



Schlussbericht vom 28. Februar 2019

Klärung von Grundsatzfragen für die Bündelung von Übertragungsleitungen mit Nationalstrassen und Eisenbahnstrecken

UVEK-Studie





Datum: 28. Februar 2019

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Auftragnehmer:

EBP Schweiz AG
Mühlebachstrasse 11, CH-8032 Zürich
www.ebp.ch

Autoren:

Matthias Kruse, EBP, matthias.kruse@ebp.ch
Martin Schuster, EBP, martin.schuster@ebp.ch
Christof Egli, EBP, christof.egli@ebp.ch
Simon Ambühl, EBP, simon.ambuehl@ebp.ch
Toni Wunderlin, Axpo, toni.wunderlin@axpo.com

Mitglieder Arbeitsgruppe UVEK:

Mattia Cattaneo (ARE), Bendicht Hirschi (ASTRA), Günter Hofer (ASTRA), Peter Mayer (BAV),
Olivier Klaus (BFE), Peter Kreissig (ESTI), Andreas Wingerter (ESTI), Benedikt Aeberhardt (SBB),
Sandro Dinser (Swissgrid), Philippe Meuli (Swissgrid)

BFE-Bereichsleitung: Mohamed Benahmed, Leiter Netze, mohamed.benahmed@bfe.admin.ch

BFE-Programmleitung: Martin Michel, Projektleiter Netze, martin.michel@bfe.admin.ch

BFE-Vertragsnummer: SI/200290-01

Bundesamt für Energie BFE

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen; Postadresse: CH-3003 Bern
Tel. +41 58 462 56 11 · Fax +41 58 463 25 00 · contact@bfe.admin.ch · www.bfe.admin.ch



Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	6
1 Auftrag und Ziele	12
1.1 Aufgabenstellung	12
1.2 Abgrenzung	12
2 Grundlagen	13
2.1 Ausgangslage	13
2.2 Gesetzliche Grundlagen	15
2.3 Sachplanung	15
2.4 Plangenehmigungsverfahren	15
2.5 Begrifflichkeiten	16
3 Infrastrukturen und mögliche Bündelungsanordnungen	17
3.1 Eigentumsverhältnisse	17
3.2 Trägerinfrastrukturen	17
3.3 Strominfrastruktur	18
3.3.1 Netzebenen	18
3.3.2 Betrachtete Leitungstypen	19
3.4 Bündelungsanordnungen im Bauwerksprofil	20
3.5 Relevante / nicht-relevante Anordnungen	22
4 Rahmenbedingungen und Umfeld für die Bündelung	31
4.1 Kabellogistische Rahmenbedingungen	31
4.1.1 Zugänglichkeit bei Strassentunneln	31
4.1.2 Zugänglichkeit bei Bahntunneln	31
4.1.3 Zugänglichkeit bei offenen Strecken	31
4.1.4 Zugänglichkeit bei Brücken	32
4.1.5 Transportmasse und Gewichte der Kabel	32
4.2 Nutzraum für die Kabelanlage	34
4.3 Randbedingungen zur Strasse	37
4.3.1 Rechtliche Randbedingungen	37
4.3.2 Unterhaltszyklus bei der Strasse	37
4.3.3 Bauliche Ausgestaltungen	38
4.3.4 Betriebs- und Sicherheitsausrüstung (BSA)	39



