaue Lage der Gebäude definieren lassen. Die Gefährdung durch Flugzeugabsturz wird deshalb noch kleiner erwartet.

Die Auswirkungen eines Flugzeugabsturzes auf die einzelnen Gebäude (mechanische Auswirkungen, Trümmer- und Brand / Explosionseffekte) können erst später untersucht werden; sobald die Konzeption zur Auslegung der neuen Anlage festgelegt ist, werden diese Untersuchungen im Rahmen der Analysen zur Bau- und Betriebsbewilligung durchgeführt. Generell werden für die Auslegung der neuen Anlage die behördlichen Anforderungen zum Schutz gegen Flugzeugabstürze berücksichtigt (siehe z.B. [39]). Die einzelnen Gebäude werden so ausgelegt, dass sie einen ausreichenden Schutz bieten gegen direkte mechanische Auswirkungen (z.B. Kippen und Verschiebungen) resp. gegen indirekte Auswirkungen (z.B. Trümmereinwirkung und Brand).

Der Verlust der externen Stromversorgung wird als Folgeereignis beim unfallbedingten Flugzeugabsturz in den Risikoanalysen unterstellt.

3.6.2.26 Tsunami

Eine Gefährdung durch Wellen, die durch entfernte Seebeben oder Meteoriteneinschläge ausgelöst werden, ist am Standort des KKM ausgeschlossen, da es keine hinreichend grossen Wasserreservoirs in der Umgebung der Anlage gibt. Gefährdungen der Stauhaltungen oberhalb und unterhalb des Kraftwerkes werden bei der Betrachtung externer Überflutungen (siehe Kap. 3.4.3) resp. Erdbeben (siehe Kap. 3.5.3.1) berücksichtigt.

3.6.2.27 Giftige Gase

Giftige Gase könnten eine Gefährdung darstellen, wenn sie in hinreichend grossen Konzentrationen durch die Lüftungssysteme z.B. in den Kommandoraum oder in Gebäuden, in denen sich Sicherheitssysteme befinden, gesaugt werden.

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 giftige Gase in der Umgebung der neuen Kernanlage 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). In den sicherheitsrelevanten Anlageteilen werden persönliche Schutzausrüstungen mit Atemschutz bereitstehen.

Zusammenfassend richtet sich die von giftigen 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.

3.6.2.28 Turbinensplitter

Die Gefährdung durch wegfliegende Turbinenteile bei einem mechanischen Schaden an einer Turbine wird durch die Auslegung dieser Komponente und die Betriebserfahrung des Herstellers bestimmt. Moderne Turbinen verfügen über einen wirkungsvollen und zuverlässigen Überdrehzahlschutz, um Turbinensplitter zu verhindern. Die genauen Parameter der Turbine können erst mit dem Gesuch zur Erteilung der Baubewilligung angegeben werden. Für die nukleare Sicherheit stellt dieses Ereignis keine Gefährdung dar, die Auswirkungen können dank der Auslegung der sicherheitsrelevanten Gebäude gegen Flugzeugabsturz auf den nicht-nuklearen Teil der Anlage begrenzt werden.

3.6.2.29 Vulkanische Aktivität

Es gibt keine Anzeichen für vulkanische Aktivitäten am Standort oder in der Umgebung. Eine Gefährdung durch Vulkanismus kann daher ausgeschlossen werden.

3.6.2.30 Wellen

Die Auswirkungen von Wellen werden bei der Betrachtung von externen Überflutungen berücksichtigt (siehe Kap. 3.4.3).

3.6.2.31 Meteoriteneinschlag

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 erdnaheer Objekte (Near Earth Objects – NEO) werden im Spaceguard Survey Report der NASA zu erwartende Häufigkeiten von Meteoriteneinschlägen in Abhängigkeit von der Meteoritengrösse angegeben [31]. 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 2000 km². Dies entspricht einer Zone mit 25 km Radius. Die Wahrscheinlichkeit eines solchen Meteoriten 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. km²) gleich verteilt sind, eine Häufigkeit einer Gefährdung des Standorts Niederruntigen von etwa 6E-08 pro Jahr.

Dieser selbst unter den konservativen Häufigkeitsannahmen sehr kleine Wert rechtfertigt es, diese Gefährdung von der weiteren Betrachtung auszuschliessen.

3.6.2.32 Gletscheraktivitäten

Es gibt keine Gletscher in der Umgebung des Standortes, die zu einer Gefährdung führen könnten. Dieses Ereignis wird daher nicht weiter untersucht.

3.6.2.33 Bergsenkungen und Einsturz

Natürliche Bergsenkungen kommen in Gebieten vor, in denen der Untergrund aus wasserlöslichem Gestein (z.B. Kalkstein, Karbonatgestein oder Salzstöcke) besteht. Im Laufe der Zeit können sich in diesen Gesteinen Höhlen bilden, die schliesslich einstürzen und so zu Bergsenkungen an der Oberfläche führen können. Durch die geologische Situation am Standort (siehe Kap. 3.5) ist sichergestellt, dass eine Bergsenkung im Bereich der neuen Anlage nicht möglich ist. Eine weitere mögliche Ursache für Bergsenkungen sind Bergbauaktivitäten. Solche Anlagen existieren in der Nähe des Standortes ebenfalls nicht.

Eine Gefährdung durch Bergsenkungen ist damit ausgeschlossen und wird nicht weiter untersucht.

3.6.2.34 Seiches

Seiches (periodische Wellenbewegung in Seen) haben für den Standort keine Bedeutung, da das EKKM nicht direkt an einem See liegt. Seiches können bei den im Einzugsgebiet liegenden Stauseen zu keinen kritischen Zuständen führen. Der Wohlensee ist zu klein und zu wenig tief, als dass sich eine nennenswerte Oberflächenseiche bilden könnte. Seiches werden daher für die Gefährdung der neuen Anlage nicht weiter untersucht.

3.6.2.35 Sandsturm

Sandstürme sind nur in wüstennahen Gebieten anzutreffen und daher nicht auf den Standort Niederruntigen übertragbar. Eine Gefährdung durch Sandstürme kann somit von weiterer Betrachtung ausgeschlossen werden.

Die Belastungen durch die Luftströmung werden durch die Untersuchung von extremen Winden berücksichtigt (siehe Kap. 3.6.2.22.1). Eine mögliche Blockierung von Ansaugöffnungen durch Feststoffe wird in der Anlagenauslegung berücksichtigt sein.

3.6.2.36 Extreme Niederschläge

Dieses Ereignis ist im Kapitel 3.4.2 behandelt. Hydrometeorologische Hochwasserereignisse werden hinsichtlich Abflussmaxima und erreichter Wasserstände von Dammbruchszenarien deutlich übertroffen.

3.6.2.37 Satellitenabsturz

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 im Kapitel 3.6.2.31 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 der neuen Anlage nicht weiter untersucht.

3.6.2.38 Lawinen

Für eine Gefährdung durch eine Lawine ist neben der Neigung eines Hanges auch die Grösse des Hanges von Bedeutung. Die in der unmittelbaren Umgebung des Standortes vorhandenen Flächen sind entweder zu flach oder zu klein, um eine Gefährdung für die neue Anlage zu bilden.

Eine Lawinengefahr kann aufgrund der geografischen Situation ausgeschlossen werden.

3.6.2.39 Nebel

Nebel kann die Häufigkeit von Gefährdungen durch Land-, Wasser- oder Luftfahrzeuge beeinflussen. Dieser Effekt ist in den entsprechenden Unfallstatistiken berücksichtigt. Da auf der Aare praktisch kein Schiffsverkehr herrscht und das Werk auch nicht in unmittelbarer Nähe von Hauptverkehrsstrassen liegt (siehe Kap. 3.6.2.17), kann Nebel bezüglich des Standortes Niederruntigen nur einen Einfluss auf den Flugverkehr haben. Unfallbedingte Flugzeugabstürze werden im Kap. 3.6.2.25) behandelt. In den statistischen Daten für Flugzeugabstürze werden die Ursachen nicht weiter aufgeschlüsselt, der Einfluss von Nebel ist in diesen Daten bereits enthalten.

Nebel als zusätzliches externes Ereignis spielt für den Standort somit keine Rolle und wird nicht weiter untersucht.

3.6.2.40 Frost

Dieses Ereignis wird gemäss PRA Procedures Guide [27] von den Ereignissen Schnee und Eis dominiert (siehe Kap. 3.6.2.15 und Kap. 3.6.2.5). Eine zusätzliche Gefährdung durch Frost ist nicht gegeben; Frost wird daher als zusätzliches externes Ereignis nicht weiter untersucht.

Die Auslegung der neuen Anlage wird den am Standort zu erwartenden klimatischen Verhältnissen entsprechen. Insbesondere wird das Einfrieren von Abläufen und Wassersammlungen in der Auslegung durch konstruktive bzw. technische Massnahmen (z. B. elektrische Beheizung) verhindert werden. Die entsprechenden Einzelheiten der Auslegung werden später im Baubewilligungsgesuch beschrieben.

3.6.2.41 Verlust der externen Stromversorgung

Es gibt verschiedene externe Ereignisse, welche einen Verlust der externen Stromversorgung verursachen können:

- Störungen im Anspeisungsnetz oder in der Schaltanlage
- Folge eines externen Ereignisses wie z.B. Flugzeugabsturz, Überflutung, extreme Winde oder Tornados, Erdbeben, Blitzschlag, geomagnetische Störungen (Sonnenstürme), Vereisung, welche einen Ausfall des Hochspannungsnetz und / oder der Schaltanlage zur Folge haben.

Die Häufigkeit eines Verlustes der externen Stromversorgung lässt sich für den Standort Niederrungen aus der Betriebserfahrung des bestehenden KKM ableiten, weil die projektierte Kernanlage am gleichen Standort in das Übertragungsnetz eingebunden werden soll. Während der 36-jährigen Betriebsdauer des KKM sind drei Ereignisse aufgetreten, welche einen Verlust der 220 kV-Versorgung zur Folge hatten. Dies führt zu einer Häufigkeit von $8.3E-02$ pro Jahr. Unter Berücksichtigung nationaler und internationaler Statistiken zwecks Verdichtung der Datenlage kommt auch die Aufsichtsbehörde zu einer ähnlichen Häufigkeit für den Verlust der externen Stromversorgung von $1.0E-01$ pro Jahr¹. Die Zuverlässigkeit des Übertragungsnetzes und damit die Häufigkeit eines Verlustes der externen Stromversorgung wird aber geprägt sein von der künftigen Netztopologie und der Netznutzung.

Gemäss Kernenergieverordnung KEV² muss eine neue Kernanlage den Verlust der externen Stromversorgung beherrschen, d.h. die Anlagensysteme des EKKM werden derart ausgelegt sein, dass die nukleare Sicherheit auch ohne die Netzanbindung jederzeit gewährleistet ist.

3.6.2.42 Verlust der externen Kühlwasserversorgung

Ein Verlust der externen Kühlwasserversorgung kann als Folge einer anlageinternen Störung (z.B. Komponentenstörung oder -ausfall) oder eines anlageexternen Ereignisses (z.B. Erdbeben, Verstopfen des Kühlwassereinlaufes durch z.B. Spontanrutschungen) auftreten. Aus diesem Grund wird die Anlage so ausgelegt, dass sie diesen Störfall beherrscht, insbesondere wird die Wärmesenke für die Nachwärmeabfuhr nach den Grundsätzen der Kerntechnik redundant und diversitär ausgelegt. Durch die entsprechende Auslegung wird auch der Schutz gegen einen Verlust der Kühlwasserversorgung infolge externer Ereignisse gewährt sein.

Im Kapitel 3.6.2.14 werden die möglichen Ursachen, welche zu einer Verstopfung der Wasserfassung führen können, diskutiert.

3.6.2.43 Elektromagnetische Interferenz

Hochspannungsleitungen und Stromleitungen führen zu niederfrequenten Emissionen, die eine mögliche Auswirkung auf die Funktionalität von Systemen und Komponenten haben können. Dasselbe gilt für hochfrequente elektromagnetische Felder, verursacht durch z.B. Mobiltelefonantennen und Rundfunk.

¹ HSK-AN-6132, der Störfall vom 25. Juli 2006 im schwedischen Kernkraftwerk Forsmark 1 und die Auswirkungen auf die Kernkraftwerke in der Schweiz, Februar 2007

² Art. 8 Abs. 3 KEV [2]

Systeme und Komponenten einer Kernanlage können gegen eine solche Interferenz geschützt werden durch eine entsprechende Qualifizierung, die bei der Herstellung und darauffolgenden Abnahmetests umgesetzt wird. Für die Auslegung des EKKM wird diese Qualifizierung berücksichtigt werden. Ebenfalls können administrative Massnahmen zur Vermeidung von lokal verursachten Interferenzen (mobile Telefone / elektronische Geräte) getroffen werden.

Personal und Privatpersonen ausserhalb der Anlage werden gegen die Effekte von elektromagnetischen und hochfrequenten Feldern durch Massnahmen auf Grundlage der Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung NISV [58] geschützt. Dies wird im RBG-Bericht zur Umweltverträglichkeitsprüfung [33] behandelt.

3.6.3 Kombination von Gefährdungen

Weltweit ist die Häufigkeit von Gefährdungskombinationen sehr gering; so wird z.B. im U.S.NRC-Bericht zur Beurteilung von externen Ereignissen für 70 KKW in den Vereinigten Staaten [12] keine einzige Gefährdungskombination erwähnt. Kombinationen von zeitgleichen Gefährdungen wie z.B. Lawinen und Satellitenabsturz werden nicht berücksichtigt, aber Kombinationen im Sinne von Folgeereignissen für Erdbeben, extreme Winde und Tornados, Überflutung und unfallbedingte Flugzeugabstürze werden in den Analysen unterstellt.

Auch die Auswirkungen einer Gefährdung (z.B. Versagen von Komponenten, Brand, Schaden an Gebäuden) werden dann identifiziert und analysiert, wenn sich Konsequenzen für die nukleare Sicherheit ergeben könnten.

Im Folgenden werden noch zwei spezielle Gefährdungskombinationen, nämlich aussergewöhnlich harte Winter- resp. Sommerbedingungen, erörtert.

3.6.3.1 Aussergewöhnliche Winterbedingungen

Eine Gefährdung aufgrund aussergewöhnlichen Winterbedingungen durch eine Kombination von Schnee resp. Schneeverwehungen, niedrigen Temperaturen und Vereisung wird weltweit äusserst selten wahrgenommen. So kommt z.B. im U.S.NRC-Bericht zur Beurteilung von externen Ereignissen für KKW in den Vereinigten Staaten [12] diese Kombination von Ereignissen nicht vor. Auch aus der langjährigen Betriebserfahrung des KKW Mühleberg, das in unmittelbarer Nähe des Standortes liegt, geht eine solche Kombination nicht hervor.

Die genannte Kombination könnte zum Verlust der externen Wasserversorgung führen resp. zum Verlust der externen Stromversorgung; die Anlage wird jedoch durch ihre Auslegung gegen diesen Ereignissen geschützt sein (siehe Kap. 3.6.2.41 und 3.6.2.42). Es ist somit anzunehmen, dass diese Gefährdungskombination einen vernachlässigbaren Beitrag zur CDF liefert.

3.6.3.2 Aussergewöhnliche Sommerbedingungen

Hier handelt es sich um eine Kombination von hohen Temperaturen, Trockenheit, Waldbrand und niedrigem Flusswasserspiegel. Auch diese Gefährdungskombination wird weltweit äusserst selten wahrgenommen und kommt im o.g. U.S.NRC-Bericht zur Beurteilung von externen Ereignissen nicht vor. Ebenfalls gibt es aus der Betriebserfahrung des bestehenden KKM keine Meldung eines solchen kombinierten Ereignisses; auch im Sommer 2003 traten in der Standortumgebung keine Waldbrände auf.

Eine Kombination von hohen Temperaturen, Trockenheit und niedrigem Flusswasserspiegel könnte zu einer Gefährdung der Wasserversorgung führen; wie im Kap. 3.6.2.4 dargestellt, ist eine ausreichende Kühlwasserversorgung auch unter ungünstigen Bedingungen sichergestellt. Des Weiteren ist Waldbrand, auch in Kombination mit anderen Phänomenen, durch die Auslegung der Anlage ein bezüglich der Gefährdung des Standortes vernachlässigbares Ereignis. Darüber hinaus kann davon ausgegangen werden, dass das glaziale Einzugsgebiet der Aare dafür sorgt, dass auch in extremen Hitzeperioden genügend Kühlwasser zur Verfügung stehen wird.

Es ist somit anzunehmen, dass auch aussergewöhnliche Sommerbedingungen einen vernachlässigbaren Beitrag zur Kernschadenshäufigkeit liefern werden.

3.6.3.3 Überflutung durch erdbebenbedingten Staumauerbruch und Nachbeben

Wie in Kap. 3.4.3.9 bzw. Kap. 3.4.5 dargelegt, wird die neue Anlage so ausgelegt, dass für die sicherheitsrelevanten Hochwasserereignisse eine sichere Abschaltung des Reaktors erfolgt, auch wenn die Ereignisse zu einer Überflutung des Anlageareals höher als das Anlagenull führen würden. Durch die Auslegung wird ebenfalls gewährleistet sein, dass die Integrität von Strukturen und Komponenten durch eine solche Überflutung nicht beeinträchtigt wird.

Des Weiteren wird die Auslegung der Anlage einen solchen Schutz gegen Erdbeben bieten, dass die seismische Gefährdungsbasis (siehe Kap. 3.5.2.5) eingehalten wird. Somit können auch Nachbeben (die, wenn sie auftreten, in der Regel weniger stark sind als das vorangehende Beben) innerhalb der seismischen Auslegungsbasis beherrscht werden.

Aus diesen Gründen kann davon ausgegangen werden, dass diese Gefährdungskombination keinen relevanten Zusatzbeitrag zur Kernschadenshäufigkeit liefern wird.

3.6.4 Wechselwirkung EKKM - KKM

Es ist möglich, dass das bestehende KKM während des Baus resp. des Betriebes der neuen Anlage EKKM noch in Betrieb ist¹. Zu den möglichen gegenseitigen Einwirkungen gehören:

- Freisetzung von Chemikalien
- Freisetzung von Radioaktivität
- Lastabwurf KKM während der Bauphase des EKKM resp. Lastabwurf EKKM während der Stilllegungsphase des KKM
- Blockieren von Zufahrtswegen
- Notfallsituation durch den Bau des EKKM
- Beeinträchtigung der Wassereinleitung des KKM durch Materielien / Baustoffe während der Bauphase des EKKM.

Diese und andere Gefährdungen für das KKM, welche durch den Bau des EKKM entstehen könnten, werden im Rahmen der Planung der Bauphase untersucht². Auch wird sichergestellt,

¹ Die BKW ist bestrebt, das bestehende KKM nach Inbetriebnahme des EKKM 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 BKW und die am EKKM beteiligten Partner in der ersten Phase nach Inbetriebnahme des EKKM weiterhin gewährleisten zu können.

² Art. 33 KEV [2]

dass brennbare und explosive Stoffe an einem geeigneten Ort auf der Baustelle gelagert werden. Weil das KKM die für Kernanlagen geltenden Sicherheitsanforderungen erfüllt, ist zu erwarten, dass die Auslegung des KKM den Auswirkungen vieler solcher Gefährdungen entgegenwirkt; sollte dies nicht der Fall sein, werden entsprechende Massnahmen eingeleitet.

Gefährdungen für das EKKM während des allfällig gleichzeitigen Betriebes der beiden Anlagen werden im Rahmen der Projektierung untersucht und bei der Auslegung der neuen Anlage berücksichtigt. Auch hier ist zu erwarten, dass die Auslegungsbasis hinsichtlich externer Ereignisse generell ausreichen wird, den Auswirkung vieler solcher möglichen Gefährdungen entgegenzuwirken. So wird z.B. eine mögliche Freisetzung von Radioaktivität als Folge eines Störfalls im KKM in der Auslegung des EKKM berücksichtigt. Das Ergebnis dieser Untersuchungen wird im Rahmen des Gesuches zur Baubewilligung dokumentiert.

Während der Stilllegungsphase des KKM entsteht für das EKKM keine Gefährdung, welche nicht durch die Auslegungsbasis des EKKM hinsichtlich externer Ereignisse generell abgedeckt ist resp. im Rahmen der Planung der Stilllegung des KKM ausgeschlossen werden kann. So sind z.B. Vibrationen, welche möglicherweise durch den Abbruch des KKM entstehen könnten, durch die Auslegung des EKKM gegen Auswirkungen eines Erdbebens abgedeckt.

Zusammenfassend gibt es keine Gefährdungen durch Wechselwirkung zwischen KKM und EKKM, welche die Standorteignung in Frage stellen.

3.6.5 Gefährdung durch Brände

Brand kann als Störfall mit Ursprung innerhalb oder ausserhalb der Anlage gelten¹. 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 behördlicher Richtlinie [108] wird ein Brandschutzkonzept als Teil der Gesuchsunterlagen zur Baubewilligungsgesuch eingereicht werden.

Am Standort des EKKM wird eine vollausgerüstete Feuerwehr anwesend sein. Im Brandfall, je nach Grösse des Ereignisses, kann zusätzliche, externe Unterstützung durch die Berufsfeuerwehr Bern angefordert werden; diese externe Unterstützung ist am Standort des bestehenden KKM vertraglich geregelt und kann später auf das EKKM übertragen werden. Die Zeit um den Standort zu erreichen beträgt heute ca. 12 Minuten; das Berner Feuerwehrareal wird in nächster Zeit an den Stadtrand verlegt, sodass dieser Zeitverlauf um etwa die Hälfte reduziert wird. Weitere Stützpunkt-Feuerwehren in der Umgebung des Standortes sind z. B. die Feuerwehre in Mühleberg (ca. 2.5 km Entfernung) und Ferenbalm / Wallenbuch (ca. 6 km Entfernung); die Unterstützung der Feuerwehr Mühleberg bei Bränden ausserhalb des KKM-Areals ist ebenfalls vertraglich geregelt.

Durch das Brandschutzkonzept, das in der Auslegung der Anlage umgesetzt wird, kann ein hinreichender Schutz gegen Brandausbreitung geboten werden: die interne und externe Feuerwehrunterstützung stellt eine effektive Brandbekämpfung sicher.

¹ Art. 8 KEV [2]

3.6.6 Gesamtbeurteilung der externen Ereignisse

Die oben dargelegte Einschätzung der Gefährdung durch externe Ereignisse zeigt, dass ausreichende Schutzmassnahmen gegen die für den Standort sicherheitsrelevante Ereignisse getroffen werden können, sofern nach heutigem Ermessen überhaupt mit deren Eintreten gerechnet werden muss. In den meisten Fällen können die Ereignisse durch die Konzeption resp. die Auslegung der Anlage beherrscht werden; generell können durch die Auslegung die Risikobeiträge der relevanten Ereignisse zur Kernschadenshäufigkeit genügend klein gehalten werden, um das übergeordnete Kriterium für den Bau von neuen Kernanlagen – CDF höchstens $1\text{E-}05$ für alle Störfälle, d.h. für interne und externe Ereignisse¹ – mit angemessener Marge einzuhalten. Die einzelnen Risikobeiträge werden in der später durchzuführenden PSA quantitativ ermittelt; für diese PSA-Analysen, die erstmals im Rahmen des Gesuches zur Baubewilligung durchgeführt werden sollen, werden die geltenden Anforderungen der Behörde berücksichtigt.

3.6.7 Schutz gegen unbefugte Einwirkungen

Die Anlage muss durch passende Sicherungsmassnahmen gegen unbefugte, gegebenenfalls gewaltsame Einwirkungen Dritter, geschützt werden². Diese Sicherungsmassnahmen sind im Sicherungsbericht EKKM [42] beschrieben.

¹ Art. 24 Abs. 1 Bst. B KEV [2]

² Art. 5 Abs. 3 KEG [1] und Art. 9 Abs. 1 KEV [2]

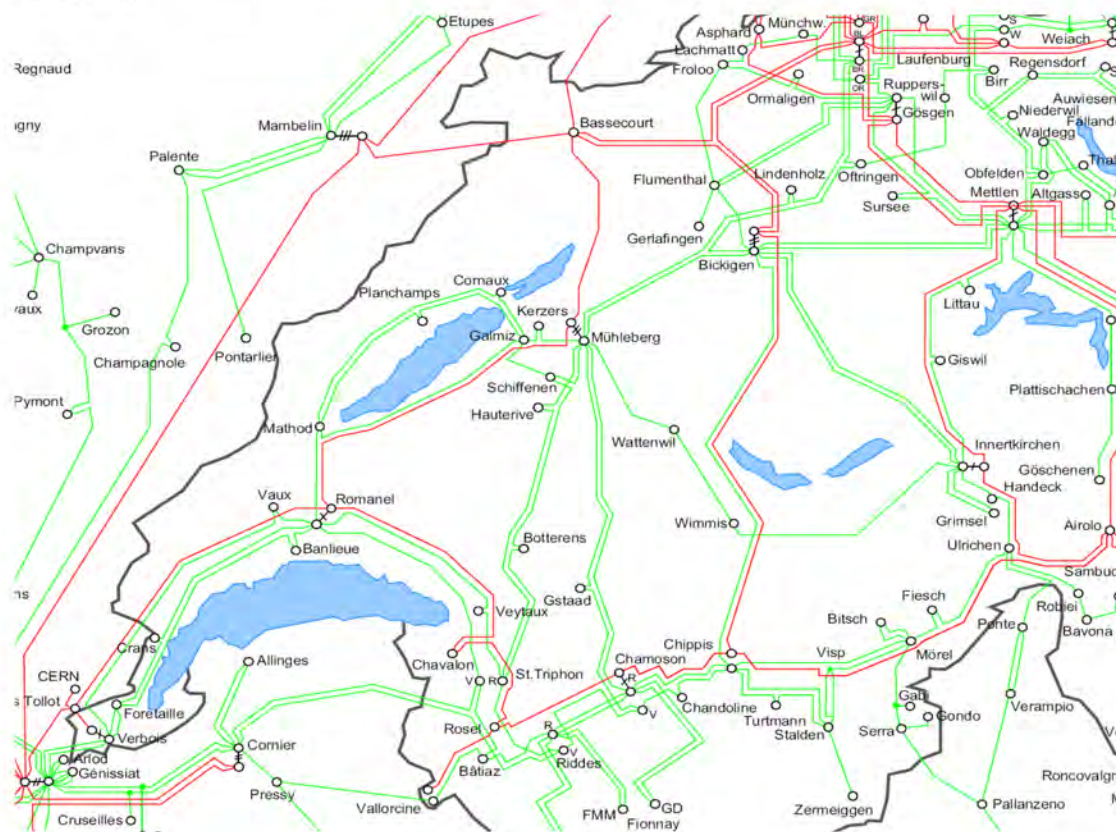
3.7 Netzanbindung, Stromversorgung

3.7.1 Netztopologie / Unterstation Mühleberg Ost

Der Standort Mühleberg ist bereits heute einer der bedeutendsten Knotenpunkte im schweizerischen Hochspannungsnetz. Das Transportnetz rund um Mühleberg wird durch die geplanten Vorhaben des Sachplans Übertragungsleitungen (SÜL, [18]) weiter ergänzt. Diese Massnahmen sind für die Netzstabilität (Spannungshaltung) im Raum Bern-Mittelland heute schon dringend notwendig. Damit sind die Voraussetzungen gegeben, um auch die elektrische Leistung einer neuen Anlage abführen zu können.

Die Netztopologie (Abbildung 3.7-1) mit den 380 kV-Leitungen Mühleberg-Bassecourt und Mühleberg-Romanel sowie diverse 220-kV-Leitungen ab Mühleberg garantieren einen sicheren Abtransport der Energie aus dem EKKM. Die aktuelle Planung sieht vor, die notwendigen netzseitigen Massnahmen und Ergänzungen für die Verbesserung der Netzstabilität im Espace Mittelland vor 2015 auszuführen. Der Bundesrat hat am 6. März 2009 die Pläne für den strategischen Ausbau des Übertragungsnetzes gemäss SÜL bewilligt.

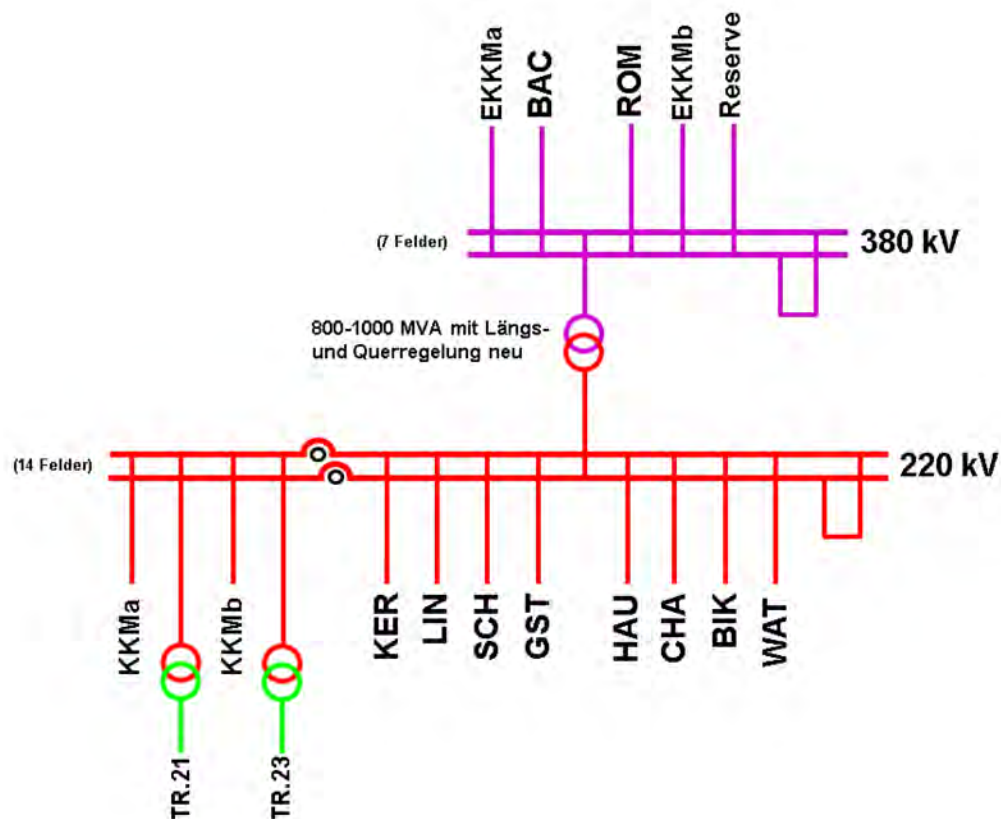
Abbildung 3.7-1: Die Netztopologie 2015 mit den 380 kV (rot) und 220 kV (grün) Leitungen ab Mühleberg



3.7.2 Ableitung der elektrischen Energie aus dem EKKM

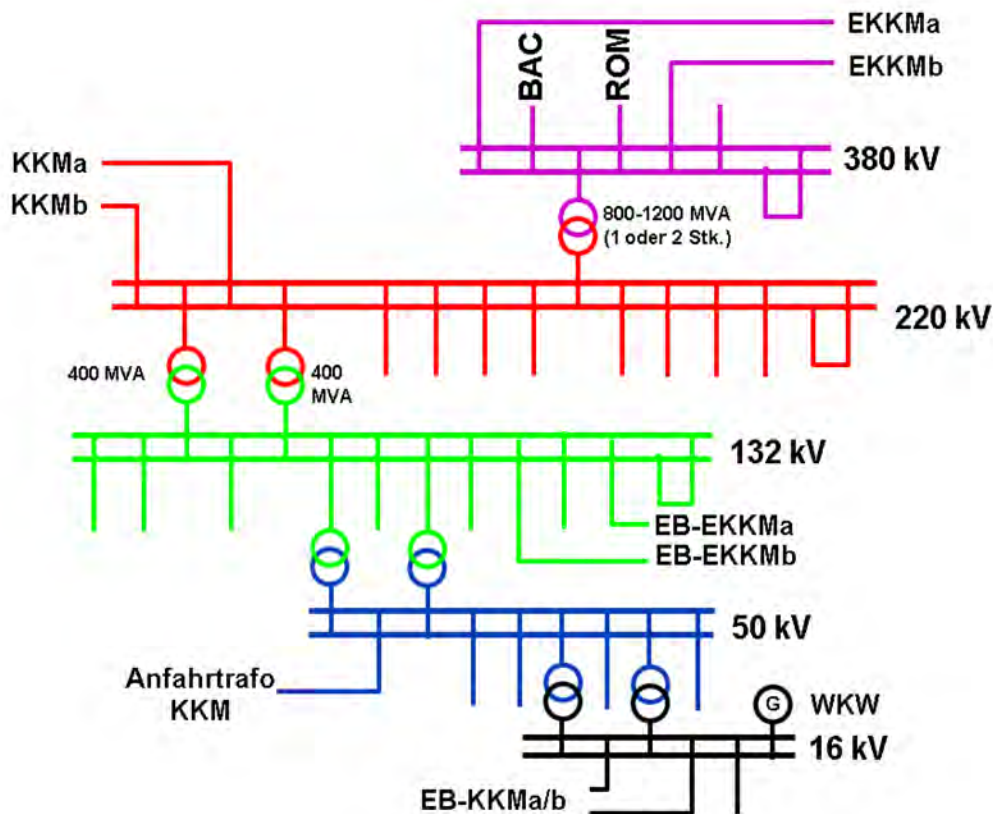
Grundsätzlich erfolgt die Ableitung der elektrischen Energie aus dem EKKM auf der 380 kV-Netzebene und auf kürzestem Weg mittels einer gasisolierten Leitung (GIL) oder mittels Hochspannungskabel unterirdisch in die Unterstation Ost (UST Ost), siehe auch Kap. 2.3.2. Ein Schaltbild ist in Abbildung 3.7-2 und Abbildung 3.7-3 enthalten. Die heute geplante unterirdischen Leitung verläuft in einem neu zu erstellenden Kabelrohrblock oder Kabelstollen. Von der UST Ost wird die Energie grundsätzlich über das 380 kV Netz abgeleitet.

Abbildung 3.7-2: Schema der geplanten Unterstation Mühleberg Ost (UST Ost), 380 und 220 kV-Schienen mit dazwischen geschaltetem Transformator. Ein zweiter Transformator könnte installiert werden.



Bei der Beurteilung des kritischen N-1 - Falls für den sicheren Abtransport der Energie ist der Ausfall einer 380 kV Leitung massgebend. Fällt eine der beiden 380 kV Leitungen Richtung Bassecourt oder Romanel aus, so wird die Energie über die verbleibende 380 kV Leitung und über die sechs 220 kV Stränge abgeleitet, wobei Galmiz und Kerzers nicht einbezogen werden. Wie die Analyse der BKW-Netze zeigt, ist der Abtransport bis 1'800 MW auf dem 220 kV Netz möglich, wenn in der UST Ost ein zweiter 380/220 kV Trafo mit 800-1'200 MW installiert wird (siehe Abbildung 3.7-3). Der dafür notwendige Platz und die Abgänge sind eingeplant.

Abbildung 3.7-3: Schaltbild der geplanten UST Ost, basierend auf der Netz-Topologie 2015, alle Spannungsebenen dargestellt. Vom bestehenden Wasserkraftwerk sind die Einspeisungen zur Unterstützung des Eigenbedarfs (EB-KKMa/b) des bestehenden KKM¹ sowie dessen Einspeisung (KKM a/b) und Eigenbedarfsversorgung (EB KKM a/b) gezeigt. Zwei Felder 380 kV sind für die Einspeisung der Energie aus dem EKKM (EKKMa und EKKMb) reserviert. Ebenso sind zwei Felder 132 kV für die Eigenbedarfsanspeisung des EKKM (EB-EKKMa, EB-EKKMb) vorgesehen. Der dafür notwendige Platz und die Abgänge sind eingeplant. Die andern Fälle mit Ausfall einer 220 kV Leitung erweisen sich als unkritisch, weil ja die 380 kV Leitungen in Betrieb stehen.



¹ Die BKW ist bestrebt, das bestehende KKM nach Inbetriebnahme des EKKM 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 BKW und die am EKKM beteiligten Partner in der ersten Phase nach Inbetriebnahme des EKKM weiterhin gewährleisten zu können.

3.7.3 Netzstabilität

Die Aussagen in diesem Abschnitt beziehen sich auf die heutige Netztopologie, siehe Abbildung 3.7-4, ohne den geplanten Anschluss des Netzknotens Mühleberg an das 380 kV Netz.

Abbildung 3.7-4: Netztopologie Stand Dezember 2008 mit den Spannungsebenen 380, 220, 132 und 50kV. Das 132 kV Netz ist grün markiert. Das Bewilligungsverfahren für eine zusätzliche 220 kV Leitung von Mühleberg nach Wattenwil ist im Gange; diese Leitung dient vor allem der besseren Anbindung der Wasserkraftwerke im Oberhasli ans Höchstspannungsnetz.



Wie unten noch gezeigt wird, treten heute gewisse Spannungsschwankungen auf. Durch die geplante Anbindung an das 380 kV-Netz sollen diese weiter geglättet werden (Netztopologie 2015), sodass noch eine deutliche Verbesserung der Situation zur Zeit der Realisierung des EKKM erwartet werden darf. Die 380 kV-Anbindung ist insbesondere ohne die Realisierung des EKKM notwendig. Heute ist der Standort Mühleberg durch sieben 220 kV-Leitungen ins schweizerische Höchstspannungsnetz eingebunden (drei Doppelleitungen und eine Einfachleitung, siehe Abbildung 3.7-5).

Abbildung 3.7-5: Die Netztopologie 2008 mit den 220 kV (grün) Leitungen ab Mühleberg



In den letzten Jahren waren am 220 kV-Netzknoten Mühleberg gewisse Spannungsschwankungen zu beobachten (siehe Abbildung 3.7-6 und Abbildung 3.7-7, Quelle: BKW-Netze). Diese sind während der Revision des KKM besonders ausgeprägt, weil dann die Blindstromproduktion des KKM zur Spannungshaltung nicht zur Verfügung steht.

Es sind relativ starke Spannungsschwankungen zwischen 230 und 247 kV zu beobachten. Hingegen sind in diesem Zeitraum keine Ausschaltungen aufgetreten.

Abbildung 3.7-6: Spannungsverlauf Mühleberg West 220 kV (Sammelschiene 1) für die letzten 3 Jahre (Ende November 2005 bis Ende August 2008)

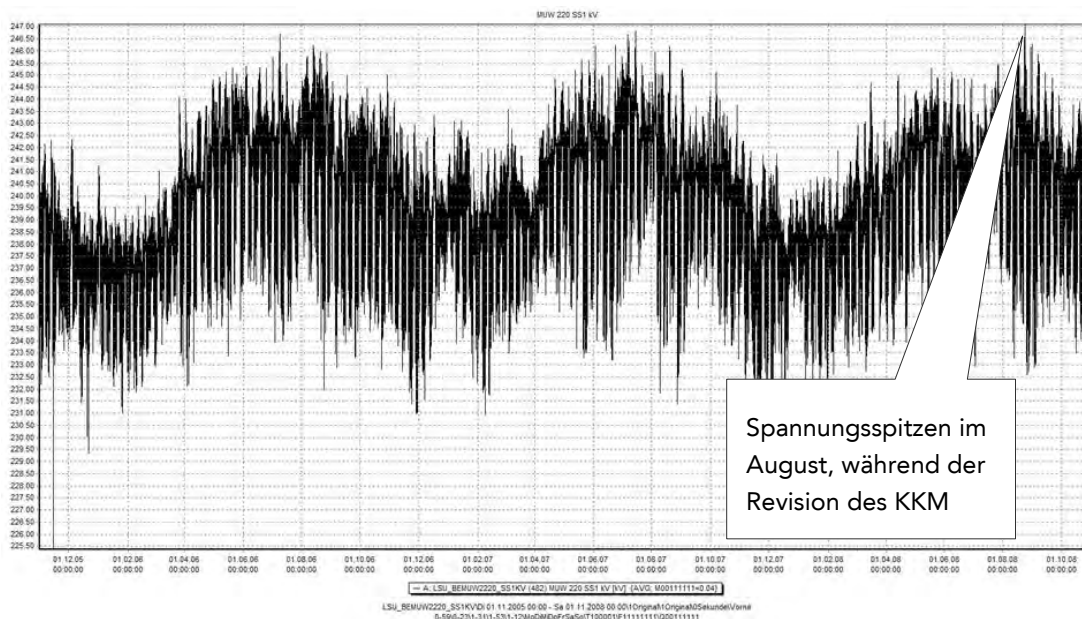
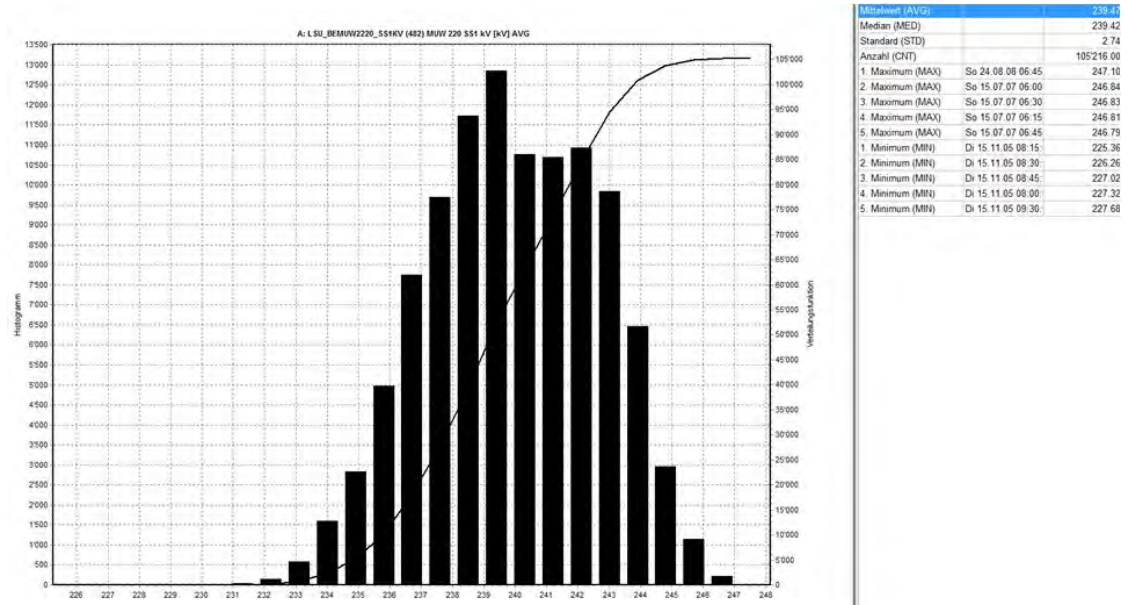
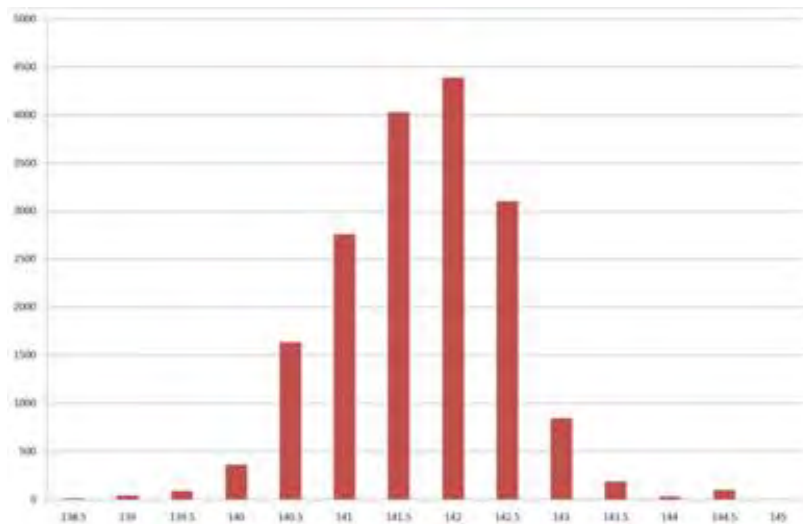


Abbildung 3.7-7: Spannungsstatistik Mühleberg West 220 kV (letzte 3 Jahre) mit Darstellung der Häufigkeit in Funktion der Spannung



Die Netzebene 132 kV zeigt in Mühleberg wesentlich kleinere Spannungsschwankungen auf (siehe Abbildung 3.7-8).

Abbildung 3.7-8: Spannungsstatistik Mühleberg Ost 132 kV (seit Inbetriebnahme). Die Spannung ist relativ stabil zwischen ca. 140 und 143 kV. Der Stufenschalter der Trafos 220/132 kV regelt die Spannung.



Zusammenfassend kann festgestellt werden:

- Die Spannung der Netzebene 220 kV folgt einem typischen wöchentlichen und saisonalen Verlauf:
 - tiefe Spannung am Wochentag, hohe Spannung in der Nacht und am Wochenende
 - im Winter eher tiefere Spannungen als im Sommer
- Das KKM verringert die Spannungsschwankungen durch konforme Blindleistungsproduktion. Je höher die maximal mögliche Blindleistungsproduktion, desto geringer die Spannungsschwankung am Knoten Mühleberg.

Das bestehende KKM liefert dank Produktion in der Nähe von Schwerpunkten des Verbrauches einen wichtigen Beitrag an die Versorgungssicherheit. Dies kommt besonders in einer Extremsituation zum Ausdruck, wie sie nach dem Sturm Lothar Ende Dezember 1999 aufgetreten ist: Im Übertragungsnetz der BKW waren nur noch zwei 220 kV Leitungen Richtung Laufenburg in Betrieb, alle anderen Leitungen inklusive die 380 kV Leitungen Richtung Frankreich waren ausser Betrieb. Dank der KKM-Produktion konnte die Versorgung von Bern und im Espace Mittelland weitestgehend aufrechterhalten werden. Die Nähe eines Kraftwerkes wie des KKM oder des EKKM am Standort Mühleberg zu den Schwerpunkten von Verbrauchern in Bern und dem Espace Mittelland erhöht massgebend deren Versorgungssicherheit.

Wie die folgende Tabelle 3.7-1 zeigt (Quelle BKW-Netze, Betriebsjournal), sind in Mühleberg im Laufe der letzten 10 Jahre nur sehr wenige Störungen aufgetreten:

Tabelle 3.7-1: Störungsauftreten in Mühleberg in den letzten 10 Jahren

	Mühleberg Ost 220 kV	Mühleberg West 220 kV	Mühleberg West 132 kV
Anzahl Störungen	1 SS ¹ -Schutz	3 2x Erdschluss, 1x SS-Schutz	0
Dauer aller Störungen [h]	1	5	
Anzahl Aussschaltungen	26 (IH ² , jeweils nur 1 SS)	2 (IH, jeweils nur 1 SS)	2 (IH, jeweils nur 1 SS)
Dauer aller Aussschaltungen [h]	2'884	8	15
Durchschn. Dauer einer Ausschaltung [h]	111	4	8

¹ SS = Sammelschiene

² IH = Instandhaltung

3.7.4 Stromversorgung

Die UST Ost genügt grundsätzlich den einschlägigen Vorschriften für derartige Anlagen wie SUVA, Arbeitssicherheit, SIA und wird nach den Qualitätsanforderungen des Eidg. Starkstrom-Inspektorates (ESTI) realisiert und von diesem bewilligt. Die Anlage verfügt insbesondere über Blitz- und Überspannungsschutz sowie adäquate Erdung. Schutz und Steuerung werden in getrennten Geräten realisiert und das gesamte Schutzsystem wird redundant aufgebaut.

Zudem wird das Areal der neuen Anlage auf > 467 m ü.M. angehoben (siehe auch Kap. 3.4.5); dadurch ergibt sich ein weitgehender Schutz gegen Hochwasser. In bzw. nach Notbetriebsfällen wie Hochwasser, Blitz, OBE (Erdbeben ohne Betriebsunterbruch) steht die UST Ost mit hoher Wahrscheinlichkeit weiter zu Verfügung.

Der Eigenbedarf der Anlage kann vom Generator oder ab der Hilfsspannung 132 kV gespiesen werden. Die Anspeisung erfolgt unterirdisch mit 132 kV ab der UST Ost 2-strängig. Die gasisolierte Anlage (GIS-Anlage in der UST Ost) weist dazu Abgangsfelder auf (siehe Abbildung 3.7-3). Die Leitungsführung erfolgt in einem neu zu erstellenden Kabelrohrblock oder in Kabelstollen mittels HS-Kabel. Die beiden 220/132kV-Transformatoren sind mit einer Kapazität von 400 MVA geplant. Die Leitungen – auch der 132 kV Ebene - in der weiteren Umgebung von Mühleberg sind in der Abbildung 3.7-4 dargestellt. Sollte die Eigenbedarfsversorgung weder durch den Generator noch von den 132 kV Leitungen her möglich sein, so kann die Einspeisung auch von der 220 kV Ebene über einen der beiden Transformatoren in der UST Ost erfolgen (siehe Abbildung 3.7-3).

3.7.5 Notstromversorgung

Im allgemeinen gibt es innerhalb des Kraftwerkes sicherheitsrelevante und nicht sicherheitsrelevante Wechselstromversorgungen (AC: alternate current) und Gleichstromversorgungen (DC: direct current). Sicherheitsrelevante Stromversorgungen sind für die Auslegungstörfälle ausgelegt (Klasse 1E), d.h. sie funktionieren während und nach diesen Störfällen auch unter Einhaltung des Einzelfehlerkriteriums.

Abhängig von der Sicherheitsphilosophie und der Konstruktion des Kraftwerkes – insbesondere des nuklearen Teils - sind Kraftwerksinterne AC Systeme für das sichere Abschalten und die Abfuhr der Nachzerfallswärme während und nach Störfällen notwendig oder nicht.

Die Reaktorsysteme mit aktiven Abfahr- und Nachkühlssystemen basieren auf mehreren Divisionen von sicherheitsrelevanten Wechselstromversorgungen mit Dieselgeneratoren. Üblicherweise sind die Steuerung zum Abfahren und Nachkühlen nach einem Auslegungstörfall, die zugehörigen Verfahrenstechnischen Einrichtungen wie Rohrleitungen, Ventile, Wärmetauscher und Pumpen sowie eine ununterbrochene Stromversorgung mit Dieselgenerator (AC) und eine unterbrochslose Gleichspannungsversorgung mit Batterien (DC) in einer Division zusammengefasst.

Reaktorsysteme mit passiven Abfahr- und Notkühlssystemen verfügen zur Umsetzung des "Defense-in-Depth"-Konzepts über Gleichstromversorgungssystemen (mit Batterien) zur Steuerung des sicheren Abschaltens, Abfahrens und Nachkühlens, die redundant den Sicherheits-Divisionen zugeteilt und 1E klassifiziert ist, sowie über nicht sicherheitsrelevante Notstromdiesel.

Die konkreten Lösungen – verbunden mit dem dannzumal ausgewählten Reaktorsystem - werden später im Gesuch zur Baubewilligung beschrieben. Dazu gehören auch die Massnahmen gegen

Störfälle¹. Die Anlage wird so ausgelegt, dass alle stromversorgungsrelevanten Sicherheitskriterien eingehalten werden können; die Voraussetzungen dazu sind am Standort Mühleberg gegeben.

Das bestehende Wasserkraftwerk Mühleberg (WKW) kann mit zwei von seinen sechs Maschinen die Eigenbedarfsversorgung des bestehenden KKM unterstützen. Das WKW kann Wassermengen bis etwa 290 m³/sec verarbeiten und damit im Leistungsbereich von etwa 6 MW bis 42 MW arbeiten. Weil der Eigenbedarf eines neuen, grossen Kernkraftwerkes wie EKKM bedeutend höher ist als die produzierte Leistung, kann ein erneuertes WKW nur in beschränkter Masse zu dessen Eigenbedarf beitragen. Das WKW ist deshalb nicht primär als diversitäre Notstromquelle vorgesehen; es käme höchstens in auslegungsüberschreitenden Fällen (z.B. für eine längerfristige Nachzerfallswärmeabfuhr) in Frage.

3.7.6 Bewertung der Netzanbindung und Stromversorgung

Der Standort Mühleberg ist mit der Netztopologie 2015 für den 380 kV Anschluss eines Kernkraftwerkes der neusten Generation gut geeignet. Auf Grund der Ausgestaltung des Netzes und der Unterstation Mühleberg Ost mit den in verschiedenen Richtungen abgehenden unabhängigen 380 kV, 220 kV und 132 kV Leitungen ist sowohl der Abtransport der Energie als auch die Hilfsversorgung jeweils über mehrere Leitungen und über mindestens zwei Spannungsebenen möglich.

Die Systemverfügbarkeit am Netzknoten Mühleberg ist schon heute als sehr gut zu beurteilen wie im Kapitel "Netzstabilität" gezeigt und sie wird durch den Anschluss ans 380 kV Übertragungsnetz weiter verbessert.

Indessen wird der Eigenbedarf eines neuen Kernkraftwerkes in erster Linie ab dem Generator gespeist, und in zweiter Linie über die unabhängigen externen Netzanschlüsse. Schliesslich verfügt ein Kernkraftwerk der neusten Generation neben den externen Netzanschlüssen über die Möglichkeit, die Hilfs- und Notstromversorgung zum sicheren Abschalten, Abfahren der Anlage und zur Abfuhr der Nachzerfallswärme, soweit für das jeweilige Reaktorsystem notwendig, über Gleichstromversorgung und Notstromdiesel sicher zu stellen.

Das bestehende Wasserkraftwerk Mühleberg und der geplante Ersatz kann nur im beschränkten Umfang zur Eigenbedarfsversorgung des EKKM beitragen, beispielsweise für die langfristige Abfuhr der Nachzerfallswärme.

Die behördlichen² und gesetzlichen³ Anforderungen zur Auslegung und zu Massnahmen gegen Störfälle können erfüllt werden. Die konkrete Beschreibung dazu folgt im Gesuch zur Baubewilligung.

¹ Art. 8 Abs. 1 KEV [2]

² HSK Richtlinie R-101 [34]

³ Art. 8 Abs. 1 KEV [2]

4 Strahlenschutz und Strahlenexposition

4.1 Gesetzliche Anforderungen und Grundsätze zum Strahlenschutz

4.1.1 Grundsätzliches zur Strahlenexposition durch die Anlage EKKM

Das am Standort Niederruntigen vorgesehene Kernkraftwerk EKKM soll dazu beitragen, eine sich für die Zukunft abzeichnende Versorgungslücke zu schliessen. Die Auswahl der Anlagekonzeption für das EKKM erfolgt u.a. unter dem Aspekt der Dosisminimierung resp. der Optimierung der Strahlenbelastung. In diesem Kapitel wird ausschliesslich auf die Belastung durch ionisierende Strahlung eingegangen. Die Belastung durch nicht ionisierende Strahlung ist Gegenstand des Berichtes zur Umweltverträglichkeit [33].

Die mit dem Betrieb des EKKM einhergehende Strahlenexposition in der Umgebung der Anlage ist gering im Vergleich zur natürlichen. Sie stellt für die Bevölkerung keine substantielle zusätzliche Belastung dar.

Insgesamt ist die Strahlenexposition in der Umgebung des Standortes nicht signifikant grösser als die bisherige Strahlenexposition durch das bestehende KKM. Dies gilt insbesondere auch für eine allfällige Übergangszeit, in der die beiden Anlagen KKM und EKKM gleichzeitig betrieben werden.

4.1.2 Gesetzliche Grundlagen

Im Kernenergiegesetz KEG [1] sind die Grundsätze für die Nutzung der Kernenergie festgelegt. Mensch und Umwelt sind vor Gefährdungen durch ionisierende Strahlen zu schützen¹. 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 berücksichtigen². Weiter sind im Sinne der Vorsorge alle Vorkehren zu treffen, die nach der Erfahrung und dem Stand von Wissenschaft und Technik notwendig sind³ sowie – darüber hinausgehend – alle Vorkehren, die zu einer weiteren Verminderung der Gefährdung beitragen, soweit sie angemessen sind⁴.

Das Kernenergiegesetz schreibt ebenfalls vor, für den Fall, dass gefährliche Mengen radioaktiver Stoffe freigesetzt werden, Notfallschutzmassnahmen zur Begrenzung des Schadenausmasses vorzubereiten⁵.

Die maximal zulässige Strahlenexposition für Personen in der Umgebung der Anlage wird entsprechend dem Kernenergiegesetz KEG [1] in der Rahmenbewilligung festgelegt⁶. Hingegen sind die Limiten für die Abgabe von radioaktiven Stoffen an die Umwelt, die Massnahmen zur

¹ Art. 4 Abs. 1 KEG [1]

² Art. 4 Abs. 2 KEG [1]

³ Art. 4 Abs. 3 Bst. a KEG [1]

⁴ Art. 4 Abs. 3 Bst. b KEG [1]

⁵ Art. 5 Abs. 2 KEG [1]

⁶ Art. 14 Abs. 1 Bst. e KEG [1]

Überwachung der Umgebung und die während des Betriebs zu treffenden Notfallschutzmassnahmen Gegenstand der Betriebsbewilligung¹.

Laut Strahlenschutzgesetz StSG [3] 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 lässt². 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 sind³.