4.3.5	Einrichtungen zur Selbst- und Fremddrettung von Verkehrsteilnehmern	39
4.3.6	Baustelleneinrichtung auf Autobahnen und Autostrassen.....	40
4.4	Randbedingungen zur Bahn	40
4.4.1	Rechtliche Randbedingungen	40
4.4.2	Unterhaltszyklus bei der Bahn.....	40
4.4.3	Bauliche Randbedingungen	41
4.4.4	Elektrotechnische Ausrüstung der Bahninfrastruktur	41
4.4.5	Einrichtungen zur Selbst- und Fremddrettung von Verkehrsteilnehmern	42
4.4.6	Streckensperrungen	42
4.5	Randbedingungen zum Strom	43
4.5.1	Rechtliche Randbedingungen	43
4.5.2	Unterhaltszyklus bei Kabelanlagen	44
4.5.3	Elektrotechnische Ausrüstung der Kabelanlage.....	44
4.5.4	Sekundärtechnik zur Überwachung und zum Betrieb	46
4.5.5	Betriebliche Vorgaben	46
4.6	Schutz der Verkehrsteilnehmer	48
4.7	Arbeitssicherheit	48
4.8	Gegenseitige Beeinflussung	51
4.9	Risikoveränderungen durch Bündelung.....	55
4.9.1	Aufbau der Risikoanalyse	55
4.9.2	Erkenntnisse aus der Risikoanalyse.....	56
5	Anforderungen bei der Bündelung	61
5.1	Voraussetzungen	61
5.2	Bautechnische Anforderungen	61
5.2.1	Allgemeine Anforderungen	61
5.2.2	Anforderungen bei Kabelrohrblock im Tunnel (Anordnungen A und B).....	67
5.2.3	Anforderungen für WELK und SiSto (Anordnungen A und D)	72
5.2.4	Anforderungen bei Kabelrohrblock unter / neben Fahrbahn (Anordnungen E und F)	81
5.2.5	Anforderungen bei Brückenbauwerken (Anordnung G)	84
5.3	Anforderungen an Betrieb und Unterhalt.....	86
5.3.1	Betrieb und Sicherheit	86
5.3.2	Wartungs- und Unterhaltsarbeiten.....	88
6	Folgerungen zur Realisierbarkeit der Bündelung	90



6.1	Machbarkeit der Bündelung	90
6.2	Koordination der Planung und der Ausführung	91
6.3	Bündelung bei Netzebene 3 und 5	93
7	Regulatorische Handlungsmöglichkeiten.....	94
7.1	Anpassungsbedarf bei Gesetzen / Verordnungen.....	94
7.1.1	Ausgangslage	94
7.1.2	Erwägungen.....	94
7.1.3	Handlungsmöglichkeiten.....	95
7.2	Anpassungsbedarf bei technischen Regelwerken.....	96
7.2.1	Ausgangslage	96
7.2.2	Erwägungen.....	96
7.2.3	Handlungsmöglichkeiten.....	96
7.2.1	Empfohlenes Vorgehen zur Verringerung der Unsicherheiten.....	97
	Abkürzungsverzeichnis	98
	Literatur, Bundesrecht und technische Regelwerke.....	99

Anhänge

- Anhang 1: Merkblätter zu den Bündelungsanordnungen
- Anhang 2: Abgrenzung der Anordnungen E und F bei einer Nationalstrasse, Anordnung F bei einer Eisenbahnstrecke
- Anhang 3: Lösungsansätze zur Kabelverlegung in Werkleitungskanälen (Anordnung A)
- Anhang 4: Lösungsansatz zur Kabelverlegung in Sicherheitsstollen (Anordnung D)

Beilagen

- Beilage 1: Verfahrensrechtliche Fragen bei der Bewilligung von multifunktionalen Infrastrukturen
- Beilage 2: Risikoveränderungen durch multifunktionale Infrastrukturen

Fotos Titelfeld

- Oben links: Nationalstrasse A2, Gotthard-Strassentunnel
- Oben rechts: Nationalstrasse A4 bei Hünenberg, Kanton Zug
- Unten links: Lötschberg-Basistunnel, Kabelzug
- Unten mitte: Kabelkanal Unterwerk Mühleberg
- Unten rechts: Nationalstrasse A3, Werkleitungskanal Uetlibergtunnel



Zusammenfassung

Aufgabenstellung: Die vorliegende Studie «Klärung von Grundsatzfragen für die Bündelung von Übertragungsleitungen mit Nationalstrassen und Eisenbahnstrecken», welche im Auftrag des Eidgenössischen Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) erarbeitet wurde, soll die Anforderungen an Bau, Technik, Betrieb, Unterhalt und Sicherheit sowie die gegenseitige Beeinflussung klären. Der Fokus richtet sich bei Nationalstrassen auf Autobahnen, bei Eisenbahnstrecken auf Normal- und Schmalspurbahnen und bei Übertragungsleitungen auf das 50 Hertz-Übertragungsnetz 380/220 kV, wobei die Bündelung von Verkehrsinfrastrukturen mit Kabelanlagen und nicht mit Freileitungen untersucht wird.