Zur Konkretisierung der Bestimmungen von Kernenergiegesetz KEG [1] und Strahlenschutzgesetz StSG [3] dienen die Kernenergieverordnung KEV [2] resp. die Strahlenschutzverordnung StSV [4]. Erstere schreibt vor, dass aus dem für die Rahmenbewilligung einzureichenden Sicherheitsbericht u.a. die voraussichtliche Strahlenexposition in der Umgebung der Anlage hervorgehen soll⁴. Letztere enthält Festlegungen, wann eine Tätigkeit im Sinne des Gesetzes [3] als gerechtfertigt⁵ und wann bei einer gerechtfertigten Tätigkeit der Strahlenschutz als optimiert⁶ gilt. Des Weiteren ist in der Strahlenschutzverordnung geregelt, dass die Bewilligungsbehörde⁷ entscheidet, für welche Betriebe ein quellenbezogener Dosisrichtwert erforderlich ist, und dass sie diesen festlegt⁸.

Die Abgabe luftgetragener und flüssiger Abfälle⁹ sowie die zugehörigen Kontrollmassnahmen¹⁰ sind ebenso in der Strahlenschutzverordnung StSV [4] geregelt, wie die Abgabe fester Abfälle¹¹. Dies trifft ebenfalls zu für die Immissionsgrenzwerte¹² und die Immissionsüberwachung durch den Betrieb¹³. 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 Strahlenschutzverordnung StSV [4] gegebenen Forderung, geeignete Massnahmen zur Vermeidung von Störfällen zu treffen¹⁴, die in der Kernenergieverordnung gegebenen Anforderungen an die nukleare Sicherheit relevant. Dies insofern, als im Zusammenhang mit der Gewährleistung der nuklearen Sicherheit u.a. vorgeschrieben ist, zur Beherrschung von Störfällen die Anlage derart auszulegen, dass keine unzulässigen radiologischen Auswirkungen in der Umgebung der Anlage entstehen und dazu passive und

¹ Art. 21 Abs. 1 Bst. c-e KEG [1]

² Art. 8 StSG [3]

³ Art. 9 StSG [3]

⁴ Art. 23 Bst. a Ziff. 3 KEV [2]

⁵ Art. 8 StSG [3] i.V.m. Art. 5 StSV [4]

⁶ Art. 6 StSV [4]

⁷ gemäss Art. 127 StSV [4]

⁸ Art. 7 Abs. 2 StSV [4]

⁹ Art. 80 StSV [4]

¹⁰ Art. 81 StSV [4]

¹¹ Art. 82 Abs. 1 StSV [4]

¹² Art. 102 StSV [4]

¹³ Art. 103 StSV [4]

¹⁴ Art. 94 Abs. 1 StSV [4]

aktive Sicherheitssysteme vorzusehen¹ und gegen Störfälle, bei denen radioaktive Stoffe in gefährdendem Umfang freigesetzt werden können, zusätzlich vorbeugende und lindernde Vorkehren im technischen, organisatorischen und administrativen Bereich zu treffen².

Weiter fordert die Kernenergieverordnung KEV [2] das Treffen von Schutzmassnahmen gegen Störfälle mit Ursprung innerhalb oder ausserhalb der Anlage³ und den Nachweis, dass die in der Strahlenschutzverordnung zur Störfallvorsorge gegebenen Dosisgrenzwerte⁴ eingehalten werden können⁵.

Im Gesuch für die Baubewilligung ist darzulegen, dass o.g. Grundsätze der nuklearen Sicherheit erfüllt sind⁶ und zudem ist mittels probabilistischer Nachweise zu zeigen, dass für Störfälle das in der Kernenergieverordnung KEV [2] gegebene Kriterium⁷ für die mittlere Kernschadenshäufigkeit eingehalten werden kann⁸.

4.1.3 Rechtfertigung und Optimierung der Strahlenexposition

Die Erzeugung elektrischer Energie mittels eines Kernkraftwerkes ist grundsätzlich 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 der Einhaltung des Strahlenschutzgesetzes ist der Schutz von Mensch und Umwelt vor Gefährdungen durch ionisierende Strahlen sichergestellt⁹.

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 lässt¹⁰.

Im Sinne der Internationalen Strahlenschutzkommission ICRP [5] bedeutet Rechtfertigung ein Abwägen von Vor- und Nachteilen, von Nutzen und Risiko der mit Strahlenexpositionen verbundenen Tätigkeiten. Ein solches Abwägen erfolgt weitgehend generell und 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 Sinn dann gegeben, wenn der Gesetzgeber eine Tätigkeit gesetzlich geregelt

¹ Art. 7 Bst. c KEV [2]

² Art. 7 Bst. d KEV [2]

³ Art. 8 Abs. 1 i.V.m. Abs. 2 u. 3 KEV [2]

⁴ gemäss Art. 94 Abs. 2-5 StSV [4]

⁵ Art. 8 Abs. 4 KEV [2]

⁶ Art. 24 Abs. 1 Bst. a KEV [2]

⁷ gemäss Art. 24 Abs. 1 Bst. b KEV [2]

⁸ Art. 8 Abs. 5 i.V.m. Abs. 6 KEV [2]

⁹ Art. 1 StSG [3]

¹⁰ Art. 8 StSG [3]

hat. Die grundsätzliche Rechtfertigungsfrage ist dann nicht mehr für jede einzelne Bewilligung erneut zu stellen¹.

Somit ist die Rechtfertigung der durch das EKKM verursachten Strahlenexposition in einem allgemeinen Sinn durch das Kernenergiegesetz KEG [1] gegeben, da dieses die friedliche und sichere Nutzung der Kernenergie regelt und insbesondere den Schutz von Mensch und Umwelt vor ihren Gefahren bezweckt².

Zur Begrenzung der Strahlenexposition jeder einzelnen Person sowie der Gesamtheit der Betroffenen werden gemäss Strahlenschutzgesetz StSG [3] alle Massnahmen ergriffen, die nach der Erfahrung und dem Stand von Wissenschaft und Technik geboten sind³, wobei der Aufwand für eine Begrenzung der Strahlenexposition in einem vertretbaren Verhältnis zur erreichbaren Reduktion der Strahlenbelastung stehen soll⁴. Die nach Anwendung der in der Strahlenschutzverordnung StSV [4] konkretisierten Optimierung⁵ übrig bleibende Strahlenexposition wird nach dem Grundsatz der Verhältnismässigkeit demnach so tief sein wie vernünftigerweise erreichbar.

4.1.4 Grundsätze zur Begrenzung der Strahlenexposition

Im Strahlenschutzgesetz StSG [3] ist vorgegeben, dass zur Begrenzung der Strahlenexposition jeder einzelnen Person sowie der Gesamtheit der Betroffenen alle Massnahmen ergriffen werden müssen, die nach der Erfahrung und dem Stand von Wissenschaft und Technik geboten sind. Dieser Forderung wird einerseits bei der Auslegung der Anlage (Kap. 4.1.4.1) und andererseits auch bei den für die spätere Inbetriebsetzung und den Betrieb zu treffenden Massnahmen zum Schutz des Personals innerhalb der Anlage (Kap. 4.1.4.2) nachgekommen. Weitere Elemente zur Begrenzung der Strahlenexposition sind nicht nur das strikte Einhalten des behördlich festgelegten quellenbezogenen Dosisrichtwertes (Kap. 4.1.4.3), sondern insbesondere auch die Vorsorge zur weiteren Verminderung der Gefährdung durch ionisierende Strahlen (Kap. 4.1.4.4).

4.1.4.1 Auslegungsgrundsätze für die Anlage hinsichtlich Strahlenschutz

Die Auslegung des EKKM ist strikt an die im Kernenergiegesetz KEG [1] gegebenen Grundsätze der nuklearen Sicherheit gebunden. Insbesondere wird Vorsorge getroffen gegen eine unzulässige Freisetzung radioaktiver Stoffe sowie gegen eine unzulässige Bestrahlung von Personen im Normalbetrieb und bei Störfällen⁶. 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 sind⁷. Weiter werden im gleichen Sinn Vorkehrungen getroffen, die zu einer weiteren Verminderung der Gefährdung beitragen, soweit sie angemessen sind⁸.

¹ vgl. BBl 1988 192

² Art. 1 KEG [1]

³ Art. 9 StSG [3]

⁴ vgl. BBl 1988 193

⁵ Art. 6 StSV [4]

⁶ Art. 4 Abs. 1 KEG [1]

⁷ Art. 4 Abs. 3 Bst. a KEG [1]

⁸ Art. 4 Abs. 3 Bst. b KEG [1]

Bereits bei der Auslegung werden Schutzmassnahmen nach international anerkannten Grundsätzen getroffen, welche insbesondere den Einsatz qualitativ hochwertiger Bauteile, gestaffelte Sicherheitsbarrieren (siehe Kap. 2.5.1) und die mehrfache Ausführung und die Automation von Sicherheitssystemen umfassen¹.

Bei der Auslegung des EKKM werden, wie in der Kernenergieverordnung² gefordert, aktive und passive Sicherheitssysteme vorgesehen, welche bei Störfällen unzulässige radiologische Auswirkungen in der Umgebung der Anlage verhindern. Weiter werden bei der Auslegung des EKKM die in der Kernenergieverordnung³ gegebenen Grundsätze für die Auslegung von Kernkraftwerken konsequent umgesetzt.

Anlageteile, welche der Zwischenlagerung von radioaktiven Abfällen und Brennelementen dienen, werden gemäss der Vorgaben der Kernenergieverordnung⁴ derart ausgelegt, dass die Endlagerfähigkeit der Abfallgebinde nicht beeinträchtigt wird sowie eine genügende Lagerkapazität für den absehbaren Bedarf vorliegt.

Die in der Strahlenschutzverordnung StSV geforderte Optimierung⁵ wird – soweit anwendbar – bei der Auslegung des EKKM berücksichtigt mittels Bewertung angemessener Lösungsvarianten bezüglich Strahlenschutz unter Berücksichtigung möglicher Störfälle und durch In-Betracht-Ziehen der Entsorgung von Strahlenquellen. Letzteres umfasst insbesondere auch eine die Erfahrungen aus konkreten Stilllegungsprojekten nutzende Optimierung hinsichtlich der dereinst vorzunehmenden Stilllegung des EKKM (vgl. Kap. 7.2. Stilllegungskonzept EKKM [107]).

Die Auslegung des EKKM erfolgt derart, dass die in der Strahlenschutzverordnung gegebenen Immissionsgrenzwerte⁶ beim späteren Betrieb eingehalten werden können und die ebendort geforderte Immissionsüberwachung⁷ durch den Betrieb ordnungsgemäss erfolgen kann.

Bei der Auslegung des EKKM ist vorgesehen, im Kontakt mit den in Frage kommenden Lieferanten konsequent darauf hinzuwirken, dass den Strahlenschutzaspekten bereits in einem frühen Stadium des Anlagedesigns Rechnung getragen wird. Das gilt insbesondere für die gemäss Kernenergieverordnung⁸ 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 sowohl in baulicher Hinsicht als auch in Bezug auf Anlagensysteme besondere Beachtung zukommen.

¹ Gemäss Art. 5 Abs. 1 KEG [1]

² Art. 7 Bst. c KEV [2]

³ Art. 10 Abs. 1 KEV [2]

⁴ Art. 12 Abs. 2 KEV [2]

⁵ Art. 6, insbes. Abs. 1 StSV [4]

⁶ Art. 102 StSV [4]

⁷ Art. 103 StSV [4]

⁸ Art. 24 Abs. 2 Bst. a und Anhang 4 KEV [2]

4.1.4.2 Grundsätze zum Schutz von Personen innerhalb der Anlage

Der Schutz der strahlenexponierten Personen ist im Kapitel 2 des Strahlenschutzgesetzes StSG [3] geregelt. Für eine Kernanlage relevant sind die Bestimmungen zur Einhaltung der Dosisgrenzwerte¹, zur Ermittlung der Strahlendosis², zu medizinischen Massnahmen bei beruflich strahlenexponierten Personen³, zur Bekanntgabe von medizinischen Daten⁴ sowie zur Verantwortlichkeit in Betrieben⁵. Die Massnahmen zur Einhaltung dieser Bestimmungen werden entsprechend der Vorgaben in der Kernenergieverordnung⁶ in den Unterlagen zur Betriebsbewilligung, nämlich im Strahlenschutzreglement, dargelegt werden.

Das in Kap. 4.1.3 erläuterte Prinzip der Optimierung⁷ wird insbesondere dort zur Anwendung kommen, wo es um den Schutz von Personen innerhalb der Anlage geht. Dies wird einerseits die Projekt- und Arbeitsplanung betreffen, für die in der Betriebsdokumentation⁸, insbesondere im Strahlenschutzreglement, entsprechende Vorschriften erlassen werden. Andererseits wird bereits bei der Konzeption der Anlage (vgl. Kap. 4.1.4.1) und in gleicher Weise auch bei späteren Anlageänderungen⁹ das Prinzip der Optimierung konsequent angewendet, was insofern auch durch den Prozess mit der Aufsichtsbehörde sichergestellt ist, als die Unterlagen, welche dieser gemäss Kernenergieverordnung¹⁰ für die Beurteilung der Strahlenschutzaspekte von Gesuchen um Erteilung von Bewilligungen und Freigaben einzureichen sind, insbesondere Aufschluss geben müssen über Auslegungskriterien und Konzepte, über die Auslegung radiologischer Einrichtungen, über Ausführungsnachweise sowie über die Inbetriebnahme und die Dokumentation.

Allgemein wird im EKKM in Anwendung des Prinzips der Optimierung (vgl. Kap. 4.1.3) der Schutz von Personen innerhalb der Anlage dadurch optimiert, dass gemäss der Vorgaben der Strahlenschutzverordnung¹¹ die angemessenen Lösungsvarianten bezüglich Strahlenschutz bewertet und gegeneinander abgewogen werden, der Entscheidungsweg zur gewählten Lösung nachvollziehbar ist und das Auftreten von Störfällen und die Entsorgung der Strahlenquellen in Betracht gezogen wird.

¹ Art. 11 StSG [3]

² Art. 12 StSG [3]

³ Art. 13 StSG [3]

⁴ Art. 14 StSG [3]

⁵ Art. 16 StSG [3]

⁶ Art. 24 Abs. 2 Bst. a resp. Art. 28 Abs. 1 Bst. a-b sowie Anhang 3-4 KEV [2]

⁷ Art. 6 StSV [4]

⁸ gemäss Art. 28 Abs. 1 Bst. a und Art. 41 Abs. 1-2 i.V.m. Anhang 3 KEV [2]

⁹ Art. 65 Abs. 3 KEG [1] und Art. 40 Abs. 2 i.V.m. Anhang 4 KEV [2]

¹⁰ Art. 24 Abs. 2 Bst. a; Art. 26 Abs. 2; Art. 28 Abs. 1 Bst. b; Art. 29 Abs. 2 und Art. 40 Abs. 2 i.V.m. Anhang 4 KEV [2]

¹¹ Art. 6 Abs. 1 StSV [4]

4.1.4.3 Quellenbezogener Dosisrichtwert

Für Kernanlagen dient der quellenbezogene Dosisrichtwert im Sinne der Strahlenschutzverordnung¹ dem gemäss Kernenergiegesetz² in der Rahmenbewilligung vorgesehenen Festlegen der maximal zulässigen Strahlenexposition für Personen in der Umgebung der Anlage³. Der quellenbezogene Dosisrichtwert wird von der Bewilligungsbehörde⁴ nach dem Prinzip der Optimierung unter Berücksichtigung der Abgaben radioaktiver Stoffe und der Direktstrahlung aus anderen Betrieben⁵ so festgelegt⁶, dass er nicht höher als der Dosisgrenzwert für nichtberuflich strahlenexponierte Personen⁷ ist⁸. Die Festlegung des quellenbezogenen Dosisrichtwertes wird die Bewilligungsbehörde unter der im Kernenergiegesetz⁹ ausdrücklich geforderten Berücksichtigung der Langzeitfolgen auf das Erbgut vornehmen.

Dieser quellenbezogene Dosisrichtwert gilt für die gesamte während eines Jahres vom Kraftwerkstandort ausgehende Exposition¹⁰, die sich einerseits aus der Direktstrahlung aus den Anlagen am Standort und andererseits infolge der von diesen verursachten radioaktiven Abgaben ergibt, 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 quellenbezogene Dosisrichtwert gilt für alle Individuen, insbesondere für die einer fiktiven, konservativ festgelegten Personengruppe, von der angenommen wird, dass sie am Ort mit der grössten, aus o.g. Belastung 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 quellenbezogene Dosisrichtwert ist einzuhalten für Normalbetrieb einschliesslich von Störfällen, die alle 10 Jahre oder häufiger auftreten können¹¹. Für Störfälle mit einer Häufigkeit von einmal alle 10 bis 100 Jahre darf ein einzelner Störfall eine zusätzliche Dosis von höchstens dem quellenbezogenen Dosisrichtwert zur Folge haben¹².

Bei der Festlegung des quellenbezogenen Dosisrichtwertes berücksichtigt die Bewilligungsbehörde als Quelle alle an einem Standort befindlichen, kontrollierbaren Abgabestellen. Zur Berücksichtigung einer möglichen Überlagerung mehrerer Quellen empfiehlt die Internationale Strahlenschutzkommission ICRP [5] einen angemessenen quellenbezogenen

¹ Art. 7 StSV [4]

² Art. 14 Abs. 1 Bst. e KEG [1]

³ vgl. BBl 2001 2766

⁴ gemäss Art. 127 StSV [4]

⁵ Art. 7 Abs. 3 StSV [4]

⁶ Art. 7 Abs. 2 StSV [4]

⁷ gemäss Art. 37 StSV [4]

⁸ Art. 7 Abs. 1 StSV [4]

⁹ Art. 4 Abs. 2 KEG [1]

¹⁰ abgesehen von gesondert zu betrachtenden Spezialfällen, welche jedoch i. d. R. nicht wesentlich zur Belastung der kritischen Personengruppe beitragen

¹¹ Art. 94 Abs. 2 StSV [4]

¹² Art. 94 Abs. 3 StSV [4]

Dosisrichtwert von nicht mehr als etwa 0.3 mSv pro Jahr für eine einzelne Quelle¹. Dadurch ist bei zusätzlichen Immissionen aus anderen Quellen eine Überschreitung des Dosisrichtwertes nicht anzunehmen.

Für den Standort des bestehenden KKM ist entsprechend dieser Empfehlung ein quellenbezogener Dosisrichtwert von 0.3 mSv/a festgelegt², d.h. im Normalbetrieb und bei Betriebsstörungen ist die maximale Abgabe radioaktiver Stoffe an die Umgebung so begrenzt, dass die gesamte Strahlenexposition für Einzelpersonen der Bevölkerung höchstens 0.2 mSv/a³ und die aus Direktstrahlung aus der Anlage resultierende höchstens 0.1 mSv/a betragen.

Das EKKM wird in unmittelbarer Nähe des bestehenden KKM errichtet. Aus radiologischer Sicht können die beiden Anlagen zusammen als eine Strahlenquelle an einem Standort betrachtet werden, für welchen ein einziger quellenbezogener Dosisrichtwert gilt. Die zukünftige Betriebsbewilligungsinhaberin für das EKKM und die Bewilligungsinhaberin des bestehenden KKM werden die gemeinsame Nutzung dieses für den Standort der beiden Anlagen insgesamt festgelegten quellenbezogenen Dosisrichtwertes vertraglich regeln.

Ohne der Bewilligungsbehörde bei der Festlegung des quellenbezogenen Dosisrichtwertes vorzugreifen sei hier angemerkt, dass das Übertragen des für das bestehende KKM gültigen quellenbezogenen Dosisrichtwertes auf den Gesamtstandort KKM / EKKM aus radiologischer Sicht eine naheliegende Lösung ist.

4.1.4.4 Grundsätze zur weiteren Verminderung der Gefährdung durch ionisierende Strahlen

Das Kernenergiegesetz verlangt – über die im Strahlenschutzgesetz geforderten Massnahmen zur Begrenzung der Strahlenexposition⁴ hinausgehend – im Sinne der Vorsorge alle Vorkehrungen zu treffen, die zu einer weiteren Verminderung der Gefährdung beitragen, soweit sie angemessen sind⁵.

Zu diesem Zweck wird bei der Auslegung des EKKM und auch bei dessen späterem Betrieb hinsichtlich Minimierung der Abgabe radioaktiver Stoffe an die Luft und an Gewässer Vorsorge getroffen. Diese Vorsorge umfasst einerseits die Auslegung der zur Rückhaltung radioaktiver Stoffe dienenden Anlagen entsprechend dem Stand von Wissenschaft und Technik und andererseits später das Implementieren betrieblicher Programme und das Treffen betrieblicher Massnahmen, welche hinsichtlich Umweltpraxis ebenfalls dem Stand von Wissenschaft und Technik entsprechen.

Dadurch ist sichergestellt, dass die durch das EKKM verursachten Emissionen radioaktiver Stoffe einem Vergleich mit denjenigen anderer westeuropäischer Kernkraftwerke standhalten werden. Konkret ist davon auszugehen, dass die durch das EKKM verursachten Emissionen radioaktiver

¹ ICRP Publication 82 (Annals of the ICRP Vol. 29 No. 1-2, 1999), par. 38, p. 30, 32

² siehe z.B. HSK Strahlenschutzbericht 2007, S. 52

³ siehe z.B. HSK Strahlenschutzbericht 2007, S. 62

⁴ Art. 9 StSG [3]

⁵ Art. 4 Abs. 3 Bst. b KEG [1]

Stoffe nicht höher sein werden als diejenigen der neueren der heute betriebenen schweizerischen Anlagen gleichen Reaktortyps.

Damit ist gewährleistet, dass die zuständigen Behörden entsprechend ihrer Aufgabe beim Vollzug der Umweltvorschriften [35] u.a. auch die gemäss internationalem Übereinkommen zum Schutz des Nordost-Atlantiks [36] gegebenen Empfehlungen [37] berücksichtigen können.

4.2 Strahlenexposition in der Umgebung der Anlage

Die durch das EKKM 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. Nebst der aus dem Betrieb der Anlage normalerweise resultierenden Strahlenexposition sind diejenigen bei Störfällen zu betrachten, wobei diese nach den in der Strahlenschutzverordnung¹ gegebenen Häufigkeiten einzuteilen sind und nachzuweisen ist, dass die ebendort gegebenen Dosen eingehalten werden können.

Da Auslegung, Bau und Betrieb des EKKM unter konsequenter Beachtung der Grundsätze erfolgen wird, wie sie im Zusammenhang mit Strahlenexposition im Kernenergiegesetz² und in der Strahlenschutzgesetzgebung³ formuliert sind, ist davon auszugehen, dass die vom EKKM verursachte Strahlenexposition in der Umgebung der Anlage nicht höher sein wird als diejenige der neueren, heute betriebenen schweizerischen Anlagen gleichen Reaktortyps, was ebenfalls für die bei Störfällen zu erwartende Strahlenexposition gilt.

4.2.1 Einhaltung der maximal zulässigen Strahlenexposition in der Umgebung der Anlage

Die Betriebsbewilligung wird die Limiten für die Abgabe von radioaktiven Stoffen an die Umwelt festlegen⁴. Diese Limiten werden so bestimmt, dass der in der Rahmenbewilligung festgelegte quellenbezogene Dosisrichtwert eingehalten wird⁵. Der Betrieb des EKKM wird so erfolgen, dass diese Limiten und damit der quellenbezogene Dosisrichtwert jederzeit eingehalten sind. Somit ist sichergestellt, dass auch die maximal zulässige Strahlenexposition in der Umgebung der Anlage jederzeit eingehalten ist.

Durch die gemäss Kernenergiegesetz⁶ in der Betriebsbewilligung vorgesehene Verpflichtung des Anlageinhabers, Massnahmen zur Überwachung der Umgebung zu treffen, ist auch sichergestellt, dass jederzeit ein Nachweis über das Einhalten der maximal zulässigen Strahlenexposition in der Umgebung der Anlage vorhanden ist. Dieser Nachweis ist gemäss Vorgaben der Kernenergieverordnung⁷ ebenfalls Gegenstand der periodischen Berichterstattung. Der Nachweis wird mittels dem Stand von Wissenschaft und Technik entsprechenden Modellen geführt, welche

¹ Art. 94 Abs. 2-5.8 StSV [4]

² Art. 4 KEG [1]

³ Art. 9 StSG [3] und Art 79 StSV [4]

⁴ Art. 21 Abs. 1 Bst. c KEG [1]

⁵ vgl. BBI 2001 2770

⁶ Art. 21 Abs. 1 Bst. d KEG [1]

⁷ Art. 37 Abs. 1 i.V.m. Anhang 5 KEV [2]

die in der Strahlenschutzverordnung zur Vorsorge gegen Störfälle gegebenen Vorgaben¹ erfüllen und der Methodik und den Randbedingungen entsprechen, die nach dem Stand von Wissenschaft und Technik zur Berechnung der Strahlendosis der Bevölkerung in der Umgebung einer Kernanlage aus Abgaben radioaktiver Stoffe über Abluft und Abwasser zur Anwendung kommen.

4.2.2 Strahlenexposition durch Abgaben radioaktiver Stoffe

Abgaben radioaktiver Stoffe aus dem EKKM werden, in Übereinstimmung mit der Strahlenschutzverordnung², ausschliesslich über die Abluft an die Atmosphäre oder über das Abwasser an die Aare abgegeben.

4.2.2.1 Gasförmige und luftgetragene radioaktive Abgaben

Die Abluft aus der kontrollierten Zone der Anlage gelangt mittels Prozesssystemen, wie Kondensatorabsaugung und Lüftung, über den Fortluftkamin an die Umgebung. Damit werden die in der Abluft enthaltenen gasförmigen und luftgetragenen radioaktiven Stoffe kontrolliert abgegeben. Es ist vorgesehen, die Abgabepfade so mit Filtern auszurüsten, dass die Abgaben entsprechend der in Kapitel 4.1.4 aufgeführten Grundsätze so niedrig wie vernünftig möglich gehalten werden.

Die Abgabestrecke wird mit Aktivitätsmonitoren zur Überwachung und Bilanzierung der abgegebenen Aktivität versehen. Weiterhin ist vorgesehen, die Abgaben möglichst über einen einzigen Abgabepunkt, den Fortluftkamin, zu führen.

4.2.2.2 Flüssige radioaktive Abgaben

Radioaktives Wasser aus der Anlage wird gesammelt und aufbereitet. Die aufbereiteten Abwässer werden kontrolliert abgegeben. Die dazu benötigten Anlagensysteme werden so konzipiert, dass die radioaktiven Inhalte der an die Umgebung abzugebenden Abwässer entsprechend der in Kapitel 4.1.4 aufgeführten Grundsätze so niedrig wie vernünftig möglich gehalten werden.

Die Abgaben werden überwacht und bilanziert um sicherzustellen, dass die entsprechenden Grenzwerte und Limiten sowie die weiteren Ziele des Strahlenschutzes eingehalten sind. Auch Rücklaufleitungen von Kühlsystemen (mit Fluss- oder Grundwasser) werden überwacht, um durch allfällige Leckagen in Wärmetauschern oder anderen Barrieren verursachte Kontaminationen zu identifizieren und zu vermeiden.

4.2.3 Strahlenexposition durch Direktstrahlung

Durch entsprechende Abschirmungen sowie entsprechende betriebliche Massnahmen wird gemäss der in Kap. 4.1.4 aufgeführten Grundsätze sichergestellt, dass die Direktstrahlung so niedrig wie vernünftig möglich ist und insbesondere, wie in der Strahlenschutzverordnung³ gefordert, in Wohn-, Aufenthalts- und Arbeitsräumen 1 mSv/a und in anderen Bereichen 5 mSv/a nicht übersteigen wird. Ausserdem wird sichergestellt, dass die aus der Direktstrahlung

¹ Art. 94 Abs. 8 StSV [4]

² Art. 80 Abs. 1 StSV [4]

³ Art. 102 Abs. 3 StSV [4]

aus der Anlage resultierende Strahlenexposition für Einzelpersonen der Bevölkerung höchstens 0.1 mSv/a beträgt (vgl. Kap. 4.1.4).

Die Ortsdosis resp. die Ortsdosisleistung wird mittels geeigneter Messsysteme in der Umgebung des EKKM sowie am Zaun zu dessen Areal überwacht.

4.2.4 Strahlenexposition durch Freisetzen bei Betriebsstörungen und Störfällen

Mit der Auslegung der Anlage (vgl. Kap. 4.1.4.1) gegen Störfälle mit Ursprung innerhalb oder ausserhalb der Anlage mittels geeigneter passiver und aktiver Schutzmassnahmen nach dem Stand von Wissenschaft und Technik sind die Voraussetzungen geschaffen, die Strahlenexposition der Bevölkerung bei Störfällen auch unterhalb der gesetzlich festgelegten Grenzwerte so weit zu reduzieren, wie dies mit angemessenem Aufwand möglich ist.

Zum Nachweis des Einhaltens aller relevanten radiologischen Limiten bei Störfällen wird eine Analyse der auslegungsbestimmenden Betriebszustände und Störfälle und deren Auswirkungen auf die Anlage und Umgebung vorgenommen, wobei die in der Strahlenschutzverordnung¹ gegebene Einteilung der Störfälle berücksichtigt wird. Diese Analyse kann erst später, nach Feststehen der Auslegung der Anlage, durchgeführt werden und ist gemäss Kernenergieverordnung² Bestandteil der Unterlagen zum Gesuch für die Baubewilligung.

Als Folge der Auslegung der Anlage gemäss der in Kapitel 4.1.4.1 gegebenen Grundsätze ist davon auszugehen, dass bei Störfällen aller Kategorien die Strahlenexposition vergleichbar tief sein dürfte wie bei entsprechenden Störfällen in den neueren der bestehenden schweizerischen Anlagen.

Aufgrund der dem Stand von Wissenschaft und Technik entsprechenden Auslegung der Anlage ist weiter davon auszugehen, dass auch bei einigen der in heutigen Anlagen als auslegungsüberschreitend geltenden Störfällen grössere radioaktive Freisetzungen vermieden sind.

4.2.5 Kontrolle der betrieblichen Abgaben

Im Betrieb des EKKM wird die Messung der radioaktiven Abgaben als Strahlenschutzaufgabe im Strahlenschutzreglement geregelt sein, welches als Bestandteil der Betriebsdokumentation Bestandteil der Unterlagen des Gesuchs für die Betriebsbewilligung sein wird³. Das Strahlenschutzreglement wird gemäss Vorgaben der Kernenergieverordnung⁴ als organisatorisches Dokument während der gesamten Betriebsdauer des EKKM bis zum Abschluss der Stilllegung nachzuführen und dem aktuellen Stand der Anlage anzupassen sein.

Die Kontrolle der betrieblichen Abgaben wird in Übereinstimmung mit den Vorgaben der Kernenergieverordnung⁵ als Teil der Betriebsaufzeichnungen jederzeit nachvollziehbar dokumentiert werden.

¹ Art. 94 Abs. 2-5, 8 StSV [4]

² Art. 24 Abs. 2 Bst. a i.V.m. Anhang 4 KEV [2]

³ Art. 28 Abs. 1 Bst. a i.V.m. Anhang 3 KEV [2]

⁴ Art. 41 Abs. 1 i.V.m. Anhang 3 KEV [2]

⁵ Art. 41 Abs. 2 i.V.m. Anhang 3 KEV [2]

4.2.6 Einhaltung der Immissionsgrenzwerte

Das Einhalten der in der Strahlenschutzverordnung¹ festgelegten Immissionsgrenzwerte wird durch das in Kapitel 4.2.1 erwähnte Festlegen von Abgabelimiten und die Kontrolle der betrieblichen Abgaben sowie die in Kapitel 4.2.3 erwähnte Begrenzung der Direktstrahlung und deren Kontrolle gewährleistet.

Aufgrund der allgemeinen Pflichten des für die Sicherheit der Anlage und des Betriebs verantwortlichen Betriebsbewilligungsinhabers wird die zukünftige Betreiberin des EKKM in Übereinstimmung mit der Strahlenschutzverordnung² als Bestandteil der gemäss Kernenergiegesetz³ erforderlichen Dokumentation über den Betrieb die Immissionen radioaktiver Stoffe und die Direktstrahlung aus dem Betrieb des EKKM 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 Strahlenschutzverordnung⁴ vorgesehen ist – ebenfalls die Aufnahme von Nullpegelmessungen während einiger Jahre, z.B. vor der Betriebsaufnahme des EKKM.

Die Immissionsüberwachung wird analog der im Kapitel 4.2.5 aufgeführten Kontrolle der betrieblichen Abgaben im Rahmen der Betriebsbewilligung definitiv festgelegt.

¹ Art. 102 StSV [4]

² Art. 103 StSV [4]

³ Art. 22 Abs. 2 Bst. i KEG [1]

⁴ Art. 81 Abs. 4 StSV [4]

5 Personal und Organisation, Menschliche und Organisatorische Faktoren

5.1 Einleitung

In diesem Kapitel werden gemäss Kernenergieverordnung KEV¹ die wichtigen personellen und organisatorischen Angaben zu den Phasen des Projektes EKKM gemacht. Dabei werden insbesondere die Grundlagen zur Festlegung der zukünftigen Betriebsorganisation erörtert. Des Weiteren werden in diesem Kapitel die Absichten betreffend der zukünftigen Programme im Bereich der menschlichen und organisatorischen Faktoren behandelt.

Die aktuelle und folgende Projektphase (Standortbestimmung und Rahmenplanung resp. Projektierung und Auslegung) stehen in diesem Kapitel im Vordergrund; im Rahmen des weiteren Bewilligungsverfahrens werden detailliertere Angaben zu den anschliessenden Projektphasen gemacht werden.

5.2 Grundsätze zu Personal und Organisation

Die Organisation und ihre personelle Ausstattung werden auf die relevanten Forderungen aus der Gesetzgebung – Kernenergiegesetz KEG [1], Kernenergieverordnung KEV [2], Strahlenschutzgesetz StSG [3] und Strahlenschutzverordnung StSV [4] – sowie auf Anforderungen aus einschlägigen weiteren Verordnungen (namentlich die Verordnung über die Anforderungen an das Personal von Kernanlagen VAPK [79]) und Richtlinien der Behörden resp. der von den Behörden ggf. beauftragten Organisationen basieren.

Für die verschiedenen Phasen der Projektabwicklung wird eine Organisation entwickelt, welche es ermöglicht:

- Projekt- und Bewilligungsabläufe so zu gestalten, dass alle Anforderungen der nuklearen Sicherheit nachweislich erfüllt werden resp. eine ganzheitliche Bewertung der Sicherheit möglich ist.
- Projekt- und Bewilligungsabläufe optimal aufeinander abzustimmen und die Erfordernisse aus den Bewilligungsabläufen zeitgerecht in die Projektabläufe einfliessen lassen zu können.
- die Projektorganisation flexibel den Projektphasen mit ihren unterschiedlichen fachlichen und methodischen Schwerpunkten anzupassen und schliesslich eine geeignete Betriebsorganisation zu bestimmen.

Die Organisation für den Bau und Betrieb einer neuen Kernanlage wie EKKM wird sich im Laufe des Projektes zwangsläufig ändern. Bei dieser Organisationsentwicklung werden jedoch einige Eckpfeiler immer zentral stehen:

- nukleare Sicherheit (durch konservative Auslegung, hochqualitative Herstellung, verantwortungsbewusste Betriebsführung usw.) und Sicherheitskultur²

¹ Art. 23 Bst. a Ziff. 4 KEV [2]

² Sicherheitskultur ist die Summe aller Merkmale und Einstellungen in Organisationen und Individuen, die sicherstellt, dass als oberste Priorität Themen der nuklearen Sicherheit die Aufmerksamkeit erhalten, die sie aufgrund ihrer Signifikanz verdienen.

- Konventionelle Sicherheit
- Sicherung der Anlage
- Abstimmung von Projekt- und Bewilligungsabläufen
- Management von Schnittstellen und Kommunikation zwischen Projektantin bzw. zukünftiger Bewilligungsinhaberin, Lieferanten und Aufsichtsbehörden sowie Bestimmung ihrer Rollen und Verantwortlichkeiten.

Diese Grundsätze werden so umgesetzt, dass die Aufgaben und Kompetenzen des Personals in allen Projektphasen adäquat und sicherheitsgerichtet zugeordnet sind. Die Projektantin bzw. zukünftige Bewilligungsinhaberin wird dazu die entsprechenden Fach- und Methodenkompetenzen und Ressourcen sicherstellen; sie stellt ebenfalls sicher, dass auch die Lieferanten diese Kompetenzen und Ressourcen sowie eine geeignete Organisation bereitstellen. Sie wird jederzeit die Produkte und Dienstleistungen der Lieferanten kennen und verstehen ("Intelligent Customer Capability"), und eine umfassende Überwachung der Aktivitäten der Lieferanten gewährleisten.

Im Einklang mit den von der IAEO formulierten Grundsätzen zur Sicherheitskultur (INSAG-4, siehe [80]) wird die Projektantin bzw. zukünftige Bewilligungsinhaberin und deren Vertreter, insbesondere die für den späteren Betrieb verantwortlichen 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 sie 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 sich das Personal der beteiligten Organisationen strikt an die Prinzipien der Sicherheitskultur (z.B. eine hinterfragende Haltung, die Bewertung des Erfahrungsrückflusses, die Berücksichtigung der wichtigen Aspekte zwischen Mensch, Maschine und Organisation) hält resp. diese Prinzipien im Alltag auch umsetzt. Die Prinzipien der Sicherheitskultur werden im Laufe des Projektes sukzessive definiert und zwischen dem Projektmanagement und dem Personal abgestimmt; während Bau resp. Betrieb werden diese Prinzipien aufgrund des Erfahrungsrückflusses vervollständigt.

Von der Projektierung bis zur Stilllegung werden adäquate, umfassende und vollständige Sicherheitsbetrachtungen erforderlich sein. Dazu sind die folgenden Elemente der nuklearen Sicherheit unverzichtbar:

- Nukleartechnisches Engineering, im Bereich der deterministischen und der probabilistischen Sicherheitsanalysen
- Human and Organizational Factors (HOF) Engineering (siehe Kap. 5.4 ff.)
- Qualitätsmanagement (Qualitätssicherung, Qualitätskontrolle): gemäss Kernenergieverordnung KEV¹ wird zunächst ein QM-Programm für die Projektierungs- und Bauphasen entwickelt und vor (QM-Programm für die Projektierung) resp. zusammen mit (QM-Programm für den Bau) dem Gesuch zur Baubewilligung eingereicht (siehe auch

¹ Art. 24 und 25 KEV [2]

Kap. 2.8). Ein Managementsystem, welches die Aspekte des Qualitätsmanagements und der Organisation resp. der Organisationsprozesse integriert, wird angestrebt.

Der dazu während der verschiedenen Projektphasen notwendige Personalbestand sowie dessen organisatorische Gliederung, Ausbildung und Einsatz wird in den Gesuchen zur Bau- resp. Betriebsbewilligung dargelegt. Im folgenden Abschnitt sind die einzelnen Projektphasen mit den beabsichtigten Merkmalen bzgl. Personal und Organisation kurz beschrieben.

5.3 Organisationsentwicklung im Projekt EKKM

Die verschiedenen Organisationseinheiten für Projektierung, Bau, Betrieb und Stilllegung sowie deren Aufgaben und Kompetenzen werden sukzessive gebildet. In entsprechenden Dokumenten (z.B. Management- oder Prozesshandbuch, Betriebsreglement) werden die Einzelheiten dieser Organisationen und deren Prozesse festgehalten, z.B. in den Bereichen:

- Reaktorbetrieb (mit erforderlichem Minimalbestand des Personals)
- Strahlenschutz
- Instandhaltung
- Sicherheitsbewertungen, Ereignisauswertungen
- Abwicklung von Anlagenänderungen
- Aus- und Weiterbildung, Qualifikationsanforderungen (insbesondere für lizenziertes Personal).

Vorstudien zur Standortbestimmung und Rahmenplanung

In dieser Phase besteht die Projektorganisation hauptsächlich aus Fachgebieten zum nukleartechnischen Engineering, welche Untersuchungen zur Eignung des möglichen Standortes durchführen und die Aspekte der Umweltverträglichkeit, Sicherheit, Sicherung 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 (siehe Kap. 1.3) bzw. in verwandten Organisationen durch langjährige Tätigkeit in der Kerntechnik und in der Führung von nuklearen Projekten 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 werden als externe Experten mit Aufgaben in den einschlägigen Fachbereichen beauftragt. Das Kernteam trägt die Verantwortung für die Beauftragung aller dieser Experten, die Koordination deren Arbeit und die Qualitätssicherung der Ergebnisse. Ein formelles Qualitätsmanagementprogramm ist noch nicht etabliert, jedoch werden die für die Qualitätssicherung der Arbeiten und insbesondere der einzureichenden Dokumente relevanten Vorgänge umgesetzt (siehe Kapitel 2.8).

Projektierung und Auslegung

Die während der Vorstudien aufgebaute Projektorganisation wird erweitert zu einem vollständigen Projektunternehmen, in dem sämtliche Disziplinen des nukleartechnischen und HOF-Engineering vertreten sind zur Untersuchung der möglichen Reaktortechnologien und – nachdem die Wahl der Technologie getroffen ist – für die detaillierten Analysen, die für das Einreichen des Gesuches zur Baubewilligung erforderlich sind. Die Erarbeitung einer Angebotsspezifikation, die Bewertung der Angebote und die Detailanalysen zur Auslegung sind Schwerpunkte während dieser Projektphase.

Der Personalbestand wird verstärkt, damit die nötigen Kernkompetenzen innerhalb der Organisation vorhanden sind. Der Bedarf zur externen Unterstützung durch anerkannte Experten in einzelnen Spezialbereichen wird jedoch weiterhin bestehen, ebenso wird später auch der Reaktorlieferant eine wichtige Stütze bei den Detailanalysen sein. Ein Qualitätsmanagementprogramm wird in dieser Phase gemäss Kernenergieverordnung KEV¹ entwickelt werden.

Bau

Die für die Projektierung / Auslegung aufgebaute Projektorganisation wird beibehalten, da die Projektierungs- und Bauphase sich weitgehend überlappen werden. Zusätzlich wird nun die Organisation der zukünftigen Bewilligungsinhaberin, die für den Bau verantwortlich ist, aufgebaut. Diese wird ebenfalls sämtliche Disziplinen im nukleartechnischen und im HOF-Bereich enthalten, aber auch bereits Elemente im Hinblick auf die spätere Inbetriebnahme resp. den späteren Betrieb einschliessen (z.B. Kontrolle und Unterhalt von Komponenten / Strukturen). Die Überwachung der Herstellung resp. Montage auf Grundlage der Auslegungsspezifikationen und der einzuhaltenden, gesetzlichen und behördlichen Vorschriften bilden wichtigen Schwerpunkte während dieser Phase des Projektes.

Der Personalbestand wird den neuen Bedürfnissen angepasst; externe Unterstützung durch den Reaktorlieferanten (und dessen Unterlieferanten) sowie durch anerkannte Experten wird weiterhin geleistet. Die zukünftige Bewilligungsinhaberin stellt sicher, dass die Gesamtorganisation den Herausforderungen und Risiken auf der Baustelle gewachsen und in der Lage ist, allfällige Ereignisse oder Nonkonformitäten festzustellen, zu analysieren und ggf. zu korrigieren. Das Qualitätsmanagementsystem, das gemäss Kernenergieverordnung KEV² entwickelt wird, wird in dieser Projektphase eine äusserst wichtige Rolle spielen; insbesondere das Management der Schnittstellen zwischen den verschiedenen Lieferanten, der Projekt- und Bauorganisation und der Behörden wird stark an Bedeutung zunehmen.

Die Weiterführung der Projektarbeit hinsichtlich der Inbetriebnahme resp. des Betriebes ist ebenfalls ein Schwerpunkt während der Bauphase. Die zukünftige Bewilligungsinhaberin nimmt dazu während der Bauphase den Aufbau der Betriebsorganisation und die Rekrutierung und Ausbildung des dafür notwendigen Personals im Angriff, mit dem Ziel, dass die Betriebsorganisation bereits vor der Inbetriebsetzung operationell ist.

¹ Art. 25 KEV [2]

² Art. 25 KEV [2]

Betrieb

Die Betriebsorganisation, die gemäss den Anforderungen der Kernenergieverordnung KEV¹ gestaltet wird, wird zu einem Grossteil aus der Bauorganisation hervorgehen. Die Bauorganisation enthält bereits sehr viele wichtige Fachbereiche, muss jedoch um betriebspezifische Disziplinen ergänzt werden (wie z.B. Reaktoroperateure, Instandhaltungspersonal, Personal zur Strahlungsüberwachung). Die Betriebsorganisation wird frühzeitig gebildet (siehe oben), damit das Betriebspersonal mit der Auslegung und mit den Systemen / Komponenten vertraut ist. Das zukünftige Betriebspersonal wird vor der Inbetriebnahme stufengerecht für die künftige Tätigkeit ausgebildet. Neben der Schulung von Anlagen- und Systemkenntnissen wird das lizenzpflichtige Betriebspersonal (Reaktoroperateure, Schichtleiter, Pikettingenieur) eine fundierte Ausbildung über das transiente und dynamische Verhalten erhalten. Mit der Schulung am Simulator werden Stör- und Notfallkenntnisse und die Teamarbeit geschult. Generell wird während des letzten Teils der Bauphase die Ausbildung für das zukünftige Betriebspersonal beginnen.

Ein Qualitätsmanagementsystem für den Betrieb wird gemäss Kernenergieverordnung KEV² entwickelt und mit dem Gesuch zur Betriebsbewilligung eingereicht. Ein sicherer Betrieb und Instandhaltung der Anlage, periodische Sicherheitsüberprüfungen und Analysen von Vorkommnissen sind wesentliche Bestandteile der QM-Systems für die Betriebsphase.

Die zukünftige Betriebsbewilligungsinhaberin wird periodisch eine systematische Bewertung der Organisation und des Personals im Rahmen einer umfassenden Sicherheitsüberprüfung durchführen³. Des Weiteren wird die zukünftige Betriebsbewilligungsinhaberin ein Gremium einsetzen, das Ereignisse und Befunde mit Ursachen im technischen sowie im HOF-Bereich analysiert (chronologischer Verlauf, Analyse der Ursachen, Abweichungen von Normen oder Limiten usw.), korrektive oder präventive Massnahmen vorschlägt und deren Umsetzung überwacht⁴.

Für die Entwicklung und Gestaltung der Betriebsorganisation werden die behördlichen Anforderungen der Richtlinie G-07 [81] umgesetzt werden.

Stilllegung

Die zur Stilllegung benötigte Organisation wird zu einem Grossteil aus der Betriebsorganisation hervorgehen und gemäss Kernenergieverordnung KEV⁵ bereits während der Betriebsphase vorbereitet und eingerichtet. Das mit der Anlage vertraute Personal wird eine wichtige Rolle spielen beim sicheren Abbau und bei der Entsorgung der Komponenten. Die Organisationsstruktur wird grundsätzlich der Struktur der Bauorganisation entsprechen; auch hier ist das Management der Schnittstellen eine wichtige Angelegenheit.

¹ Art. 30 KEV [2]

² Art. 31 KEV [2]

³ Art. 33 und 34 KEV [2]

⁴ Art. 30 Abs. 3 KEV [2]

⁵ Art. 45 KEV [2]

Auch in dieser Phase wird gemäss Kernenergieverordnung KEV¹ ein Qualitätsmanagementsystem entwickelt werden.

5.4 Menschliche und Organisatorische Faktoren, Grundlagen und Ziele

In den folgenden Abschnitten werden die Absichten beschrieben, wie die menschlichen und organisatorischen Faktoren in das Projekt EKKM – von der Projektierung bis zur Stilllegung – einbezogen werden.

Der Begriff "Human and Organizational Factors" (HOF) steht mit organisatorischen und menschlichen Aspekten in Zusammenhang und bezieht sich auf alle Gesichtspunkte einer Arbeitssituation, auf die eingewirkt werden kann, um die Schnittstelle zwischen Mensch und System resp. Maschine (Mensch-Maschine-Schnittstelle, MMS) zu verbessern:

- Jene, die zum menschlichen Funktionieren gehören (individuelle Dimension der Arbeit)
- Jene, die mit dem technischen, organisatorischen und sozialen Umfeld der Arbeit in Beziehung stehen (kollektive Dimension der Aktivitäten).

In diesem Rahmen leistet das Personal einen wesentlichen Beitrag zur "Defense-in-Depth" (in die Tiefe gestaffelte Abwehr). Mit seinem Denk-, Organisations-, Anpassungs-, Hinterfragungs- und Reaktionsvermögen trägt das Personal beim Bedienen sowie bei der Überwachung und Instandhaltung der Anlage zur Sicherheit in allen Betriebssituationen bei.

Das Vorhaben zum Einbeziehen der HOF für das EKKM wird dazu beitragen, von der Planung der neuen Anlage an alle Gesichtspunkte der Arbeitssituationen zu berücksichtigen, um die Organisation und die für das Personal notwendigen Mittel (Arbeitsmittel, Schutzmittel, organisatorische Massnahmen, Betriebsvorschriften etc.) festzulegen, die Folgendes ermöglichen:

- Seine Ziele zu erreichen und seine Tätigkeit unter Beachtung der Betriebsanforderungen auszuüben
- Die technischen, organisatorischen und menschlichen Risiken, die das erwartete Leistungsniveau beeinträchtigen könnten, vorzusehen und zu vermeiden

Das bzgl. der Rahmenbewilligung konzipierte Vorhaben zu HOF basiert auf den folgenden rechtlichen Grundlagen:

- Art. 5 Abs. 1 KEG [1]
- Art. 7 Bst. a, Art. 10 Abs. 1 Bst. j, Art. 23 Bst. a Ziffer. 4, Art. 25 Abs. 1, und Art. 36 KEV [2]
- Übereinkommen über nukleare Sicherheit ("Convention on Nuclear Safety") der IAEO²
 - Art. 12: Menschliche Faktoren: "Jede Vertragspartei trifft die geeigneten Massnahmen, um sicherzustellen, dass die Fähigkeiten und Grenzen menschlichen Handelns während der gesamten Lebensdauer einer Kernanlage Berücksichtigung finden".
 - Art. 18: Auslegung und Bau, Klausel (iii): "Jede Vertragspartei trifft die geeigneten Massnahmen, um sicherzustellen, dass die Auslegung einer Kernanlage den zuverlässigen,

¹ Art. 45 KEV [2]

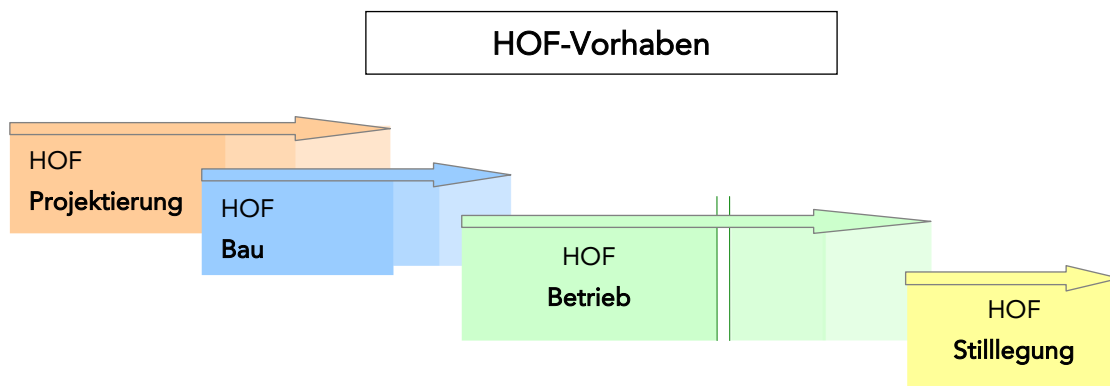
² Die "Convention on Nuclear Safety" (siehe z.B. unter www.hsk.ch) wurde in der Schweiz in Kraft gesetzt am 11. Dezember 1996.

beständigen und leicht zu handhabenden Betrieb ermöglicht, wobei die menschlichen Faktoren und die Schnittstelle zwischen Mensch und Systeme besondere Berücksichtigung finden".

5.5 Überblick des HOF-Vorhabens

Das HOF-Vorhaben für das EKKM steht mit einem kontinuierlichen Prozess in den verschiedenen Etappen des Lebenszyklus der Anlage in Beziehung, der Folgendes umfasst:

- Die Engineering-Aktivitäten
 - bei der Projektierung des neuen Kraftwerkes. Diese Aktivitäten sind für die Auslegung der Schnittstellen zwischen Mensch und Systemen, die Festlegung der Verhaltensregel, die Einrichtung des Kommandoraums, die Erkennung der mit den Instandhaltungsarbeiten verbundenen Zwänge bereits bei der Auslegung der Anlage, die Bewertung der entwickelten Produkte usw. besonders wichtig.
 - bei der Gestaltung der zukünftigen Bau- und Betriebsorganisation, insbesondere für das Managementsystem mit Prozessen und Qualitätssicherungsmaßnahmen.
- Die Berücksichtigung der HOF beim Bau der Anlage, insbesondere für die Vorgänge, die mit Risiken und / oder Herausforderungen verbunden sind.
- Die Berücksichtigung der HOF in der Phase des Betriebs der Anlage, um die menschlichen Aktivitäten optimal zu gestalten.
- Die Berücksichtigung der HOF während der Vorbereitung und Durchführung des Rückbaus und der Errichtung der für die Stilllegung des EKKM notwendigen Anlagen, insbesondere für die mit Risiken behafteten Tätigkeiten.



(**Bemerkung:** der vertikale Balken in der Betriebsphase veranschaulicht den sehr langen Zeithorizont des Betriebes im Vergleich zu den anderen Phasen.)

5.6 Grundsätze des HOF-Vorhabens

Das für das EKKM entwickelte HOF-Vorhaben beruht auf den folgenden bedeutenden Grundsätzen:

- Kontinuierliche, genaue und strukturierte Berücksichtigung der HOF durch die Projektantin bzw. zukünftige Bewilligungsinhaberin in allen Etappen der Projektierung, des Baus, des Betriebes und der Stilllegung der Anlage mit dem Ziel der Optimierung der Durchführung der Arbeiten durch Beachtung der menschlichen und organisatorischen Besonderheiten der Anlage.
- Erfüllung der in den Bezugsdokumenten auf dem HOF-Gebiet beschriebenen nationalen (behördlichen) und internationalen Anforderungen (siehe IAEO Safety Standards; INSAG-Dokumente; Internationale Normen und Standards wie ISO, IEC).
- Multidisziplinäre Berücksichtigung der HOF von der Projektierung an, durch die Fachexperten der Auslegung, des Betriebes, der HOF, der Sicherheit, des Strahlenschutzes usw. sowie durch die Vertreter der Betriebs- und Instandhaltungsteams.
- Berücksichtigung des HOF-Erfahrungsrückflusses
 - einerseits, um die Anlage, die Räume, die Überwachungs- und Betriebsschnittstellen usw. zu projektieren und
 - andererseits, um das menschliche Handeln während der Phasen des Baus, des Betriebes und der Stilllegung der Anlage zu optimieren
- Iterative Berücksichtigung der HOF im Verlauf eines Prozesses, in dem technische und organisatorische Entscheidungen in den verschiedenen Etappen des Lebens der Anlage bewertet und verfolgt werden, um sich zu vergewissern, dass die dem Personal zur Verfügung stehenden Mittel geeignet sind, um die Arbeitsbedingungen und -abläufe zu optimieren.
- Die Entscheidungsgründe des HOF-Vorhabens werden erstellt, geprüft und genehmigt entsprechend den Prozessen und Vorgaben des Qualitätsmanagementprogramms des EKKM-Projektes (siehe Kap. 2.8).

5.7 Wirkungsbereich des HOF-Vorhabens

Das HOF-Vorhaben bezieht sich auf alle Zustände der Anlage (Normalbetrieb, periodisches An- und Abfahren der Anlage, Fahren unter Stör- und Unfallbedingungen) sowie auf alle Betriebs-, Instandhaltungs-, Versuchs- und Logistikaktivitäten (im Kommandoraum oder in der Anlage), insbesondere wenn sie:

- sicherheitsbezogen sind
- sich auf die Umwelt auswirken können
- oder in einer für das Personal gefährlichen Umgebung stattfinden

Um die Bedingungen zur Durchführung dieser Aktivitäten zu berücksichtigen und zu verbessern, bietet das HOF-Vorhaben die Möglichkeit, auf verschiedene Hebel einzuwirken, um die Wechselwirkung "Benutzer / Anlage" zu optimieren: Ergonomie der Anlagen, der Gebäude, der Räume und der Arbeitsplätze; Qualität der Betriebsschnittstellen (in- und ausserhalb des Kommandoraums) und der während der Aktivitäten verwendeten Mittel; Optimierung der Kommunikationssysteme; Optimierung der Kompetenzen des Personals und der vor Ort und in

der Schulung Beteiligten; Bewertung der Fähigkeit, die verlangten Aufgaben zu erfüllen; Wirksamkeit und Leistungsfähigkeit der individuellen und kollektiven Arbeitsmethoden; Optimierung der Arbeitsmethoden und der Organisationseinheiten; Management resp. Qualitätsmanagement; Betriebs- resp. Verhaltensregeln; Betriebs- und Instandhaltungsprozesse (z.B. Arbeitsabläufe, Verfahren, Betriebsvorschriften). Diese vielfältigen Aspekte, die von den HOF betroffen sind, sind in der folgenden Abbildung 5.7-1 dargestellt (in willkürlicher Reihenfolge):

Abbildung 5.7-1: Wirkungsbereich der HOF



Überdies wird das HOF-Vorhaben zur Gestaltung der Organisation bei Projektierung, Betrieb und Stilllegung von Bedeutung sein, indem es beiträgt zu Überlegungen bzgl. Arbeitsabläufe, Qualitätsmanagement, Management und Personalführung, QM sowie Rekrutierung und Ausbildung. Überlegungen im Bereich "Personal und Organisation" sind in den Kapiteln 5.2 und 5.3 beschrieben.