Projektbeteiligte: Die vorliegende Studie wurde mit Unterstützung durch EBP Schweiz AG unter Leitung des Bundesamts für Energie (BFE) erstellt. Mitgewirkt haben die Bundesämter für Raumentwicklung (ARE), Strassen (ASTRA), Verkehr (BAV), das Eidgenössische Starkstrominspektorat (ESTI), die nationale Netzgesellschaft Swissgrid und die SBB. Zur Klärung verfahrensrechtlicher Fragen im Bewilligungsprozess bei der Bündelung von Übertragungsleitungen mit Nationalstrassen und Eisenbahnstrecken hat eine UVEK-interne Arbeitsgruppe einen ergänzenden Bericht «Verfahrensrechtliche Fragen bei der Bewilligung von multifunktionalen Infrastrukturen» (siehe Beilage 1) erarbeitet.

Ausgangslage: Der Bundesrat hat im Postulatsbericht 08.3017 Rechsteiner «Multifunktionale Nationalstrassen zur Entlastung der Landschaft» festgehalten, dass das Prinzip der Bündelung von Infrastrukturen mit den Zielen und Planungsgrundsätzen des Raumplanungsgesetzes (RPG) übereinstimmt. Die Bündelung trägt zum Landschaftsschutz und zur haushälterischen Bodennutzung bei. Ohne Zweifel fällt der Bündelung der Infrastrukturen eine wesentliche Bedeutung zu, sollen sich Infrastrukturen ohne Verzug und ohne qualitative Einbussen unter Schonung der Ressource Boden weiterentwickeln lassen.

Gesetzliche Grundlage: Auf der Grundlage des RPG haben die Behörden bei der Planung raumwirksamer Tätigkeiten zu prüfen, welche Möglichkeiten bestehen, den Boden haushälterisch und umweltschonend zu nutzen sowie die Siedlungsordnung zu verbessern. Die Möglichkeit für eine Bündelung oder eine multifunktionale Nutzung von Infrastrukturen ist bei der Planung daher grundsätzlich zu prüfen. Eine direkte gesetzliche Verpflichtung für die Infrastrukturbetreiber, ihre Infrastruktur mit anderen Infrastrukturen tatsächlich zu bündeln bzw. entsprechende Projekte zu entwickeln, gibt es jedoch nicht.

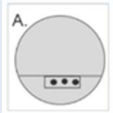
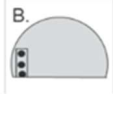
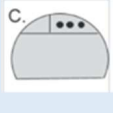
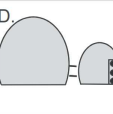
Plangenehmigungsverfahren: Bei Bündelungsprojekten führt immer die Leitbehörde, die für die Genehmigung der Trägerinfrastruktur (Eisenbahn oder Nationalstrasse) zuständig ist, das Plangenehmigungsverfahren für das Gesamtprojekt (Trägerinfrastruktur und Übertragungsleitung) durch. Leitbehörde ist daher entweder das UVEK oder das BAV. Das ESTI bzw. das BFE als Leitbehörden für die Plangenehmigung von elektrischen Anlagen werden bei solchen Bündelungsvorhaben lediglich als Fachbehörden anzuhören sein.

Eigentumsverhältnisse: Bei einer Bündelung sind in der Regel die Strasse oder die Bahn als Trägerinfrastruktur und die Übertragungsleitung als Sekundärinfrastruktur zu betrachten (Strom als Mitbenutzer). Dies gilt insbesondere dann, wenn die Strasse oder die Bahn bereits vor dem Bündelungsvorhaben Bestand hatte. Die Trägerinfrastruktur ist dabei in der Regel im Eigentum des Bundes oder eines Eisenbahnunternehmens. Die nationale Netzgesellschaft Swissgrid strebt aus heutiger Sicht kein Eigentum bei der Trägerinfrastruktur an. Eine Mitbenutzung ist ihr genügend.

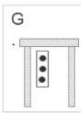
Bündelungsanordnungen im Bauwerksprofil: Im Rahmen der Studie wurden verschiedene bauliche Anordnungsmöglichkeiten der Übertragungsleitung in der Trägerinfrastruktur untersucht. Dabei wurde unterschieden zwischen Strasse und Bahn sowie zwischen Tunnel, Brücken und offenen Strecken. Nach einer umfangreichen Recherche zu vergleichbaren Vorhaben im In- und Ausland wurden die Rahmenbedingungen und das Umfeld (Zugänglichkeit, Nutzraum, Randbedingungen, Schutz der Verkehrsteilnehmer, Arbeitssicherheit, gegenseitige Beeinflussung und Risikoveränderung) für die verschiedenen Anordnungen untersucht. In einem zweiten Schritt wurden die Anforderungen bei der Bündelung (bautechnische Anforderungen sowie Anforderungen an Betrieb und Unterhalt) und mögliche Massnahmen untersucht.