Eine besondere Aufmerksamkeit wird der Rolle des Personals gewidmet sein, im Hinblick auf die noch zu wählenden Technologien der neuen Anlage. Die neu zur Verfügung stehenden Technologien und die stets weitergehende Automatisierung haben einen bedeutenden Einfluss auf das Verhalten und die Stellung des Personals für Betrieb und Instandhaltung; das HOF-Vorhaben wird somit von grosser Bedeutung sein für die Wahl und Validierung der Technologien.

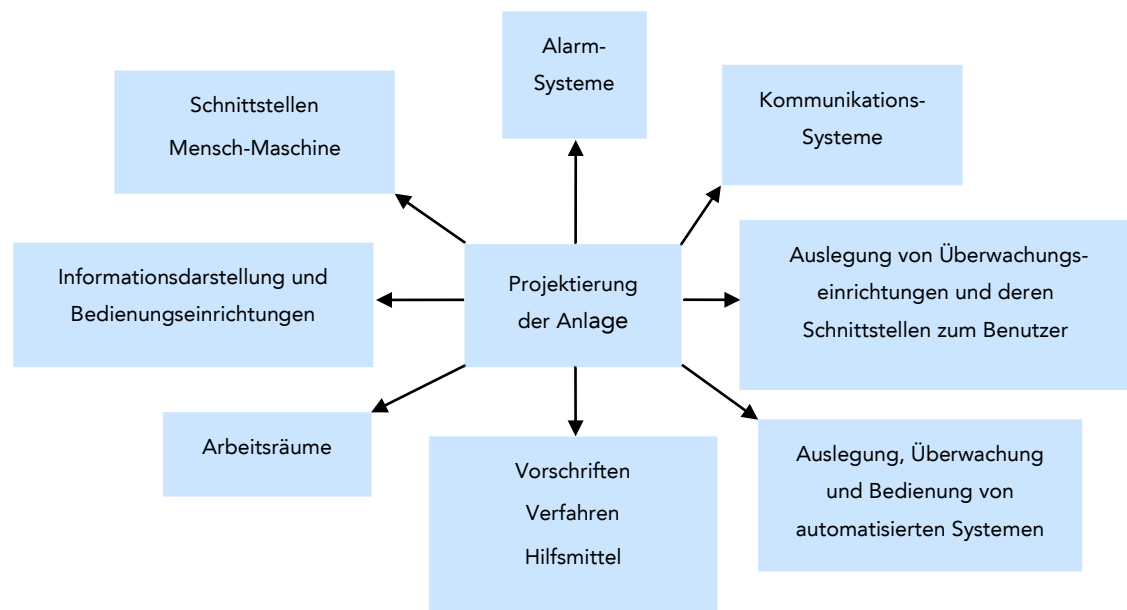
Während der Projektierung der Anlage sind folgende Punkte ebenfalls von Bedeutung:

- Anordnung der Gebäude, der Räume und der Komponenten
- Zugänglichkeit der Komponenten und der Instandhaltungsmittel
- Optimierung der Bewegungsräume
- Überwachungs- und Fahreinrichtungen der Anlage (Betrieb in- und ausserhalb des Kommandoraums) und die Mittel für deren Instandhaltung.

Auf Ebene der Schnittstellen im Kommandoraum haben die HOF-Studien das Ziel, in Abstimmung mit dem Reaktorlieferant sowie mit den Unterlieferanten, die an der Anlagenauslegung beteiligt sind, die mit der Wechselwirkung zwischen Mensch und Maschine verbundenen Auslegungsoptionen wie z.B. die Anordnung der verschiedenen Schnittstellen und Arbeitsplätze des Kommandoraums, die Umgebungsbedingungen, die Einrichtungen zur Darstellung auf Bildschirmen, Displays sowie die Gestaltung von Steuer-, Rückmelde- und Alarmtafeln, die Anlagesteuereinrichtungen, die Alarmsysteme, die automatischen Abläufe, die Kommunikationssysteme sowie die Schnittstellen zwischen den Überwachungseinrichtungen des Prozesses und den Komponenten festzulegen resp. zu validieren. Dazu werden Anforderungen definiert, damit die vom Personal zu verwendenden Einrichtungen und Arbeitsmittel den Bedürfnissen entsprechen und den Erfahrungsrückfluss im Bezug auf die Projektierung und den Betrieb von bestehenden Kernanlagen aufnehmen.

Diese Themen sind in der folgenden Abbildung 5.7-2 dargestellt (in willkürlicher Reihenfolge bzgl. deren Wichtigkeit oder zeitlicher Abwicklung):

Abbildung 5.7-2: HOF-Themen für die Projektierung / Auslegung



Die Benutzerfreundlichkeit dieser Arbeitsmittel und Einrichtungen für das Betriebs- und Instandhaltungspersonal, ihre Toleranz gegenüber menschlichem Fehlverhalten, die Zulassung von Reaktionszeiten, die den menschlichen Fähigkeiten und Grenzen entsprechen, die Ergonomie der Informationen und der Bedienung sowie die vorgesehenen Ausgleichsmöglichkeiten bei (technischen oder menschlichen) Fehlern sind Ziele, welchen die Projektantin resp. zukünftige Bewilligungsinhaberin besondere Aufmerksamkeit schenken wird im Hinblick auf die Auslegungsanforderungen und die Auslegungsbedingungen des Lieferanten.

Die Projektantin resp. zukünftige Bewilligungsinhaberin wird sich dafür einsetzen, die Anforderungen für die Projektierung resp. Auslegung der neuen Anlage im Bereich der HOF so weit wie möglich zu realisieren. Die HOF-Anforderungen werden jedoch u.U. in Diskrepanz sein mit den Auslegungsbedingungen der Lieferanten: die meisten neuen Anlagekonzeptionen sind "standardisiert", und Abweichungen der Standardkonzeption sind nur zum Teil möglich oder mit sehr hohem Aufwand verbunden. Wenn die HOF-Anforderungen nicht oder nur teilweise umsetzbar sind, werden – auf der Grundlage von Kosten-Nutzen-Analysen – Alternativen gesucht, damit die Abweichungen zu den Anforderungen kompensiert resp. bewältigt werden können.

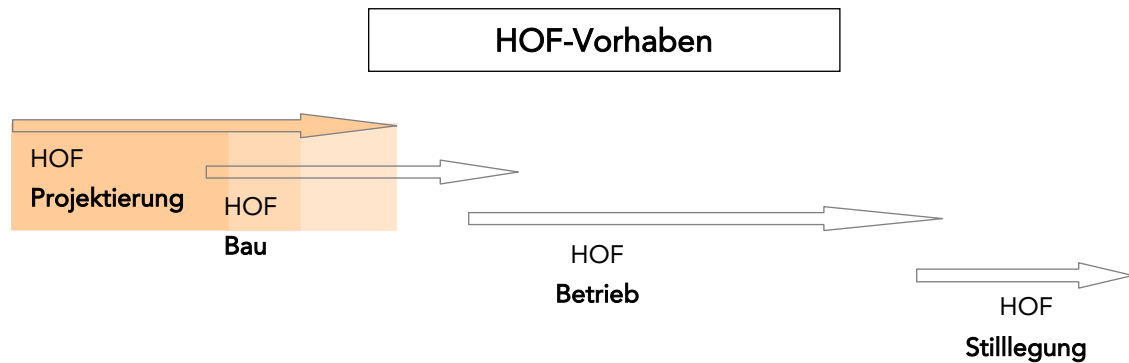
5.8 Umsetzung des HOF-Vorhabens

Das HOF-Vorhaben wird von der Projektantin resp. zukünftigen Bewilligungsinhaberin festgelegt und umgesetzt; er ist für die Koordination verantwortlich und ernennt einen HOF-Koordinator, der das gesamte Vorhaben steuert. Der HOF-Koordinator ist dem technischen Leiter des EKKM-Projektes zugeordnet und kann diesen bei Bedarf auf die Notwendigkeit von HOF-Studien und / oder auf die Folgen der Auslegungswahl hinweisen.

Um eine multidisziplinäre Berücksichtigung des Gebietes von der Projektierungsphase an zu fördern, sorgt der HOF-Koordinator für die Vernetzung der Kompetenzen aus den verschiedenen Fachbereichen (inkl. Betriebs- und Instandhaltungs-Teams), damit die gewählten Auslegungsoptionen für die Bedürfnisse der Betreiber geeignet sind.

Der Koordinator leitet auch die Vorbereitung der Etappen zur Berücksichtigung der HOF beim Bau, Betrieb und der Stilllegung ein. Während dieser Phasen wird die Implementierung des HOF-Vorhabens spezielle Organisationsmassnahmen erfordern, die von der zukünftigen Bewilligungsinhaberin nach Bedarf und unter Berücksichtigung des Erfahrungsrückflusses der Anlage festgelegt werden.

5.9 Das HOF-Vorhaben bei der Projektierung der Anlage

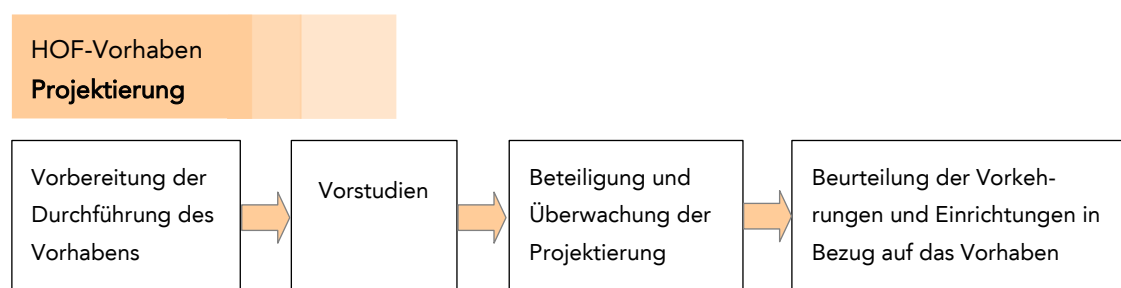


5.9.1 Ziele

Das so früh wie möglich vor der eigentlichen Projektierung der Anlage, der Komponenten und der Schnittstellen in die Wege geleitete HOF-Vorhaben ermöglicht die Berücksichtigung aller Gesichtspunkte der künftigen Arbeitssituationen und des Projektierungs- und Betriebserfahrungsrückflusses anderer Kernanlagen.

Es umfasst verschiedene Etappen, welche die Möglichkeit bieten, die Durchführung des HOF-Vorhabens vorzubereiten, Vorprojektstudien einzuleiten, die Beteiligung an und Beaufsichtigung bei der Projektierung der Anlage, des Kommandoraums und der Betriebsdokumente zu planen, und die Grundlagen und Massnahmen in Bezug auf HOF zu beurteilen (siehe Abbildung 5.9-1).

Abbildung 5.9-1: Etappen des HOF-Vorhabens bei der Projektierung



Jede dieser Etappen setzt die Durchführung von Studien auf der Grundlage von anerkannten Methoden in Sachen HOF voraus.

5.9.2 Etappen

5.9.2.1 Vorbereitung der Durchführung des HOF-Vorhabens

Das Ziel besteht darin, ein HOF-Vorhaben zu entwickeln, welches für die Projektierung des EKKM und der Einrichtungen, die das Personal für die Ausübung seiner Tätigkeiten verwenden wird, zweckmässig ist. Unter Berücksichtigung der Besonderheiten des Projektes und des Fortschritts der Projektierungsarbeiten legt die Projektantin die Abwicklung, den Durchführungszeitplan, die zugewiesenen Ressourcen und die Dokumente fest, welche die Rückverfolgbarkeit der Resultate sicherstellen.

5.9.2.2 Vorprojektstudien

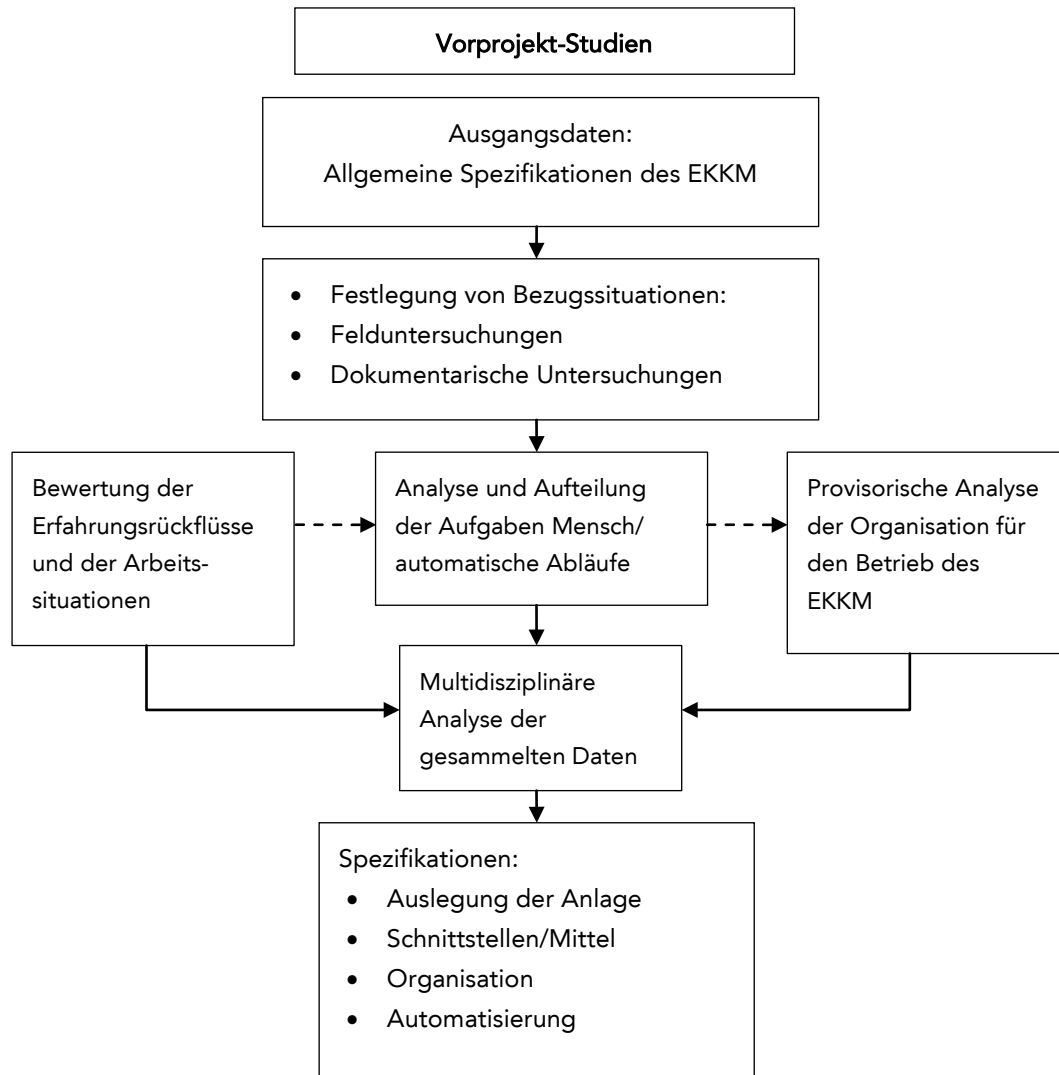
Die vor der Projektierung durchgeführten HOF-Studien ermöglichen eine multidisziplinäre Festlegung der HOF-Anforderungen für das EKKM, der Prinzipien der zu wählenden Betriebsverfahren, der wichtigen Merkmale der zukünftigen Anlage und der vorgesehenen Schnittstellen, des Automatisierungsgrades, der Organisationsprinzipien des Werks hinsichtlich Personal, Rekrutierung, Qualifikationen und Schulung.

Der Erfahrungsrückfluss bzgl. Auslegung aus bestehenden und sich im Bau befindenden Kernanlagen dient als Ausgangspunkt für die Projektierungsphase und ermöglicht die Ausarbeitung der detaillierten Spezifikationen für die Projektierung der Anlage, des Kommandoraums und der Mittel für den Anlagebetrieb. Dieser Erfahrungsrückfluss umfasst die betriebliche Erfahrung vom Betriebs- und Instandhaltungspersonal, von an der Projektierung und am Bau beteiligten Lieferanten, sowie von HOF-Experten mit einschlägiger Erfahrung.

Um die für die Ausarbeitung dieser Spezifikationen notwendigen Informationen zu sammeln, werden folgende Studien unternommen (siehe Abbildung 5.9-2 für einen schematischen Überblick):

- Eine Bewertung des Erfahrungsrückflusses von ähnlichen Kernanlagen und Analyse von vergleichbaren realen Arbeitssituationen. Dies ermöglicht das Erkennen der Stärken und der Schwierigkeiten, die von den Unternehmern und vom Personal bei der Projektierung und beim Betrieb von Kernanlagen, die der für das EKKM vorgesehenen Konzeption ähnlich sind, angetroffen wurden, sowie eine Auflistung der für die Projektierung der neuen Anlage und der Schnittstellen anwendbaren Prinzipien und Anforderungen.
- Eine Analyse der Aufgabenteilung zwischen dem Personal und den automatisierten Systemen sowie der Automatisierungskriterien. Dies ermöglicht das Spezifizieren der Rollen und Verantwortlichkeiten des Personals beim Betrieb des EKKM sowie den Automatisierungsgrad der Anlage. Entsprechend der festgelegten Automatisierungskriterien ermöglicht die Analyse ferner das Spezifizieren der Mittel, über die das Personal verfügen muss, um das Funktionieren der automatisierten Systeme zu überprüfen, sowie der Bedingungen und Möglichkeiten für Handeingriffe bei technischen Störungen.
- Eine provisorische Analyse der Organisation und des Managementsystems für den Betrieb des EKKM. Dies ermöglicht das Festlegen der Grobstruktur der Betriebsorganisation, der Aufgaben des Personals, der Verantwortlichkeiten und Qualifikationen, der Schulung und Bewertung der Kompetenzen sowie des Qualitätsmanagements (siehe Kap. 5.2 und 5.3).

Abbildung 5.9-2: Schematischer Überblick der Vorprojektstudien



Alle diese mit der Projektierung des EKKM im Zusammenhang stehenden Studien haben eine ähnliche Struktur:

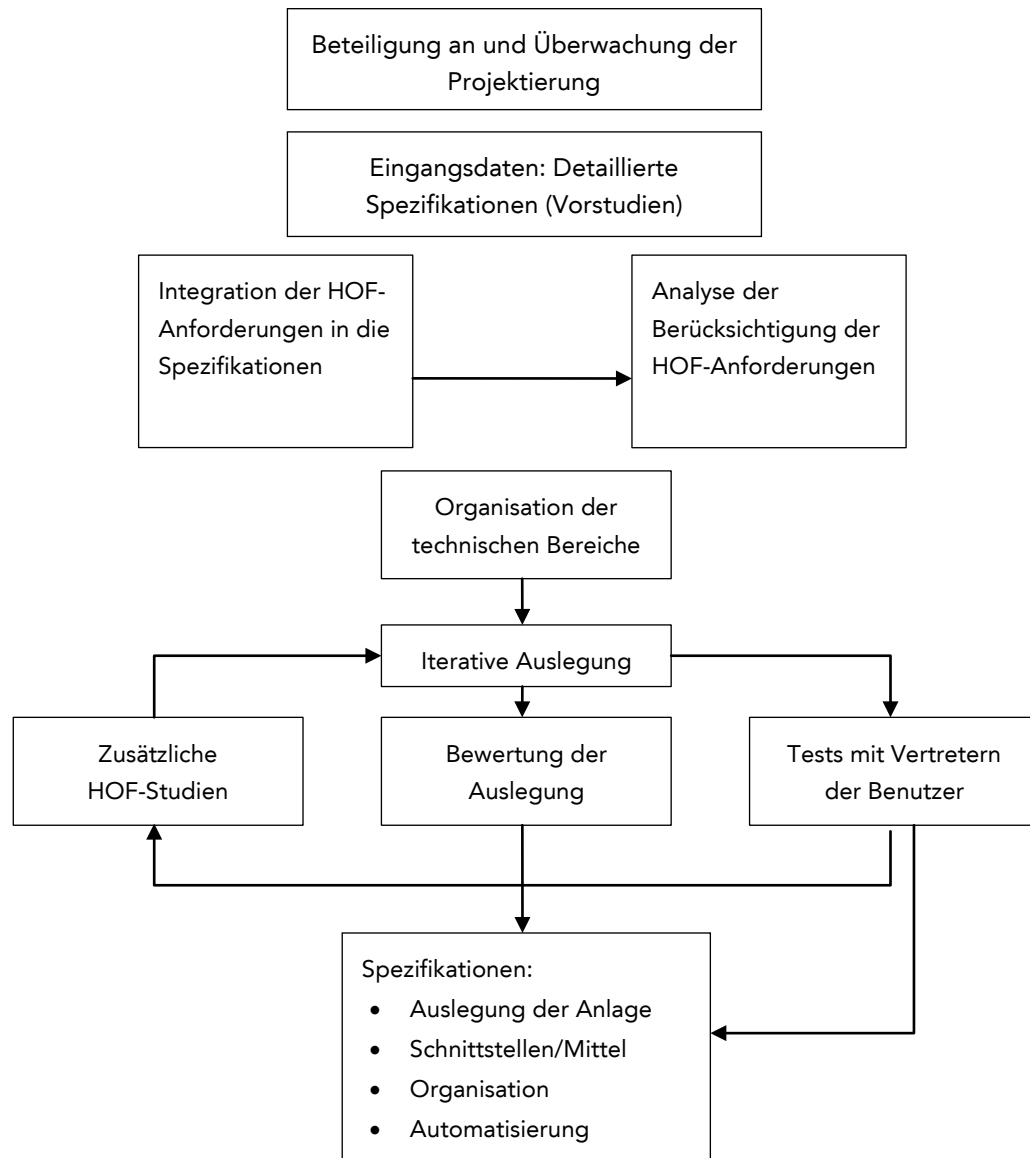
- Festlegung von Bezugsanlagen und -Arbeitssituationen entsprechend der für das EKKM gewählten Anlagekonzeption und den für den Betrieb vorgesehenen Mitteln.
- Untersuchungen (Literatur und "on site") des Erfahrungsrückflusses dieser Bezugsanlagen und deren Arbeitssituationen.
- Bestimmung der Bedürfnisse der Benutzer (Anlagebetrieb, Instandhaltung, Versuche, Tätigkeiten vor Ort) und der organisatorischen Gesichtspunkte (Koordination der Facharbeiten, Teamarbeit, Kommunikation) aufgrund der bei den o.g. Untersuchungen und beim Erfahrungsaustausch im multidisziplinären Team gesammelten Daten.
- Festlegung der Spezifikationen für die Auslegung der Anlage, der Schnittstellen und der Betriebsmittel, des Automatisierungsgrades, der Gestaltung usw. Diese Spezifikationen berücksichtigen das Datenmaterial aus den dokumentarischen Untersuchungen sowie die Informationen aus Erfahrungsrückfluss für Anlagen, deren Anlagekonzeption mit jener des EKKM vergleichbar ist.

Parallel zum Projektierungsvorgang können diese Analysen wenn nötig noch vertieft werden, um bestimmte Anforderungen zu präzisieren.

5.9.2.3 Beteiligung an und Überwachung der Projektierung

Das während der Projektierung durchgeführte HOF-Vorhaben bietet die Möglichkeit, sich kontinuierlich, iterativ und multidisziplinär zu vergewissern, dass die bei den Vorstudien festgelegten Spezifikationen berücksichtigt werden und dass die Anlagekonzeption sowie die entwickelten Schnittstellen und Betriebsmittel den Anforderungen der Benutzer entsprechen (siehe Abbildung 5.9-3).

Abbildung 5.9-3: Schema des iterativen HOF-Verfahrens zur Überwachung der Projektierung



Das HOF-Vorhaben ermöglicht:

- Die Integration der HOF-Anforderungen in die Spezifikationen des EKKM. Es gibt zwei Arten von Anforderungen:
 - Funktionale und ergonomische Spezifikationen, die auf die Auslegung der Räume, die Einrichtung des Kommandoraums, die Darstellung der Informationen, die Gestaltung der Bedienung, die Verfahren, die Alarmer usw. anwendbar sind.
 - Verfahren für die Berücksichtigung der HOF während der Projektierung: Materielle und menschliche Mittel zur Sicherstellung der Berücksichtigung der Resultate der Vorprojektstudien; Rollenverteilung unter denen, die an der Projektierung des EKKM

beteiligt sind; von den Fachbereichen anzuwendende Mittel zum Prototyping und Testen; Bewertungsmethodik für die Abweichungen zwischen erwartetem und beobachtetem Verhalten; bei der Projektierung anzuwendende Qualitätssicherungsgrundsätze; Rückverfolgbarkeit der Abweichungen und deren Lösung.

- Die Gewissheit der Berücksichtigung der HOF-Anforderungen durch die an der Projektierung des EKKM beteiligten technischen Bereiche
- die Vorbereitung und Durchführung eines Überwachungsprogramms für die Umsetzung der HOF durch die an der Projektierung des EKKM beteiligten technischen Bereiche. Der Projektierungsprozess enthält ein iteratives Verfahren, das Folgendes umfasst:
 - Überprüfung der Berücksichtigung der auf die Projektierung der Anlage und der Schnittstellen anwendbaren HOF-Anforderungen.
 - Tests der in Entwicklung stehenden Produkte anhand von z.B. Prüfständen, Modellen, und Prototypen, die von entsprechenden Fachbereichen entwickelt wurden, um durch Simulation der Arbeitssituationen die möglichen Abweichungen zwischen dem erwarteten und tatsächlich erhaltenen Produktverhalten festzustellen und zu beurteilen. Diese Tests dienen zur Gewährleistung, dass die Produkte resp. das Produktverhalten den Bedürfnissen der Benutzer entsprechen und, falls dies nicht der Fall wäre, frühzeitig entsprechende Massnahmen in die Wege leiten zu können (solche Tests bilden keinen Ersatz für die Verifizierungs- und Validierungstests¹, die später durchzuführen sind – siehe Kap. 5.9.2.4).
- Wenn nötig, zusätzliche HOF-Studien durchzuführen, um die Bedürfnisse und die Grundvoraussetzungen für die Projektierung der Anlage, des Kommandoraums und der Mittel für den Betrieb der Anlage zu präzisieren.

In Übereinstimmung mit den für das EKKM anwendbaren Prinzipien der Qualitätssicherung werden das HOF-Vorhaben, die erzielten Resultate und die Lösung der Abweichungen während des gesamten Projektierungsprozesses verfolgt.

Gleichzeitig mit der Projektierung und Gestaltung der Anlage wird das HOF-Vorhaben beitragen zur Entwicklung der Organisation, insbesondere zur Definition von Aufgaben und Verantwortlichkeiten der Organisationseinheiten und zur Rekrutierung und fristgerechten Ausbildung des Personals.

¹ Validierung ist die Prüfung, ob ein Produkt bzw. ein Ergebnis den Bedürfnissen bzw. den Anforderungen des Endverbrauchers (Kunde) entspricht. Verifikation ist die Prüfung (z.B. durch Einsichtnahme oder Test), um festzustellen, ob ein Produkt bzw. ein Ergebnis der Spezifikation bzw. der erforderlichen Norm entspricht.

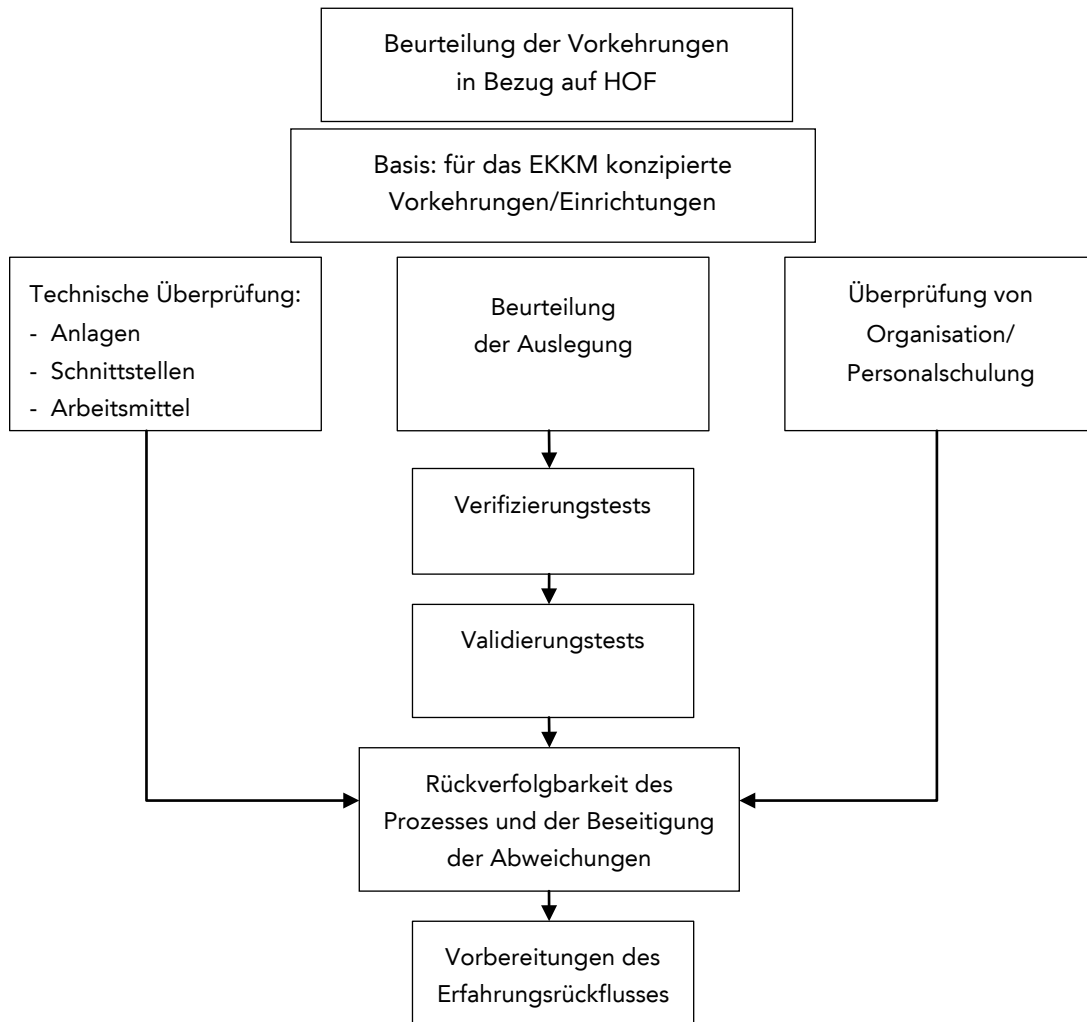
5.9.2.4 Evaluierung der Vorkehrungen und Einrichtungen in Bezug auf HOF

Am Ende des Projektierungsprozesses enthält das HOF-Vorhaben eine umfassende Evaluierungsphase (siehe Abbildung 5.9-4 für einen schematischen Überblick) auf den folgenden Grundlagen:

- Multidisziplinäre technische Bewertung der Dokumente, die von den an der Projektierung des EKKM beteiligten Fachbereichen erstellt werden, um sich zu vergewissern, dass die für die Projektierung der Anlageteile und -mittel spezifizierten HOF-Anforderungen eingehalten worden sind.
- Bewertung der Auslegung:
 - Verifizierungstests, um festzustellen, ob die Auslegung den spezifizierten Anforderungen entspricht und auch generell die technischen und behördlichen Anforderungen erfüllt.
 - Validierungstests der Schnittstellen und insbesondere der Einrichtungen im Kommandoraum unter möglichst betriebsnahen Bedingungen. Diese Untersuchung soll sicherstellen, dass die Auslegung die Aktivitäten des Personals wirksam unterstützt und diesem ermöglicht, seine Ziele unter Einhaltung der Betriebsanforderungen zu erreichen. Für diese Untersuchungen werden allenfalls virtuelle Steuerstellen resp. ein virtueller Kommandoraum "gebaut" werden.
- Überprüfung der Grundlagen zur Bildung der Bau- und Betriebsorganisation und zur Schulung des Personals.
- Vorbereitung der Inbetriebnahmeversuche der Anlage: Planung der HOF-Schwerpunkte bzw. Nachweispunkte sowie die Methodik der Überwachung bei der Inbetriebnahme aufgrund des Erfahrungsrückflusses aus den Validierungstests. Dies hat das Ziel, sich später unter realen Betriebsbedingungen vergewissern zu können, dass die dem Personal zur Verfügung stehenden Schnittstellen und Mittel den Erwartungen entsprechen sowie brauchbar und wirksam sind.

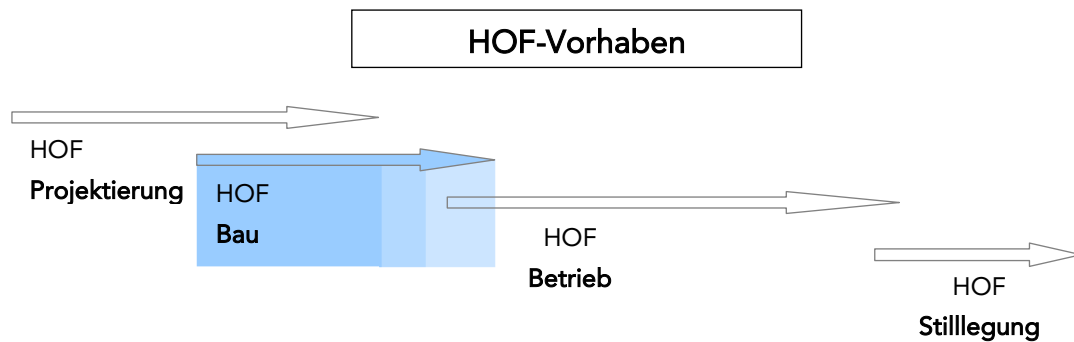
Die hier erwähnte Evaluierung zur Verifizierung und Validierung der Auslegung kann durchaus parallel zum Bau erfolgen (es ist generell anzunehmen, dass die Projektierungs- und Bauphasen sich teilweise überlappen); dies bietet die Möglichkeit, bei Abweichungen entsprechende Massnahmen zu ergreifen, um die Auslegung zu korrigieren resp. die Betriebsbedingungen oder die Organisation / Personalschulung den festgestellten Abweichungen anzupassen.

Abbildung 5.9-4: Schematische Darstellung der HOF-Evaluierung der Auslegung



Dieser Evaluierungsprozess wird (wie auch die Lösung von allenfalls festgestellten Abweichungen) in Übereinstimmung sein mit den Anforderungen des für die Projektierung etablierten Qualitätsmanagementsystems.

5.10 Das HOF-Vorhaben beim Bau der Anlage



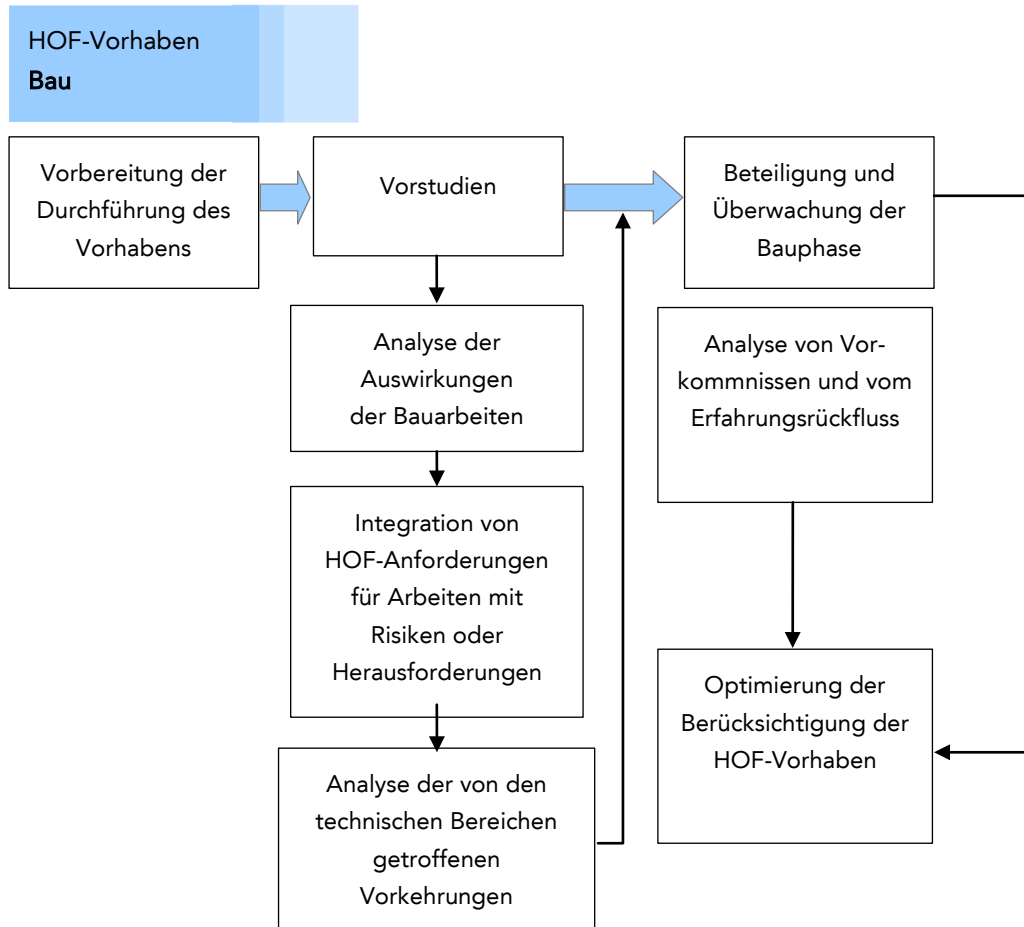
5.10.1 Ziele

Das parallel zur Projektierung der Anlage, der Komponenten und der Schnittstellen in die Wege geleitete HOF-Vorhaben bezüglich der Realisierung (Bau, Montage etc.) des EKKM, ermöglicht es, alle Vorkehrungen zu treffen, um

- sich zu vergewissern, dass die auf der Baustelle beschäftigten Arbeitsteams ihre Tätigkeiten unter Einhaltung insbesondere der Sicherheits- und Umweltauflagen ausüben;
- die technischen, organisatorischen und menschlichen Risiken, welche die Bauausführung beeinträchtigen könnten, vorausszusehen und zu vermeiden;
- Arbeitsmittel und Organisationsabläufe zu entwickeln zur Reduktion der Fehlerrisiken und zur Förderung der Entwicklung, Aufrechterhaltung und Verbesserung der Sicherheitskultur sowie der individuellen und kollektiven Verantwortung während der gesamten Bauzeit.

Das HOF-Vorhaben umfasst verschiedene Etappen, welche die Möglichkeit bieten, Studien im Vorfeld des Baus einzuleiten, ein Überwachungsprogramm zur Beurteilung der Durchführung und der Wirksamkeit der insbesondere während der Ausführung von Arbeiten mit Folgen oder Risiken (technisches oder menschliches Versagen, Auswirkungen auf die Sicherheit, den Strahlenschutz, die Umwelt usw.) getroffenen Vorkehrungen einzusetzen sowie Massnahmen zur Analyse von Vorkommnissen und vom Erfahrungsrückfluss vorzubereiten resp. durchzuführen (siehe Abbildung 5.10-1).

Abbildung 5.10-1: Etappen des HOF-Vorhabens beim Bau



5.10.2 Etappen

5.10.2.1 Vorbereitung zur Implementierung des HOF-Vorhabens

Ziel ist, das festgelegte HOF-Vorhaben zu operationalisieren. Unter Berücksichtigung der Besonderheiten des Projektes und des Fortschritts der Studien und Bauarbeiten legt die zukünftige Bewilligungsinhaberin seine Organisation, seinen Durchführungszeitplan, die zugewiesenen Ressourcen und die Dokumente, welche die Rückverfolgbarkeit der Resultate sicherstellen, fest.

5.10.2.2 Studien vor dem Bau

Die Vorstudien bieten die Möglichkeit, das HOF-Vorhaben entsprechend den Herausforderungen und Risiken der Bauarbeiten abzustufen und sich zu vergewissern, dass die vorgesehenen Massnahmen zur Vermeidung von Risiken getroffen wurden und wirksam sind.

Die Studien basieren auf folgenden Elementen:

- Einer Analyse der HOF-Relevanz der Arbeiten. Diese Tätigkeit ermöglicht es der zukünftigen Bewilligungsinhaberin, die Arbeiten auch nach ihrer HOF-Relevanz zu klassifizieren, d.h. entsprechend
 - ihren Folgen für die Sicherheit des Personals, der Umwelt, des Fortgangs der Bauarbeiten
 - den damit verbundenen
 - Risiken, denen das Personal bei der Ausführung der Arbeiten unterworfen ist
 - Risiken für menschliche Fehler während derer Ausführung
 - Risiken für Personal, das in der Nähe dieser Arbeiten tätig ist.

Sobald diese Analyse durchgeführt ist, wird ein Vorgang zur Berücksichtigung der HOF vorbereitet, um die auf die Arbeiten anwendbaren Anforderungen entsprechend ihrer Relevanz anzupassen.

- Der Festlegung der HOF-Anforderungen in Bezug auf die Vorbereitung, die Durchführung und die Verfolgung der operativen Einsätze durch die zukünftige Bewilligungsinhaberin. Es gibt zwei Arten von Anforderungen:
 - Allgemeine Anforderungen, die für alle Arbeiten gelten, um die Einhaltung der Regeln für den Betrieb und das Qualitätsmanagement sicherzustellen;
 - Spezielle Anforderungen, die für die vom HOF-Gesichtspunkt relevantesten Arbeiten gelten. Die zukünftige Bewilligungsinhaberin legt die Massnahmen fest, die für die Vorbereitung und Durchführung dieser Arbeiten notwendig sind (spezielle Einsatzbedingungen, erforderliche Dokumentation, Risikoanalysen vor der Durchführung, für die Durchführung notwendige Vorkehrungen usw.).
- Einer Überwachung der Berücksichtigung der HOF durch die technischen Fachbereiche, die am Bau des EKKM beteiligt sind. Dies ermöglicht es festzustellen, wie die Fachbereiche die formulierten HOF-Anforderungen berücksichtigen und um die Eignung der Methoden zu überprüfen, die sie zur Durchführung der Projektierungs- und Bauarbeiten anwenden. Das Überwachungsprogramm konzentriert sich insbesondere auf die Kontrolle der folgenden Aspekte:
 - Vorbereitung der Arbeiten durch die Lieferanten
 - Bestimmung einer in Hinblick auf die HOF-Relevanz der Arbeiten geeigneten Vorgehensweise
 - Qualifikation des Personals
 - Definition von Haltepunkten, um es der zukünftigen Bewilligungsinhaberin zu ermöglichen, die Konformität der erhaltenen Resultate zu kontrollieren
 - Berücksichtigung des Erfahrungsrückflusses
 - Vorkehrungen zur Risikovorbeugung

5.10.2.3 Bauüberwachung

Das HOF-Vorhaben bietet innerhalb des Bauprozesses die Möglichkeit, sich durch regelmässige Kontrollen zu vergewissern, dass die entsprechend der HOF-Relevanz der Arbeiten vorgesehenen Vorkehrungen getroffen werden und wirksam sind, um den Risiken vorzubeugen.

Diese Kontrollen können unterstützt werden durch:

- interne Beurteilungen unter der Verantwortung der zukünftigen Bewilligungsinhaberin, ausgehend von der Analyse der von den technischen Fachbereichen gelieferten Dokumente und von vor Ort durchgeführten Prüfungen
- periodische Bewertungen durch unabhängige Experten

Die hinsichtlich HOF-Aspekten relevantesten Arbeiten werden laufend verfolgt (z.B. mittels Inspektionen), damit bei einer ungünstigen Entwicklung Massnahmen rechtzeitig ergriffen werden können.

5.10.2.4 Analyse der beim Bau aufgetretenen Vorkommnisse und Erfahrungsrückfluss

Von der Bauphase an hat das HOF-Vorhaben das Ziel, folgendes zu ermöglichen:

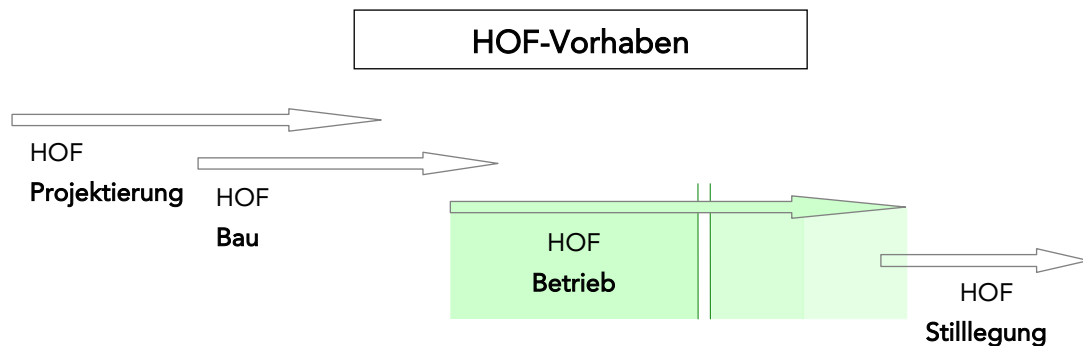
- Ermittlung und Analyse der während des Baus auftretenden Vorkommnisse. Die Analyse der Vorkommnisse zielt darauf ab, ihre "tieferen" Ursachen (Faktoren, die nicht nur von Personen abhängig sind, sondern auch von der Organisation, vom Management, von der Festlegung der Aufgaben und Verantwortlichkeiten, von der Verwaltung der Kompetenzen, der Planungs- und Zusammenarbeitsprozesse, von der Entscheidungsfindung, vom Erfahrungsrückfluss usw.) zu erkennen und Mittel einzusetzen, um erkannte Risiken zu beseitigen.
- Gestaltung, Durchführung und Nutzung des Erfahrungsrückflusses. Die Analyse der Abweichungen bietet die Möglichkeit, diesen Erfahrungsrückfluss, der ebenfalls durch Prüfungen der Bedingungen der Bauausführung durch die zukünftigen Bewilligungsinhaberin ergänzt werden kann, zu nutzen und umzusetzen.

Die zukünftige Bewilligungsinhaberin führt einen unabhängigen Erfahrungsrückfluss durch und vergewissert sich zudem, dass die technischen Fachbereiche, die am Bau des EKKM beteiligt sind¹, ebenfalls Verfahren zu eigenen Vorkommnisanalysen und zum Erfahrungsrückfluss einrichten. Ein Austausch zwischen der zukünftigen Bewilligungsinhaberin und Vertretern dieser Fachbereiche ermöglicht es, die gesammelten Daten zusammenzulegen und wenn nötig die Vorkehrungen abzuändern, die auf der Baustelle für die Vorbereitung und Durchführung der Bauarbeiten vorgesehen sind. Dieser Austausch wird in einem abgestuften Verfahren, im Einklang mit der HOF-Relevanz, durchgeführt.

¹ Reaktorhersteller, Lieferanten und Unterlieferanten

5.11 Das HOF-Vorhaben in der Betriebsphase der Anlage

5.11.1 Ziele



Das HOF-Vorhaben trägt zur Verstärkung der Sicherheitskultur und "Defense-in-Depth" bei, indem es den Beitrag des gesamten Personals resp. der gesamten Betriebsorganisation zum globalen Verhalten des Systems (Sicherheit des Personals und der Lieferanten, Zuverlässigkeit der Anlagen, Umwelt, Beherrschung der Kosten) optimiert. Es ermöglicht:

- Beurteilung der mit den Tätigkeiten des Personals verbundenen Risiken. Die Ziele bestehen darin, Folgendes zu erkennen resp. zu verhindern:
 - Risiken, denen das Personal bei der Ausübung seiner Tätigkeiten ausgesetzt ist
 - menschliche Fehler, die bei der Vorbereitung, Durchführung und Weiterverfolgung der Tätigkeiten möglich sind
 - die "schwachen Signale", d.h. erdenkliche Vorboten von Vorkommnissen (Beobachtungen an Systemen / Komponenten oder auch an Personen), die möglicherweise zu einem Risiko führen könnten
- Beschaffen von Arbeits(hilfs)mitteln und Schaffen von Arbeitsbedingungen, welche die Risiken vermindern und die positive Rolle des Personals verstärken
- Berücksichtigung des Erfahrungsrückflusses des EKKM (und vergleichbarer Kernanlagen), um technische und menschliche Fehler, die das erwartete Leistungsniveau beeinträchtigen, festzustellen resp. zu korrigieren und um die Arbeits(hilfs)mittel zu optimieren.

Dieses Vorhaben bietet die Möglichkeit, auf jene Faktoren einzuwirken, welche die individuellen und kollektiven Leistungen beeinträchtigen können, wie zum Beispiel die Einbindung der Direktion und des Managements in den HOF-Bereich sowie in die Sicherheitskultur im Allgemeinen, die Formulierung der Anforderungen in Sachen Sicherheit, die Erkennung der Risiken, das individuelle und kollektive Engagement, die Klarstellung der Aufgaben der Organisationseinheiten, die Formulierung der Anforderungen und gegenseitigen Verantwortlichkeiten der einzelnen Abteilungen, die mit der Anlage zu tun haben; die Rekrutierung und die Schulung des Personals, die Optimierung der Arbeitsplätze und der Schnittstellen, die Verbesserung der Arbeitsmethoden und der Abwicklung, die Kontrolle der empfindlichen oder mit Folgen behafteten Vorgänge, die Überwachung der Lieferanten und die Verhältnisse zum HOF-Erfahrungsrückfluss.

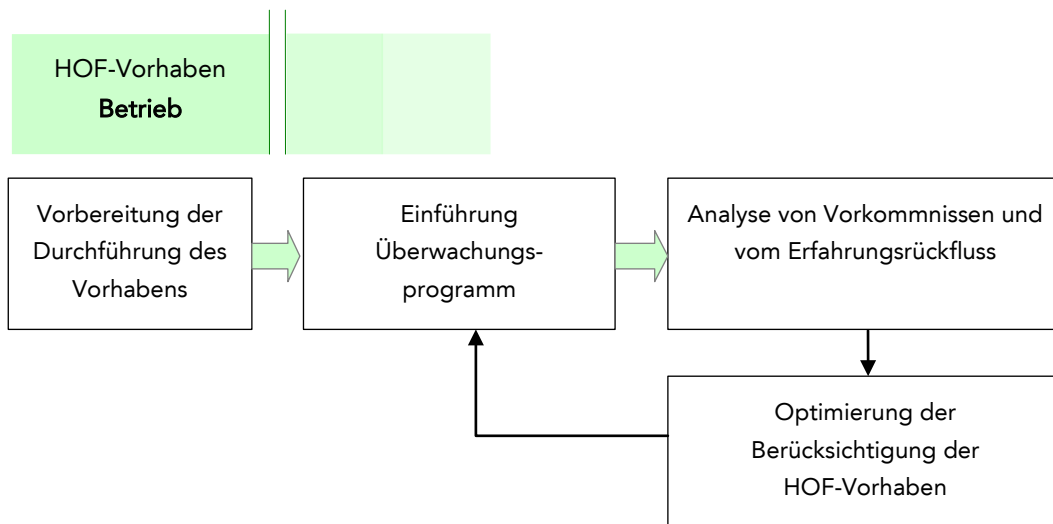
Das EKKM verfolgt das Ziel, während der gesamten Lebensdauer des Werks diese Gesichtspunkte zu berücksichtigen, sich ständig für Verbesserungen zu engagieren und sich zu bemühen, die vom Personal ausgeübten Tätigkeiten und die damit verbundenen Risiken regelmässig vor Ort zu analysieren und mit diesen Analysen zum HOF-Betriebserfahrungsrückfluss beizutragen.

5.11.2 Etappen

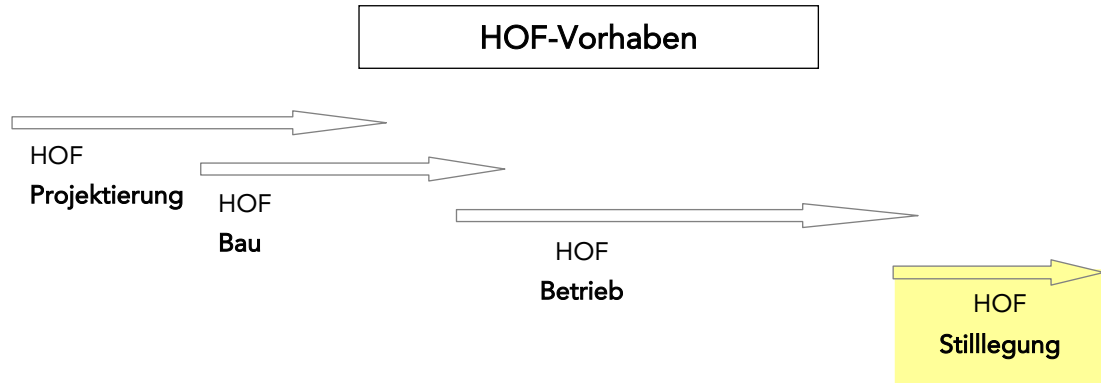
Die Betriebsorganisation unterstützt die Durchführung der einzelnen Etappen des HOF-Vorhabens (siehe Abbildung 5.11-1):

- Vorbereitung der Einführung des HOF-Vorhabens zur Förderung der Entwicklung, Aufrechterhaltung und Verbesserung der Sicherheitskultur und der individuellen und kollektiven Verantwortung während der Betriebsphase des Werks
- Vorbereitung und Einführung eines Kontroll- und Überwachungsprogramms zur Beurteilung der Durchführung und der Wirksamkeit der insbesondere während der Ausführung von Arbeiten mit Folgen oder Risiken (technisches oder menschliches Versagen, Auswirkungen auf die Sicherheit, den Strahlenschutz, die Umwelt usw.) getroffenen Vorkehrungen
- Analyse von Vorkommnissen und des HOF-Erfahrungsrückflusses

Abbildung 5.11-1: Etappen des HOF-Vorhabens beim Anlagebetrieb



5.12 Das HOF-Vorhaben in der Stilllegungsphase der Anlage



Das so früh wie möglich vor der Stilllegung der Anlage, der Komponenten und der Schnittstellen in die Wege geleitete HOF-Vorhaben bietet die Möglichkeit, alle Vorkehrungen zu treffen, um

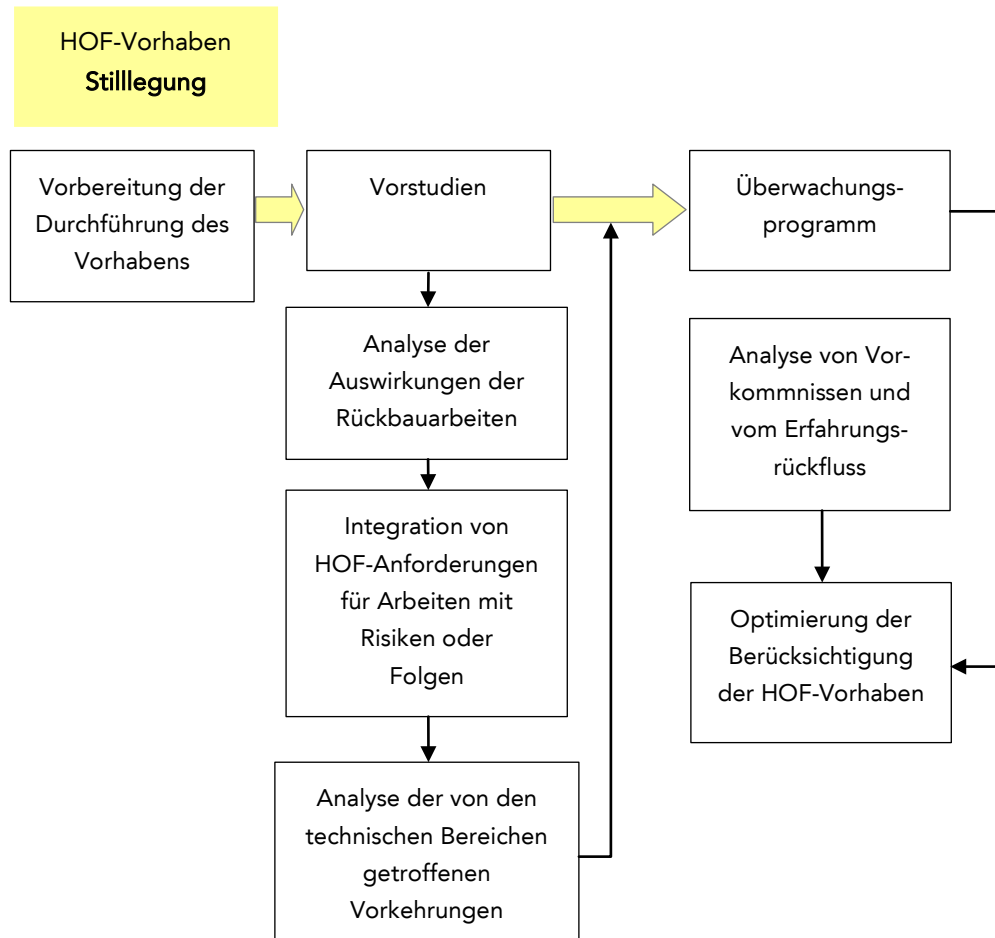
- die Sicherheitskultur zu verankern,
- sich zu vergewissern, dass die auf der Rückbaustelle beteiligten Arbeitsteams ihre Tätigkeiten unter Einhaltung der Anforderungen in Bezug auf Sicherheit, Strahlenschutz und Umwelt ausüben,
- die technischen, organisatorischen und menschlichen Risiken, die das erwartete Leistungsniveau beeinträchtigen könnten, vorausszusehen und zu vermeiden, und
- Arbeits(hilfs)mittel zu entwickeln, welche die Fehlerrisiken reduzieren.

Die Etappen des HOF-Vorhabens (siehe Abbildung 5.12-1) sind prinzipiell gleich wie diejenigen in der Bauphase. Ziel ist die Vorbereitung und Durchführung

- von Vorstudien für die Stilllegungsarbeiten und die Errichtung der für die Stilllegung notwendigen Anlagen, insbesondere, um während dieser Phase die Aufrechterhaltung und Verbesserung einer starken Sicherheitskultur sicherzustellen;
- eines Überwachungsprogramms zur Beurteilung der Durchführung und der Wirksamkeit der insbesondere während der Ausführung von Arbeiten mit Folgen oder Risiken (technisches oder menschliches Versagen, Auswirkungen auf die Sicherheit, den Strahlenschutz, die Umwelt) getroffenen Vorkehrungen;
- der Analyse von Vorkommnissen und des Erfahrungsrückflusses.

Die zukünftige Betriebsbewilligungsinhaberin ist für die Abwicklung dieser Studien / Analysen verantwortlich.

Abbildung 5.12-1: Etappen und Studien des HOF-Vorhabens bei der Stilllegung



Referenzen

- [1] Kernenergiegesetz KEG vom 21.03.2003, SR 732.1
- [2] Kernenergieverordnung KEV vom 10.12.2004, SR 732.11
- [3] Strahlenschutzgesetz StSG vom 22.03.1991, SR 814.50
- [4] Strahlenschutzverordnung StSV vom 22.06.1994, SR 814.501
- [5] International Commission on Radiological Protection ICRP, <http://www.icrp.org>, (07.11.2008)
- [6] Bau-, Verkehrs- und Energiedirektion des Kantons Bern, Tiefbauamt, Wasserwirtschaftsamt: *Extremhochwasser im Einzugsgebiet der Aare – EHW Aare – Kurzfassung zum Schlussbericht* (Bericht), 19.12.2007
- [7] Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. DVWK: *Statistische Analyse von Hochwasserabflüssen*, Merkblatt zur Wasserwirtschaft 251/1999, Bonn, 1999, ISBN 3-935067-97-6
- [8] Schälchli, Abegg & Hunzinger: *Hochwasser an Aare und Saane bei der Saanemündung, Überflutungsgefährdung des Kernkraftwerks Mühleberg*, 19.04.2006
- [9] Kerntechnischer Ausschuss KTA: *Schutz von Kernkraftwerken vor Hochwasser*, Sicherheitstechnische Regel des KTA, KTA 2207, Fassung 11/04, BAnz. Nr. 35a
- [10] Richtlinien des BWG: *Sicherheit der Stauanlagen*, Version 1.1, November 2002
- [11] Flussbau AG: *Hochwasserspiegel "Aare Niederried-Mühleberg"*, 29.02.2008
- [12] United States Nuclear Regulatory Commission U.S. NRC NUREG-1742, George, E.: *Perspectives gained from the Individual Plant Examination for External Events (IPEEE) program*, April 2001
- [13] André, S., Bollaert, E.: *Effet des ouvrages d'accumulation*, In: Bezzola G.R., Hegg C.: *Ereignisanalyse Hochwasser 2005*, Teil 1, Bundesamt für Umwelt (BAFU), Eidgenössische Forschungsanstalt (WSL), 2007, S. 99-106
- [14] Bundesamt für Wasser und Geologie BWG: *Hydrologische Jahrbücher der Schweiz, Abteilung Landeshydrologie*
- [15] OcCC / ProClim: *Klimaänderung und die Schweiz 2050, Erwartete Auswirkungen auf Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft*, Bern, 2007
- [16] Helmut, S.: *Langzeitverhalten der Hochwasserabflüssen in Baden-Württemberg und Bayern. Klimaveränderung und Wasserwirtschaft KLIWA*, KLIWA-Projekt A 2.1.3. Analyse zum Langzeitverhalten der Hochwasserabflüsse, KLIWA-Bericht Heft 2, 2002
- [17] OcCC/ProClim: *Extremereignisse und Klimaänderung*, Bern, 2003
- [18] Eidg. Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK: *Sachplan Übertragungsleitungen SÜL*, 12.04.2001
- [19] Isler, A.: *Erläuterungen Geologischer Atlas der Schweiz*, 1:25'000 Blatt, 1166 Bern, Bundesamt für Wasser und Geologie, 2005
- [20] Keller, B.: *Hydrogeologie des schweizerischen Molasse-Beckens: Aktueller Wissensstand und weiterführende Betrachtungen*, Eclogae geol. Helv. 85/3: 611-651, 1992
- [21] Bericht Bohrlochmessungen KKM-E Mühleberg, Pr.-Nr. 245/2008, 25.06.2008, terratec D-Heitersheim

- [22] 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
- [23] Kastrup, U.: *Seismotectonics und stress field variations in Switzerland*, Dissertation ETH, no. 14527, 2002
- [24] Dollinger, J.: *Geologie und Hydrogeologie der Unteren Süsswassermolasse im SBB-Grauholztunnel bei Bern*, LHG Geologischer Bericht, Nr. 21, 1997
- [25] Geotechnisches Institut AG: *Bericht über die Baugrund und Fundationsverhältnisse*, Bericht Atomkraftwerk Mühleberg, Gt-Nr. 626, Bern, 23.12.1965
- [26] Geotechnisches Institut AG: *Baugrunduntersuchung*, Bericht Atomkraftwerk Mühleberg-Projekt SUSAN, Gt-Nr. 2057, Bern, 11.06.1981
- [27] 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*
- [28] Paul, F.: *A developing inventory of tornadoes in France*, Atmospheric Research, Vol. 56, 2001
- [29] United States Nuclear Regulatory Commission U.S. NRC NUREG-1407, *Procedural and Submittal Guidance for the Individual Plant Examination of External Events (IPEEE) for Severe Accident Vulnerabilities*
- [30] Bundesgesetz über den Schutz militärischer Anlagen, SR 510.518
- [31] Nasa Ames Space Science Division: *Spaceguard Survey Report*, 1992, <http://impact.arc.nasa.gov>, <http://128.102.38.40/impact/downloads/spacesurvey>
- [32] Gewässerschutzverordnung des Bundes GSchV, SR 814.201
- [33] Resun AG: *Bericht zur Umweltverträglichkeit*, Rahmenbewilligungsgesuch EKKM, TB-042-RS080013, Dezember 2008
- [34] HSK-Richtlinie R-101, *Auslegungskriterien für Sicherheitssysteme von Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktoren*, Januar 1993
- [35] Verordnung des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK über die Genehmigung internationaler Beschlüsse und Empfehlungen, SR 814.201.81
- [36] Übereinkommen zum Schutz der Meeresumwelt des Nordost-Atlantiks, SR 0.814.293, 22.09.1992
- [37] PARCOM: *Recommendation on Radioactive Discharges*, 20.06.1991
- [38] Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC: *Synthesis Report*, 2007, http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf
- [39] HSK-Richtlinie R-102: *Auslegungskriterien für den Schutz von sicherheitsrelevanten Ausrüstungen in Kernkraftwerken gegen die Folgen von Flugzeugabsturz*, Januar 1993
- [40] HSK-Richtlinie R-103: *Anlageinterne Massnahmen gegen die Folge schwerer Unfälle*, Januar 1993
- [41] Resun AG: *Bericht über die Abstimmung mit der Raumplanung*, Rahmenbewilligungsgesuch EKKM, TB-042-RS080014, Dezember 2008
- [42] Resun AG: *Sicherungsbericht*, Rahmenbewilligungsgesuch EKKM, TB-042-RS080012, Dezember 2008

- [43] HSK-Richtlinie R-04: *Aufsichtsverfahren beim Bau von Kernkraftwerken, Projektierung von Bauwerken*, Januar 1993
- [44] HSK-Richtlinie R-06: *Sicherheitstechnische Klassierung, Klassengrenzen und Bauvorschriften für Ausrüstungen in Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktoren*, Januar 1993
- [45] HSK-Richtlinie R-100: *Nachweis ausreichender Vorsorge gegen Störfälle in Kernkraftwerken*, Dezember 2004
- [46] Verordnung über den Notfallschutz in der Umgebung von Kernanlagen, SR 732.33
- [47] Konzept für den Notfallschutz in der Umgebung der Kernanlagen, Kom ABC 2006-03-D, Januar 2006
- [48] Verordnung über die Warnung, Alarmierung und Verbreitung von Verhaltensanweisungen an die Bevölkerung, SR 520.12
- [49] Graber, W.K., Tinguely, M.: *Projekt Windbank oberes Aaretal*, PSI Bericht Nr. 99-09
- [50] OcCC: *Extremereignisse und Klimaänderung* (Bericht), 2003, http://www.occc.ch/reports/Extremereignisse03/Extrem03_Bericht.html
- [51] GeoExpert AG: *Kernkraftwerk Mühleberg Seismische Untersuchung* (Bericht), Auftrags-Nr. 5.3600002/950, Schwerzenbach, 20.03.2008
- [52] Augeos GmbH Zürich: *Bestimmung der elastischen Felsparameter in der Umgebung des Kernkraftwerks Mühleberg* (Bericht), Juli 2008
- [53] Muralt, R., Vuataz, F.D., Schönborn, G., Sommaruga, A., and Jenny, J.: *Intégration des méthodes hydrochimiques, géologiques et géophysiques pour la prospection d'une nouvelle ressource en eau thermique. Cas d'Yverdon les Bains, pied du Jura, Eclogae geologicae Helvetiae*, 1997, V. 90, S. 179-197
- [54] Mosar, J.: *Present-day and future tectonic underplating in the Western Swiss Alps: reconciliation of basement/wrench-faulting and decollement folding of the Jura and Molasse Basin in the Alpine foreland*, Earth and planetary Science Letters, 1999, V. 173, S. 143-145
- [55] Jordi, H.A.: *Tektonisch-strukturelle Übersicht Westschweizerisches Molassebecken*, Bull. Ver. Schweiz. Petroleum-Geol. U.-Ing., April 1990, Vol. 56, Nr. 56, Nr. 130, S.1-11
- [56] Burkhard, M., Sommaruga, A.: *Evolution of the Swiss Molasse basin: structural relations with the Alps and the Jura belt*, Geological Society of London, Special Publication, 1998, V. 134, S. 279-298
- [57] Bonnet, C.: *Interactions between tectonics and surface processes in the Alpine foreland: Insights from analogue model and analysis of recent faulting* (Ph.D. thesis), Université de Fribourg, 2007
- [58] Verordnung über den Schutz vor nichtionisierende Strahlung NISV, SR 814.710
- [59] HSK-AN-6647: *Zonenpläne für die Notfallplanung* (Bericht), September 2008, www.hsk.ch
- [60] Geotechnisches Institut AG: *EKKM Mühleberg, Baugrunduntersuchung* (Bericht), Gt-Nr. 31.3714.030, Bern, 31.10.2008
- [61] Bundesamt für Wasser und Geologie BWG (Hrsg.) (2000a): *Geologische Karte der Schweiz 1:500'000 (provisorische GIS-Beta-Version)*, Bern

- [62] Bundesamt für Wasser und Geologie BWG (Hrsg.) (2000b): *Tektonische Karte der Schweiz 1:500'000 (provisorische GIS-Beta-Version)*, Bern
- [63] Pfiffner, O.A., Erard, P.-F., Stäuble, M.: *Deep structures of the swiss alps, results of NRP 20, 8. two cross sections through the Swiss Molasse Basin* (lines E4-E6, W1, W7-W10), 1997
- [64] Mosar, J.: *Aléa sismique dans le Canton de Fribourg; étude réalisée sur mandat de l'Etat de Fribourg*, Unveröffentlichte Studie für den Kanton Fribourg, 2006
- [65] 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
- [66] IAEA, *Preliminary Safety Review Services, Seismic Safety Expert Mission: Preliminary findings and lessons learned from the 16 July 2007 earthquake at Kashiwazaki-Kariwa NPP* (Bericht), V.1, 17.08.2007,
http://www.iaea.org/NewsCenter/News/2007/kashiwazaki-kariwa_report.html
- [67] Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., Rubel, F.: *World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated*, *Meteorologische Zeitschrift*, 2006, V. 15/3, S. 259-263
- [68] Mosar, J., Ibele, T., Matzenauer, E.: *Tectonics of the Molasse Basin of Western-Switzerland: an Overview*, Nagra Arbeitsbericht NAB 08-07
- [69] Mohammadioun, B., Serva, L.: *Stress drop, slip type, earthquake magnitude and seismic hazard*, Bull. Seism. Soc. Amer., 2001, 91 (4), S. 694-707
- [70] Platt, N.H., Keller, B.: *Distal alluvial deposits in a foreland basin setting – the Lower Freshwater Molasse (Lower Miocene), Switzerland; sedimentology, architecture and palaeosols*, *Sedimentology*, 1992, 39, S. 545-565
- [71] Resun AG: *Nachweis für die Entsorgung der anfallenden radioaktiven Abfälle*, Rahmenbewilligungsgesuch EKKM, TB-042-RS080016, Dezember 2008
- [72] Bundesamt für Energie: *Sachplan geologische Tiefenlager*, Konzeptteil, 02.04.2008
- [73] HSK-AN-6252: *Neubestimmung der Erdbebengefährdung an den Kernkraftwerkstandorten in der Schweiz* (Bericht), Projekt PEGASOS, Juni 2007,
www.hsk.ch
- [74] HSK-Richtlinie R-35: *Aufsichtsverfahren bei Bau und Änderungen von Kernkraftwerken*, Systemtechnik, Mai 1996
- [75] HSK-Richtlinie R-46: *Anforderungen für die Anwendung von sicherheitsrelevanter rechnerbasierter Leittechnik in Kernkraftwerken*, April 2005
- [76] PEGASOS Project: *Probabilistic Seismic Hazard Analysis for Swiss Nuclear Power Plant Sites, Final Report*, Volume 1: Text. Nagra, Wettingen, 2004
- [77] United States Nuclear Regulatory Commission U.S. NRC NUREG/CR-6372: *Recommendations for Probabilistic Seismic Hazard Analysis: Guidance on Uncertainty and Use of Experts*, 1997
- [78] Niggeler, E., Keller, V.: *Winterbestände der Wasservögel am Aare-Stausee Niederried 1951/52-2005/06*, *Der Ornithologische Beobachter* Band 104, 2007, Heft 4, S. 279-300
- [79] Verordnung über die Anforderungen an das Personal von Kernanlagen VAPK, SR 732.143.1

- [80] The International Nuclear Safety Advisory Group INSAG: *Safety Culture* (report), IAEA Safety Series No. 75-INSAG-4,
[Http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub882_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub882_web.pdf)
- [81] HSK-Richtlinie G-07: *Organisation von Kernanlagen*, April 2008
- [82] Verordnung über die Einsatzorganisation bei erhöhter Radioaktivität VEOR, SR 520.17
- [83] Bundesgesetz über den Bevölkerungsschutz und den Zivilschutz, SR 520.1
- [84] Verordnung über die Versorgung der Bevölkerung mit Jodtabletten, SR 814.52
- [85] Basler & Hofmann AG: *Rahmenbericht Flüssiggas-Tankanlagen, zum Kurzbericht und zur Risikoermittlung im Hinblick auf die Störfallvorsorge*, 1992 und Korrigendum vom April 1993
- [86] CARBURA, SKS Ingenieure AG: *Rahmenbericht über die Sicherheit von Stehtankanlagen für flüssige Treib- und Brennstoffe*, 2004
- [87] 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
- [88] 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
- [89] Kerntechnischer Ausschuss KTA: *Instrumentierung zur Ermittlung der Ausbreitung radioaktiver Stoffe in der Atmosphäre*, Sicherheitstechnische Regel des KTA, KTA 1508
- [90] Begert, M., Schlegel, T., Kirchhofer, W.: *Homogeneous Temperature and Precipitation Series of Switzerland from 1864 to 2000*, International Journal of Climatology, 2005, V.25, S. 65-8
- [91] SIA Norm 261: *Einwirkung auf Tragwerke*, 2003
- [92] Dotzek, N.: *An updated estimate of tornado occurrence in Europe*, 2003
- [93] Entwurf der HSK-Richtlinie A-05: *Probabilistische Sicherheitsanalyse (PSA): Qualität und Umfang*, 2003
- [94] Verordnung über die Nationale Alarmzentrale VNAZ, SR 520.18
- [95] Fremd- und Inhaltsstoffverordnung FIV, SR 817.021.23, 26.6.1995
- [96] Intraplan Consult GmbH: *Entwicklung des Flugverkehrs in der Schweiz bis 2030, Nachfrageprognose*, München, August 2005,
<http://www.bazl.admin.ch/dokumentation/studien/index.html?lang=de>
- [97] Bundesamt für Statistik BFS: *Bewegungen im Linien- und Charterverkehr seit 1950*, Neuchâtel, 2009
<http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/11/07/03/03.html>
- [98] Boeing: *Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents, Worldwide Operations 1959-2003*, 2004.
- [99] DOE Standard: *Accident analysis for aircraft crash into hazardous facilities*, DOE-STD-3014-96, October 1996,
<http://hss.doe.gov/nuclearsafety/ns/techstds/standard/std3014/std3014.pdf>

- [100] Bienz, A.F.: *Analysis of the Risks of the Population due to Airplane Crashes Around Zürich Airport*, Proceeding of PSAM7 & ESREL'04, Springer Verlag, (London), Berlin July 2004 (ISBN 9871852338275)
- [101] Federal Office of Civil Aviation FOCA: *Swiss Civil Aviation 2007*, Neuchâtel, 2008.
<http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/news/publikationen.html?publicationID=3323>
- [102] Skyguide: *Facts and Figures 2003*, Geneva, August 2003.
<http://www.skyguide.ch/de/MediaRelations/Publications/>
- [103] Skyguide: *Annual Report 2003*, Geneva, February 2004.
<http://www.skyguide.ch/de/MediaRelations/Publications/>
- [104] Skyguide: *Flugsicherung*, Skyguide 4-2002.
<http://www.skyguide.ch/de/MediaRelations/Publications/>
- [105] Brotschi, P.: *Gebrochene Flügel, Alle Flugunfälle der Schweizer Luftwaffe*, Orell Füssli Verlag AG, 2007.
- [106] Grebner, D., Roesch, T.: *Flächen-Mengen-Dauer-Beziehungen von Starkniederschlägen und mögliche Niederschlagsgrenzwerte in der Schweiz* (Projektschlussbericht im Rahmen des Nationalen Forschungsprogrammes „Klimaänderungen und Naturkatastrophen“, NFP 31), Zürich 1998, (ISBN 3728126004)
- [107] Resun AG: *Konzept für die Stilllegung*, Rahmenbewilligungsgesuch EKKM , TB-042-RS080015, Dezember 2008
- [108] HSK-Richtlinie R-30: *Aufsichtsverfahren beim Bau und Betrieb von Kernanlagen*, Januar 1993
- [109] ANSI/ANS – 58.21: *External Events in PRA Methodology*, 2007
- [110] IAEA Safety Requirements NS-R-3: *Site Evaluation for Nuclear Installations*, 2003
- [111] Geotechnisches Institut AG: *EKKM Mühleberg, Grundwasserstände im Lockergestein, Porenwasserdrücke im Fels* (Bericht), Gt-Nr. 31.3714.050, Bern, 14.08.2009
- [112] Seed, H.B., Idriss, I.M.: *Ground motion and soil liquefaction during earthquakes*, Earthquake, Engineering Research Institute (EERI), University of California, Berkeley, EERI Monograph, 1982
- [113] Seed, H.B., Tokimatsu, K., Harder, L.F., Chung, R.: *Influence of SPT procedures in soil liquefaction resistance evaluations*, Journal of Geotechnical Engineering Division 111 (12), 1985, S. 1425-1445.
- [114] Tokimatsu, K., Seed, H.B.: *Evaluation of settlements in sands due to earthquake shaking*, Journal of Geotechnical Engineering 113 (8), 1987, S. 861-878.
- [115] Youd, T. L., Hansen, C. M., Bartlett, S. F.: *Revised MLR equations for predicting lateral spread displacement*, Proc. 7th U.S.–Japan Workshop on Earthquake Resistant Design of Lifeline Facilities and Countermeasures Against Liquefaction, Seattle, Tech. Rep. No. MCEER-99-0019, Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, N.Y., 1999, S. 99–114.
- [116] Youd, T. L., Idriss, I. M., Andrus, R. D., Arango, I., Castro, G., Christian, J. T., Dobry, R., Finn, W. D. L., Harder, L. F. J., Hynes, M. E., Ishihara, K., Koester, J. P., Liao, S. S. C., Marcuson III, W. F., Martin, G. R., Mitchell, J. K., Moriwaki, Y., Power, M. S., Robertson, P. K., Seed, R. B., Stokoe II, K. H.: *Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from the 1996 NCEER and*

1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering 127 (10), 2001, S. 817-833.

- [117] Schlunegger, F., Hinderer, M.: *Pleistocene/Holocene climate change, re-establishment of fluvial drainage network and increase in relief in the Swiss Alps*, Terra Nova, 2003, Vol 15, S. 88-95
- [118] Gorin, G. E., Morend, D., Pugin, A.: *Bedrock, Quaternary sediments and recent fault activity in central Lake Neuchatel, as derived from high-resolution reflection seismic*, Eclogae geol. Helv. 96 (Supplement 1), 2003, S. 3-10
- [119] Cornell, C.A.: *Engineering seismic risk analysis*, Bull. Seism. Soc. Am. 58, 1968, S. 1583-1606
- [120] 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
- [121] Pfiffner, O.A., Erard, P.F., Stäubli, M. 1997: *Two cross sections through the Swiss Molasse Basin* in Pfiffner, Lehner, Heitzman, Mueller, Steck (editors): *Deep structure of the Swiss Alps – Results from NRP 20*, (S. 64-71), Birkhäuser Verlag, Basel, ISSN 0039-3169 bzw. S. 1573-1626
- [122] Meier, B.: *2D Seismik Interpretation im Gebiet Fribourg und Berner Seeland*, Bericht Interoil E&P Switzerland AG, für die Resun AG, Zürich 2009
- [123] NAGRA Technischer Bericht: *Vorschlag geologischer Standortgebiete für das SMA und das HAA Lager: Geologische Grundlagen*, NAGRA NTB 08-04
- [124] Deichmann, N.: *Structural and rheological implications of lower-crustal earthquakes below northern Switzerland*, Phys. Earth Planet. Int. 69, 1992, S. 270-280
- [125] PEGASOS: *Probabilistic Seismic Hazard Analysis for Swiss Nuclear Power Plant Sites (PEGASOS-Project) – Final Report Volume 2: Results*. Nagra, Wettingen, 2004
- [126] 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, 2004
- [127] PEGASOS: *Probabilistic Seismic Hazard Analysis for Swiss Nuclear Power Plant Sites (PEGASOS-Project) – Final Report Volume 4: Elicitation Summaries, Seismic Source Characterisation*, Nagra, Wettingen, 2004

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.3-1: Abmessungen der wichtigsten Gebäude in Meter	19
Tabelle 2.3-2: Terminplanung Bauablauf	22
Tabelle 2.3-3: Temporäre Flächen für die Bauphase des EKKM	23
Tabelle 3.1-1: Einwohnerzahlen wichtiger Ballungszentren in Standortnähe (Quelle: Bundesamt für Statistik)	51
Tabelle 3.1-2: Bevölkerungsverteilung der Gemeinden in der Zone 1 (R=2.8 km) und in der Zone 2 (R=20 km) für die Jahre 1990, 2000, 2003 und 2007, Einteilung in die Zonen Stand 2003	53
Tabelle 3.1-3: Transiente Bevölkerung: Bildung (Stand 2007/2008)	64
Tabelle 3.1-4: Transiente Bevölkerung: Gesundheit (Stand 2007)	65
Tabelle 3.1-5: Transiente Bevölkerung: Tourismus (Stand 2008).....	66
Tabelle 3.1-6: Transiente Bevölkerung, alle Kategorien	66
Tabelle 3.1-7: Bodennutzung im Umkreis von 20 km vom Standort nach 4 Hauptbereichen, Zahlen der aktuellen Erhebung 2004/09	69
Tabelle 3.1-8: Entwicklung der vier Hauptklassen der Bodennutzung im Umkreis (20 km) des Standortes	76
Tabelle 3.2-1: Strassenverkehr der zwei wichtigsten Verkehrsverbindungen in Standortnähe.....	82
Tabelle 3.2-2: Bahnverkehr (Werktag) auf der Linie Bern-Kerzers	83
Tabelle 3.2-3: Berechnete Feuerballradien für 46 t und 20 t freigesetztes Flüssig-Propangas.....	85
Tabelle 3.3-1: Meteoanlagen. Die Messdaten stammen von den beiden Messstationen im Umkreis von 2 km vom KKM sowie von den Stationen Wynau und Bern. Die Blitzdaten stammen von Météorage.....	91
Tabelle 3.3-2: Höchste registrierte Windböen während der Messperiode	94
Tabelle 3.3-3: Absolute Maxima der Windböen (m/s) für jeden Monat während der gesamten Messperiode	94
Tabelle 3.3-4: Parameter der GEV Verteilungen von Abbildung 3.3-3	96
Tabelle 3.3-5: Erwartete maximale Böenspitze für verschiedene Wiederkehrperioden [m/s]. (KI = Konfidenzintervall).....	96
Tabelle 3.3-6: Höchste Stundenmittelwerte der Windgeschwindigkeit (m/s) für jeden Monat während der gesamten Messperiode	97
Tabelle 3.3-7: Mühleberg 1987-2007 Mittelwerte (Mean) und Standardabweichung (Std) der Monatsmaxima gerechnet aus Stundenwerten Meteomast 10 (m/s).....	98
Tabelle 3.3-8: Mühleberg 1987-2007 Mittelwerte (Mean) und Standardabweichung (Std) der Monatsmaxima gerechnet aus Stundenwerten Meteomast 110 m ü.B. (m/s)	98

Tabelle 3.3-9: Mühleberg 1987-2007 Mittelwerte (Mean) und Standardabweichung (Std) der Monatsmaxima gerechnet aus Stundenwerten Stockerenmast 70 m ü.B. (m/s).....	98
Tabelle 3.3-10: Anzahl 10 Min.-Messungen pro Jahr am Meteomast und Stockerenmast mit Windstille	101
Tabelle 3.3-11: Tornadoklassierung.....	101
Tabelle 3.3-12: Tornadobeobachtungen in der Schweiz ab 1890-2008. Hier 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 werden.	103
Tabelle 3.3-13: Rekordtemperaturen in Bern und Mühleberg.	105
Tabelle 3.3-14: Höchste / tiefste Tagesmittelwerte der Temperatur [°C].....	106
Tabelle 3.3-15: Höchste / tiefste Monatsmittelwerte der Temperatur [°C].....	106
Tabelle 3.3-16: Monatsmittelwerte der Temperatur [°C]	106
Tabelle 3.3-17: Tages- und Nachtmittel der Temperatur am Meteomast Mühleberg und auf dem Stockerenmast (Angaben in °C)	107
Tabelle 3.3-18: Parameter der GEV Verteilungen der Temperatur.....	108
Tabelle 3.3-19: Erwartete tiefste (min) / höchste (max) Stundenmittel der Temperatur [°C] für Bern und Mühleberg für verschiedene Wiederkehrperioden. In eckigen Klammern ist das 95% Konfidenzintervall angegeben.....	108
Tabelle 3.3-20: Anzahl der monatlichen Stunden mit Gefahr für Vereisung.....	109
Tabelle 3.3-21: Höchste stündliche Niederschlagsmenge Mühleberg, Bern und Wynau (mm)....	111
Tabelle 3.3-22: Höchste stündliche Niederschlagsmenge Mühleberg, Bern und Wynau (mm)....	111
Tabelle 3.3-23: Höchste Tagesniederschlagsmenge Mühleberg, Bern und Wynau (mm)	111
Tabelle 3.3-24: Höchste 5-Tagesniederschlagsmenge Mühleberg, Bern und Wynau (mm)	111
Tabelle 3.3-25: Minimale, mittlere und maximale monatliche Niederschlagsmenge Mühleberg (mm).....	112
Tabelle 3.3-26: Minimale, mittlere und maximale monatliche Niederschlagsmenge Bern (mm)..	112
Tabelle 3.3-27: Parameter der GEV Verteilungen der stündlichen Niederschlagsmengen von Abbildung 3.3-10.....	113
Tabelle 3.3-28: Erwartete höchste Stundensumme [mm] für verschiedene Wiederkehrperioden	113
Tabelle 3.3-29: Parameter der GEV Verteilungen der Tagessumme der Niederschlagsmenge von Abbildung 3.3-11	114
Tabelle 3.3-30: Erwartete höchste Tagessumme [mm] für verschiedene Wiederkehrperioden ...	114
Tabelle 3.3-31: Erwartete höchste Gesamtschneehöhe [cm] und Schneelasten für verschiedene Wiederkehrperioden (KI = Konfidenzintervall). Für die mittlere Raumlast von Schnee wurde gemäss [91] 3kN/m ³ angenommen.	117

Tabelle 3.3-32: Anzahl Hageljahre in der Umgebung von Mühleberg im Zeitraum von 1961-2004	118
Tabelle 3.3-33: Saisonale Aufteilung der Zunahme der Temperatur für die Jahre 2030, 2050 und 2070 gegenüber 1990. Angegeben ist der Median und in Klammern das 95% Konfidenzintervall. (Nach OcCC [15])	120
Tabelle 3.3-34: Häufigkeit der Ausbreitungskategorien A-F. Gezählt wurden jede Stunde von 2/1987 bis 12/2007	121
Tabelle 3.3-35: Anzahl Stunden pro Monat je Ausbreitungs-kategorie zwischen 2/1987 bis 12/2007	121
Tabelle 3.3-36: Mittlere Anzahl Stunden pro Monat je Ausbreitungs-kategorie am Tag (6-18 UTC) ..	122
Tabelle 3.3-37: Mittlere Anzahl Stunden pro Monat je Ausbreitungs-kategorie in der Nacht (18-6 UTC)	122
Tabelle 3.3-38: 4-Parametrische Ausbreitungsstatistik: kein Niederschlag, Ausbreitungs-kategorie A .	123
Tabelle 3.3-39: 4-Parametrische Ausbreitungsstatistik: kein Niederschlag, Ausbreitungs-kategorie B..	123
Tabelle 3.3-40: 4-Parametrische Ausbreitungsstatistik: kein Niederschlag, Ausbreitungs-kategorie C .	124
Tabelle 3.3-41: 4-Parametrische Ausbreitungsstatistik: kein Niederschlag, Ausbreitungs-kategorie D .	124
Tabelle 3.3-42: 4-Parametrische Ausbreitungsstatistik: kein Niederschlag, Ausbreitungs-kategorie E..	125
Tabelle 3.3-43: 4-Parametrische Ausbreitungsstatistik: kein Niederschlag, Ausbreitungs-kategorie F..	125
Tabelle 3.3-44: 4-Parametrische Ausbreitungsstatistik: Niederschlag bis 0.5 mm/h, Ausbreitungs-kategorie A.....	126
Tabelle 3.3-45: 4-Parametrische Ausbreitungsstatistik: Niederschlag bis 0.5 mm/h, Ausbreitungs-kategorie B	126
Tabelle 3.3-46: 4-Parametrische Ausbreitungsstatistik: Niederschlag bis 0.5 mm/h, Ausbreitungs-kategorie C.....	127
Tabelle 3.3-47: 4-Parametrische Ausbreitungsstatistik: Niederschlag bis 0.5 mm/h, Ausbreitungs-kategorie D.....	127
Tabelle 3.3-48: 4-Parametrische Ausbreitungsstatistik: Niederschlag bis 0.5 mm/h, Ausbreitungs-kategorie E	128
Tabelle 3.3-49: 4-Parametrische Ausbreitungsstatistik: Niederschlag bis 0.5 mm/h, Ausbreitungs-kategorie F	128
Tabelle 3.3-50: 4-Parametrische Ausbreitungsstatistik: Niederschlag 0.5-3 mm/h, Ausbreitungs-kategorie A.....	129
Tabelle 3.3-51: 4-Parametrische Ausbreitungsstatistik: Niederschlag 0.5-3 mm/h, Ausbreitungs-kategorie B	129
Tabelle 3.3-52: 4-Parametrische Ausbreitungsstatistik: Niederschlag 0.5-3 mm/h, Ausbreitungs-kategorie C.....	130

Tabelle 3.3-53: 4-Parametrige Ausbreitungsstatistik: Niederschlag 0.5-3 mm/h, Ausbreitungsklasse D	130
Tabelle 3.3-54: 4-Parametrige Ausbreitungsstatistik: Niederschlag 0.5-3 mm/h, Ausbreitungsklasse E	131
Tabelle 3.3-55: 4-Parametrige Ausbreitungsstatistik: Niederschlag 0.5-3 mm/h, Ausbreitungsklasse F	131
Tabelle 3.3-56: 4-Parametrige Ausbreitungsstatistik: Niederschlag mehr als 3 mm/h, Ausbreitungsklasse A	132
Tabelle 3.3-57: 4-Parametrige Ausbreitungsstatistik: Niederschlag mehr als 3 mm/h, Ausbreitungsklasse B	132
Tabelle 3.3-58: 4-Parametrige Ausbreitungsstatistik: Niederschlag mehr als 3 mm/h, Ausbreitungsklasse C	133
Tabelle 3.3-59: 4-Parametrige Ausbreitungsstatistik: Niederschlag mehr als 3 mm/h, Ausbreitungsklasse D	133
Tabelle 3.3-60: 4-Parametrige Ausbreitungsstatistik: Niederschlag mehr als 3 mm/h, Ausbreitungsklasse E	134
Tabelle 3.3-61: 4-Parametrige Ausbreitungsstatistik: Niederschlag mehr als 3 mm/h, Ausbreitungsklasse F	134
Tabelle 3.4-1: Abflüsse der betrachteten EHW-Szenarien	139
Tabelle 3.4-2: Abflusskombinationen von Aare und Saane für das HQ _{1'000} [8]	140
Tabelle 3.4-3: Pegel der EHW-Szenarien	141
Tabelle 3.4-4: Wasserpegel am KKM (EKKM) bei verschiedenen Jährlichkeiten	141
Tabelle 3.4-5: Zusammenfassung der Hochwasserszenarien	145
Tabelle 3.4-6: Stauseen im Aare-Einzugsgebiet	146
Tabelle 3.4-7: Stauseen im Saane-Einzugsgebiet	147
Tabelle 3.4-8: Maximale Flutkoten der analysierten Mauerbrüche am Standort Niederruntigen	155
Tabelle 3.5-1: Abfolge der quartären Lockergesteinsbedeckung im Raum Mühleberg (von jungen zu alten Ablagerungen)	180
Tabelle 3.5-2: Messergebnisse der Bohrungen zu Grundwasser	184
Tabelle 3.5-3: Theoretische Ergiebigkeiten des Grundwassers am Bohrungsstandort RB11/P/08	184
Tabelle 3.5-4: Geotechnische Schichtbeschriebe des Lockergesteins	189
Tabelle 3.6-1: Mögliche externe Ereignisse mit Referenz zu den Kapitel-Abschnitten, in denen sie beschrieben werden	248
Tabelle 3.6-2: Böenspitzen am Standort (10 m ü.B. gemäss Extremwertanalyse aus Kapitel 3.3.4)	258

Tabelle 3.6-3: Tornadohäufigkeiten in der Schweiz.....	259
Tabelle 3.6-4: Tornadohäufigkeiten am Standort	259
Tabelle 3.6-5 : Berechnung C, Grossflugzeuge, Start & Landung, Bern-Belp	263
Tabelle 3.6-6 : Berechnung $f(x, y)$ Grossflugzeuge, Start & Landung, Bern-Belp	264
Tabelle 3.6-7 : Berechnung $F' = N \cdot C \cdot f(x, y)$, Grossflugzeuge, Transit, Zürich-Genf	265
Tabelle 3.6-8: Berechnung C, mittlere Flugzeuge, Start & Landung, Regionale Flughäfen.....	267
Tabelle 3.6-9: Berechnung $f(x, y)$ Leichtflugzeuge, Start & Landung, Flughäfen & Flugfelder	268
Tabelle 3.6-10: Berechnung $f(x, y)$ mittlere Militärflugzeuge, Start & Landung, Payerne	271
Tabelle 3.7-1: Störungsauftreten in Mühleberg in den letzten 10 Jahren	291

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.2-1:	Schema Kernkraftwerk mit Druckwasserreaktor	5
Abbildung 2.2-2:	Funktionsschema eines Kernkraftwerkes mit Siedewasserreaktor	6
Abbildung 2.2-3:	Beispiel einer modernen Druckwasseranlage: AP1000 von Westinghouse-Toshiba.....	7
Abbildung 2.2-4:	Beispiel einer modernen Siedewasseranlage: ESBWR von General Electric-Hitachi	8
Abbildung 2.3-1:	Übersicht über Standortlage und Umgebung	12
Abbildung 2.3-2:	Fotomontage EKKM (mögliche Anordnung), Aufnahmestandort: Salzweid. Im Hintergrund das bestehende KKM.	14
Abbildung 2.3-3:	Fotomontage EKKM mit dem EPR als Beispiel (mögliche Anordnung), Aufnahmestandort: Talmatt.	14
Abbildung 2.3-4:	Schematische Darstellung wichtiger Gebäude und Systeme eines KKW mit Druckwasserreaktor (DWR) und Hybridkühlsystem	17
Abbildung 2.3-5:	Beispielhafter Übersichtsplan einer Anlagekonzeption mit einem EPR und einem Hybridkühlturm.	20
Abbildung 2.3-6:	Beispielhafter Übersichtsplan eines EPR mit Hybridkühlung und 2 Kühltürmen (Strasse nicht optimiert).	21
Abbildung 2.3-7:	Erschliessung und mögliche Flächen für temporäre Einrichtungen während der Bauphase des EKKM.....	24
Abbildung 2.4-1:	Prinzip eines Hauptkühlkreislaufes.....	29
Abbildung 2.4-2:	Schematische Darstellung der Hilfskühlung mit möglichen Varianten für die Nebenkühlung.....	32
Abbildung 2.4-3:	Tagesmittelwerte der Aaretemperatur flussaufwärts von KKM im Zeitraum 1998-2007	34
Abbildung 3.1-1 :	Grafische Darstellung der gesamten transienten Bevölkerung pro Kreissektor von 30°	67
Abbildung 3.2-1:	EKKM: Übersichtsplan industrielle Gefährdungen	81
Abbildung 3.2-2:	Distanz der unteren Explosionsgrenze in Abhängigkeit von der plötzlich freigesetzten Menge [85].....	84
Abbildung 3.3-1:	Situationsplan der meteorologischen Messanlagen rund um Mühleberg.....	90
Abbildung 3.3-2:	Situationsplan der meteorologischen Messanlage in Wynau.	91
Abbildung 3.3-3:	GEV Verteilung und Histogramme (normiert) der Böenspitzen für Bern 1981-2006, Wynau 1981-2007, Stockeren 1987-2007 und Mühleberg (10 m und 110 m ü.B.) 1987-2007 [m/s].....	95

Abbildung 3.3-4:	Wiederkehrperioden der Böenspitze für Mühleberg 10 m. ü.B.und Stockeren.	97
Abbildung 3.3-5:	Windrosen der 10-Minuten Mittelwerte vom Meteomast 10 m und 110 m ü.B. und vom Richtstrahlmast Stockeren	99
Abbildung 3.3-6:	Windrosen der 10-Minuten Mittelwerte vom Meteomast 10 (oben) und 110 m ü.B. (mitte) und Richtstrahlmast Stockeren (unten) zu Tag- (7-19 Uhr) (links) und Nachtzeiten (19-7 Uhr) (rechts)	100
Abbildung 3.3-7:	Karte der Schweiz: Tornado- (T) und Wasserhosen- (W) Beobachtungen sind markiert	104
Abbildung 3.3-8:	Normierte Verteilung der relativen Feuchte (der Wert = 1 bedeutet, dass dieser Wert am häufigsten vorkommt).	109
Abbildung 3.3-9:	Verteilung der Vereisungsgefahr in Funktion der Tageszeit. Die Gefahr der Vereisung ist von der Tageszeit abhängig.	110
Abbildung 3.3-10:	GEV Verteilung und Histogramme (normiert) der stündlichen Niederschlagsmenge für Bern 1981-2006 und Mühleberg 1988-2007 [mm] 113	
Abbildung 3.3-11:	GEV Verteilung und Histogramme (normiert) der täglichen Niederschlagsmenge für Bern 1864-2006, Wynau 1981-2007 und Mühleberg 1988-2007 [mm]	114
Abbildung 3.3-12:	Wiederkehrperioden (rote Linie) der Niederschlags-Tagessumme für Bern (links) und Mühleberg (rechts).	115
Abbildung 3.3-13:	Jahreshöchstwerte der Niederschlags-Tagessumme [mm] und 50-jährliches Ereignis (rot) mit 95% Konfidenzintervall (grauer Balken)	116
Abbildung 3.3-14:	Grösste jährliche Schneeanhäufungen in Bern	116
Abbildung 3.3-15:	Mittlere jährliche Blitzdichte in der Schweiz von Blitzen, die den Boden erreichen. Der schwarze Kreis lokalisiert den Standort Mühleberg.	117
Abbildung 3.3-16:	Mittlere Temperatur der letzten 150 Jahre in Bern und Basel.	119
Abbildung 3.3-17:	Jährliche Niederschlagsmenge der letzten 150 Jahre in Bern und Basel	119
Abbildung 3.4-1:	Übersichtskarte der näheren Umgebung des EKKM	137
Abbildung 3.4-2:	Hochwassergefährdungskurve für das KKM (EKKM)	142
Abbildung 3.4-3:	Flutkoten der Aare für das HQ _{10'000}	143
Abbildung 3.4-4:	Wichtige Stauhaltungen (aus [13]) im Saane-Einzugsgebiet (links) und im Einzugsgebiet der oberen Aare (rechts))	149
Abbildung 3.4-5:	Pegel an der Terrassenfront nach vollständigem Bruch der Staumauer Mühleberg am Gewiss.-km 156.2	151
Abbildung 3.4-6:	Ganglinie der Flutkote am Standort des EKKM am Gewiss.-km 156.2 bei einem vollständigen Bruch von Schiffen	152

Abbildung 3.4-7:	Ganglinie der Flutkote am Standort des EKKM am Gewiss.-km 156.2 bei einem sequentiellen Bruch Rossens / Schiffenen	154
Abbildung 3.4-8:	Jährlichkeiten von Niedrigwassern am Pegel Aare Bern-Schönau	156
Abbildung 3.5-1:	Geologisch-tektonische Karte der Schweiz und angrenzender Gebiete, vereinfacht nach Bundesamt für Wasser und Geologie 2000a [61] und 2000b [62]	164
Abbildung 3.5-2:	Geologisches Profil durch das westliche Mittelland bis in die Alpen; nach Burkhard & Sommaruga 1998 [56]; vereinfacht in Bonnet 2007 [57].....	164
Abbildung 3.5-3:	Tektonische Übersichtskarte. Integriert in diese Karte sind die neueren Ergebnisse aus der seismischen Interpretation (siehe Kap. 3.5.3.7.2), insbesondere die Brüche die mit der Fribourg Zone, der Hermrigen-Struktur und der Tschugg-Struktur zusammenhängen.	167
Abbildung 3.5-4:	Rezente vertikale Krustenbewegungen in der Schweiz (aus [123]).....	170
Abbildung 3.5-5:	Seismizität (a) und Herdtiefenverteilung (b), aus [123]	172
Abbildung 3.5-6:	Karte mit Erdbeben Epizentren im Umkreis von 25 km um das EKKM.	173
Abbildung 3.5-7:	Karte und Skizze zum regionalen tektonischen Modell	175
Abbildung 3.5-8:	Geologisches Profil durch das Molassebecken der Westschweiz (modifiziert aus Pfiffner et al. 1997 [63].	176
Abbildung 3.5-9:	Vereinfachtes Faziesmodell der Unteren Süsswassermolasse im nördlichen Molassebecken (aus [70], leicht verändert)	178
Abbildung 3.5-10:	Lage der vermeintlichen Störung nordwestlich des EKKM-Standortes, jenseits der Aare.	179
Abbildung 3.5-11:	Situation der Baugrunderkundung, Bohrungen und Messstellen.....	182
Abbildung 3.5-12:	Profil entlang der Aare.....	187
Abbildung 3.5-13:	Profil quer zur Aare	188
Abbildung 3.5-14:	Seismische Gefährdungskarte des Schweizerischen Erdbebendienstes (SED, 2004).....	196
Abbildung 3.5-15:	Gefährdungskurve für den Standortbereich Mühleberg, Horizontalkomponente für Fels, Oberfläche, PGA.	203
Abbildung 3.5-16:	Gefährdungsspektrum ("Uniform Hazard Spectrum") für den Standortbereich Mühleberg, Horizontalkomponente, Fels für eine jährliche Überschreitungswahrscheinlichkeit von 10^{-4} und 5% kritische Dämpfung	203
Abbildung 3.5-17:	PGA-Mittelwerte für harten Fels (3'000 m/s) bei einer jährlichen Überschreitungswahrscheinlichkeit von 10^{-4} im zentralen und östlichen Teil der USA.	204
Abbildung 3.5-18:	Ausschnitt aus der PEGASOS Quellencharakterisierung-Datenbasis in der Umgebung von Mühleberg ("Seismotektonisches Modell")......	210

Abbildung 3.5-19:	Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Maximalmagnituden für Quellenzonen in der Nordschweiz, entwickelt von den vier SP1 (Quellencharakterisierungs-) Expertengruppen	212
Abbildung 3.5-20:	Beispiel eines Quellenzonierungsmodells der Expertengruppe EG1a. Bei dieser Modellvariante ist der Bereich des Permokarbondrogs nicht als separate Flächenquelle ausgeschieden ("PC Active": No).	213
Abbildung 3.5-21:	Quellenzonierungsmodelle der Expertengruppe EG1a dargestellt als gewichtete Äste eines "Logic Trees". Alternative Darstellungen der Fribourg-Zone im Fall ("PC Active": No) sind gelb unterlegt.	214
Abbildung 3.5-22:	Scherwellen-Geschwindigkeitsmodelle am Standort KKM nach Einschätzung der vier SP3 (Standorteffekt-) Experten in schwarz.	217
Abbildung 3.5-23:	Provisorischer Vergleich der für den KKM- (rot) und den EKKM-Standort (blau) berechneten mittleren Amplifikationsfunktionen.	218
Abbildung 3.5-24:	Beiträge zur seismischen Gefährdung am Standort Mühleberg (Fels) nach Magnitude, Distanz und ϵ . Oben für eine Horizontalbeschleunigungsamplitude von 0.05 g und eine Frequenz von 0.5 Hz, unten für eine Amplitude von 0.7 g und eine Frequenz von 100 Hz (PGA).	220
Abbildung 3.5-25:	Erdbeben-Epizenterkarte des westlichen Molassebeckens für den Zeitraum 1984-2003 mit Magnitude $M_w > 1$ (siehe [126]).	221
Abbildung 3.5-26:	<i>Links:</i> Detail der Quellenzonierungsszenarien der Expertengruppe EG1a im Fall "PC troughs not reactivated"; FF ist die Fribourg-Störungsquelle <i>Rechts:</i> Mittlere Gefährdung (mean hazard, PGA) im Standortbereich Mühleberg, alternativ mit und ohne explizite Berücksichtigung der Fribourg-Zone als Linienquelle ("yes" resp. "no").	223
Abbildung 3.5-27:	<i>Oben:</i> Modellierung der Fribourg-Zone durch die Expertengruppe EG1b. <i>Unten:</i> Mittlere Gefährdung (mean hazard, PGA) im Standortbereich Mühleberg, abhängig von der Lage der Ostgrenze der Quellenzone.	224
Abbildung 3.5-28:	Die 10 wichtigsten Beiträge von Einzelquellen zum Mittelwert der Gefährdung im Standortbereich Mühleberg gemäss dem Quellenmodell der Expertengruppe EG1a. (Horizontalkomponente, Oberfläche, Fels, PGA). Die Störungsquelle FF (Fribourg Fault) liefert keinen dominanten Beitrag	225
Abbildung 3.5-29:	Lageplan der reflexionsseismischen Linien im untersuchten Gebiet. Sämtliche Linien wurden in die in diesem Abschnitt beschriebene Interpretationsstudie mit einbezogen. Rot markiert sind die im Abschnitt gezeigten Beispiele.	229
Abbildung 3.5-30:	Die Fribourg-Struktur auf einer repräsentativen seismischen Linie ca. 5 km SO der Stadt Fribourg.	230

Abbildung 3.5-31: Seismische Sektion nördlich der Stadt Fribourg, zwischen den Bohrungen Fendringen-1 und Courtion-1 (entspricht dem "Profil B-B" der Interpretation BuG1990). (Quelle: [122])	231
Abbildung 3.5-32: O-W verlaufende (zusammengesetzte) seismische Sektion ca. 3 km südlich des Standortes EKKM.	233
Abbildung 3.5-33: Die Interpretation reflexionsseismischer Daten aus dem westlichen Molasse-becken von BuG1990.	234
Abbildung 3.5-34: Sektion ca. 5 km nordöstlich des Standorts EKKM. Die "regionale" Störung gemäss BuG1990 ist hier als westvergente Aufschiebung ausgebildet. (Quelle: [122])	235
Abbildung 3.5-35: NW-SO verlaufende seismische Sektion ca. 5 km nordöstlich des Standorts EKKM (Quelle: [122])	236
Abbildung 3.5-36: SW-NO verlaufende seismische Sektion ca. 2 km südwestlich des Standorts EKKM (Quelle: [122])	236
Abbildung 3.5-37: NW-SO verlaufende seismische Sektion ca 2 km süd-westlich des Standorts EKKM (Quelle: [122])	237
Abbildung 3.5-38: Interpretation eines Ausschnitts der Linie 75BE04 (W9) (aus [121], Seite 70, Fig. 8-11).	238
Abbildung 3.5-39: Isohypsenkarte Basis Tertiär. Neben den Tiefenlinien zeigt die Karte das Störungsmuster an der Grenze Mesozoikum / Tertiär.....	239
Abbildung 3.5-40: Seismische Aktivität im Bereich der Fribourg-Zone.	240
Abbildung 3.5-41: Detail des Bruchmusters auf Niveau Basis Tertiär in der unmittelbaren Umgebung des Standortes EKKM	241
Abbildung 3.6-1: Anteil gesamte Absturzrate, Flugzeuge aller Gewichtsklasse	274
Abbildung 3.6-2: Anteil gesamte Absturzrate, Flugzeuge der Gewichtsklasse > 5.7	275
Abbildung 3.7-1: Die Netztopologie 2015 mit den 380 kV (rot) und 220 kV (grün) Leitungen ab Mühleberg.....	285
Abbildung 3.7-2: Schema der Unterstation Mühleberg Ost (UST Ost), 380 und 220 kV-Schienen mit dazwischen geschaltetem Transformator. Ein zweiter Transformator könnte installiert werden.....	286
Abbildung 3.7-3: Schaltbild der geplanten UST Ost, basierend auf der Netz-Topologie 2015, alle Spannungsebenen dargestellt.....	287
Abbildung 3.7-4: Netztopologie Stand Dezember 2008 mit den Spannungsebenen 380, 220, 132 und 50kV.	288
Abbildung 3.7-5: Die Netztopologie 2008 mit den 220 kV (grün) Leitungen ab Mühleberg....	289
Abbildung 3.7-6: Spannungsverlauf Mühleberg West 220 kV (Sammelschiene 1) für die letzten 3 Jahre (Ende November 2005 bis Ende August 2008).....	289

Abbildung 3.7-7:	Spannungsstatistik Mühleberg West 220 kV (letzte 3 Jahre) mit Darstellung der Häufigkeit in Funktion der Spannung	290
Abbildung 3.7-8:	Spannungsstatistik Mühleberg Ost 132 kV (seit Inbetriebnahme).	290
Abbildung 5.7-1:	Wirkungsbereich der HOF	316
Abbildung 5.7-2:	HOF-Themen für die Projektierung / Auslegung.....	317
Abbildung 5.9-1:	Etappen des HOF-Vorhabens bei der Projektierung	319
Abbildung 5.9-2:	Schematischer Überblick der Vorprojektstudien	321
Abbildung 5.9-3:	Schema des iterativen HOF-Verfahrens zur Überwachung der Projektierung	323
Abbildung 5.9-4:	Schematische Darstellung der HOF-Evaluierung der Auslegung	326
Abbildung 5.10-1:	Etappen des HOF-Vorhabens beim Bau	328
Abbildung 5.11-1:	Etappen des HOF-Vorhabens beim Anlagebetrieb.....	332
Abbildung 5.12-1:	Etappen und Studien des HOF-Vorhabens bei der Stilllegung	334

Abkürzungsverzeichnis

ANETZ	Automatisches meteorologisches Beobachtungsnetz der MeteoSchweiz
ANPA	Anlageparameter (werden via eigenes Netzwerk der HSK übermittelt)
ATA	Alphatoxische Abfälle
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BAZL	Bundesamt für Zivilluftfahrt
BABS	Bundesamt für Bevölkerungsschutz
BE	Brennelemente
BFE	Bundesamt für Energie
BKW	Bernische Kraftwerke BKW FMB Energie AG
CDF	Core Damage Frequency - Kernschadenshäufigkeit
CKW	Centralschweizerische Kraftwerke AG
DVWK	Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau
DWR	Druckwasserreaktor
EHW	Extremhochwasser-Studie des Kantons Bern
EKKM	Ersatz Kernkraftwerk Mühleberg
EOR	Einsatzorganisation bei erhöhter Radioaktivität
ESS	Extended Source Simulations
ETH-Z	Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
EU	Europäische Union
EUR	European Utility Requirements (für LWR)
FZ	Fribourg Zone
GSchV	Gewässerschutzverordnung des Bundes
GEV	Generalisierte Extremwertverteilung
HAA	Hochaktive Abfälle (verglast)
HKT	Hybridkühlturm
HOF	Human and Organisational Factors (Menschliche und Organisatorische Faktoren)
HRA	Human Reliability Analysis
HSK	Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen
HQ _{1'000}	Hochwasser mit Wiederkehrperiode von 1'000 Jahren
HQ _{10'000}	Hochwasser mit Wiederkehrperiode von 10'000 Jahren
HKT	Hybridkühlturm
IAEO	Internationale Atomenergieorganisation
ICRP	International Commission on Radiological Protection – Internationale Strahlenschutzkommission
IEC	International Electrotechnical Commission
IH	Instandhaltung
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change

IPEEE	Individual Plant Examination of External Events
ISO	International Organization for Standardization
KEG	Kernenergiegesetz
KEV	Kernenergieverordnung
KKM	Kernkraftwerk Mühleberg
KWO	Kraftwerke Oberhasli
KT	Kühlturm
KTa	Kerntechnischer Ausschuss
kV	Kilovolt
LGM	Last Glacial Maximum (letzteiszeitlicher Gletschervorstoss)
LWR	Leichtwasserreaktor
MEG	Most Extensive Glaciation (grösste Vergletscherung)
MH	Maschinenhaus
MMS	Mensch-Maschine-Schnittstelle
Nagra	N ationale G enossenschaft für die Lagerung R adioaktiver A bfälle
NAZ	Nationale Alarmzentrale
NEE	Neue erneuerbare Energien
NISV	Verordnung über den Schutz vor nicht-ionisierender Strahlung
NOK	Nordostschweizerische Kernkraftwerke AG
OcCC	O rgane c onsultatif sur les C hangements C limatiques – Beratendes Organ für Fragen der Klimaänderung
PARCOM	Recommendation on Radioactive Discharges
PASS	Post Accident Sampling System
PGA	Peak Ground Acceleration
PMF	Probable Maximum Flood
PMP	Probable Maximum Precipitation
PRP	PEGASOS Refinement Project
PSA	Probabilistic Safety Analysis – probabilistische Sicherheitsanalyse
PSHA	Probabilistic Seismic Hazard Analysis
PSI	Paul Scherrer Institut, Villigen
OSM	Obere Süsswassermolasse
QM	Qualitätsmanagement
RBG	Rahmenbewilligungsgesuch
RG	Reaktorgebäude
SAMG	S evere A ccident M anagement G uidance (Strategien zur Milderung der Auswirkungen von schweren Unfällen)
SED	Schweizerischer Erdbebendienst
SMA	schwach- und mittelaktive Abfälle
SS	Sammelschiene
SSHAC	Senior Seismic Hazard Analysis Committee

SPDS	Safety Parameter Display System
StSG	Strahlenschutzgesetz
StSV	Strahlenschutzverordnung
SÜL	Sachplan Übertragungsleitungen
SWR	Siedewasserreaktor
TWh	Terawattstunden
USM	Untere Süßwassermolasse
U.S.NRC	United States Nuclear Regulatory Commission
UVEK	Departement für U mwelt, V erkehr, E nergie und K ommunikation
VBS	Departement für V erteidigung, B evölkerungsschutz und S port
VAW	Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie
WENRA	W estern E uropean N uclear R egulators' A ssociation
WKW	Wasserkraftwerk
ZLS	Zentrale Netzleitstelle



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