Machbarkeit einer Bündelung: Unter Einhaltung der in dieser Studie ermittelten Anforderungen ist die Bündelung von Bahn- und Strasseninfrastrukturbauten mit 380/220 kV-Höchstspannungskabeln technisch machbar. Es ist jedoch zu differenzieren. Nicht alle Anordnungen weisen dieselbe Eignung für eine Bündelung bzw. multifunktionale Nutzung auf. Zudem ist die Realisierung in der Regel nur denkbar, wenn beide Infrastrukturen gleichzeitig neu gebaut werden oder wenn die Trägerinfrastruktur einer Gesamtsanierung unterzogen wird. Es zeigt sich dabei, dass die Realisierung eines durchgängigen Kabelstrangs bei Autobahnen mehrere Jahrzehnte in Anspruch nehmen wird. Für die heute üblichen baulichen Randbedingungen der Trägerinfrastrukturen sollten sich die in der Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV) festgelegten Immissionsgrenzwerte für die magnetische Flussdichte von 100 μ T für die meisten Anordnungen im Normalbetrieb einhalten lassen.

Tabelle A: Beurteilung der Anordnungen auf ihre Relevanz

Querschnitt		Strasse	Bahn
Anordnung A	Tunnel 	Relevanz hoch: Bei gleichzeitigem Neubau der Infrastrukturen oder bei einer Gesamtsanierung realisierbar.	Ungeeignet, da kein Platz bei Bahntunnels. Wurde nicht weiterverfolgt.
Anordnung B	Tunnel 	Ungeeignet, da kein Platz bei Strassentunnels. Wurde nicht weiterverfolgt.	Relevanz hoch: Bei gleichzeitigem Neubau der Infrastrukturen realisierbar.
Anordnung C	Tunnel 	Ungeeignet aus Sicherheitsüberlegungen. Wurde nicht weiterverfolgt.	
Anordnung D	Tunnel 	Relevanz hoch: Bei gleichzeitigem Neubau der Infrastrukturen oder bei späterem Zubau von parallelen Stollen (z.B. bei Sicherheitsstollen) realisierbar.	



Querschnitt		Strasse	Bahn
Anordnung E	Offene Strecke 	Relevanz hoch: Bei gleichzeitigem Neubau der Infrastrukturen oder bei einer Gesamtsanierung realisierbar, in Spezialfällen und wenn Muffenschächte ausserhalb von Fahrbahn / Pannestreifen.	Kabelleitungen, die nicht dem Bahnbetrieb dienen, müssen grundsätzlich nach Starkstromverordnung ausserhalb der Gleisanlage und den zugehörigen Leitungstragwerken für die Bahnstromversorgung verlegt werden. Wurde nicht weiter verfolgt.
Anordnung F	Offene Strecke 	Relevanz hoch: Bei gleichzeitigem Neubau der Infrastrukturen oder bei einer Gesamtsanierung realisierbar. Bei einer in Betrieb stehenden Trägerinfrastruktur, wenn die (Baustellen-) Erschliessung seitlich über das Feld erfolgt.	Relevanz bedingt vorhanden: Der Platz neben einem Gleis ist gewöhnlich schmal. Dazu gibt es weitere Einschränkungen. Nur bei gleichzeitigem Neubau der Infrastrukturen (Neubaustrecke) zweckmässig.
Anordnung G	Brücken 	Relevanz bedingt vorhanden: Brücken sind in der Ausbildung der Haupttragwerke sehr vielfältig, was zugleich eine Chance ist, aber auch Einschränkungen umfasst. Bei gleichzeitigem Neubau der Infrastrukturen zweckmässig.	

Risikoveränderungen durch Bündelung: Die Bündelung führt im Falle von gewissen Szenarien zu leicht grösseren Risiken. Massgebend sind die Szenarien «Kollision» und «Brand» in einem Tunnel bei der Bündelung mit der Strasse, bei denen das Schadenausmass etwas grösser wird. Dieselben Szenarien bei der Bündelung mit der Bahn weisen analoge Unterschiede auf, aber mit jeweils deutlich tieferem Risiko. Dies gilt auch für die anderen massgebenden Risiken wie «Erdbeben» und «Hochwasser». Die monetarisierten Risiken bleiben für alle Szenarien auf einem tiefem Risikoniveau.

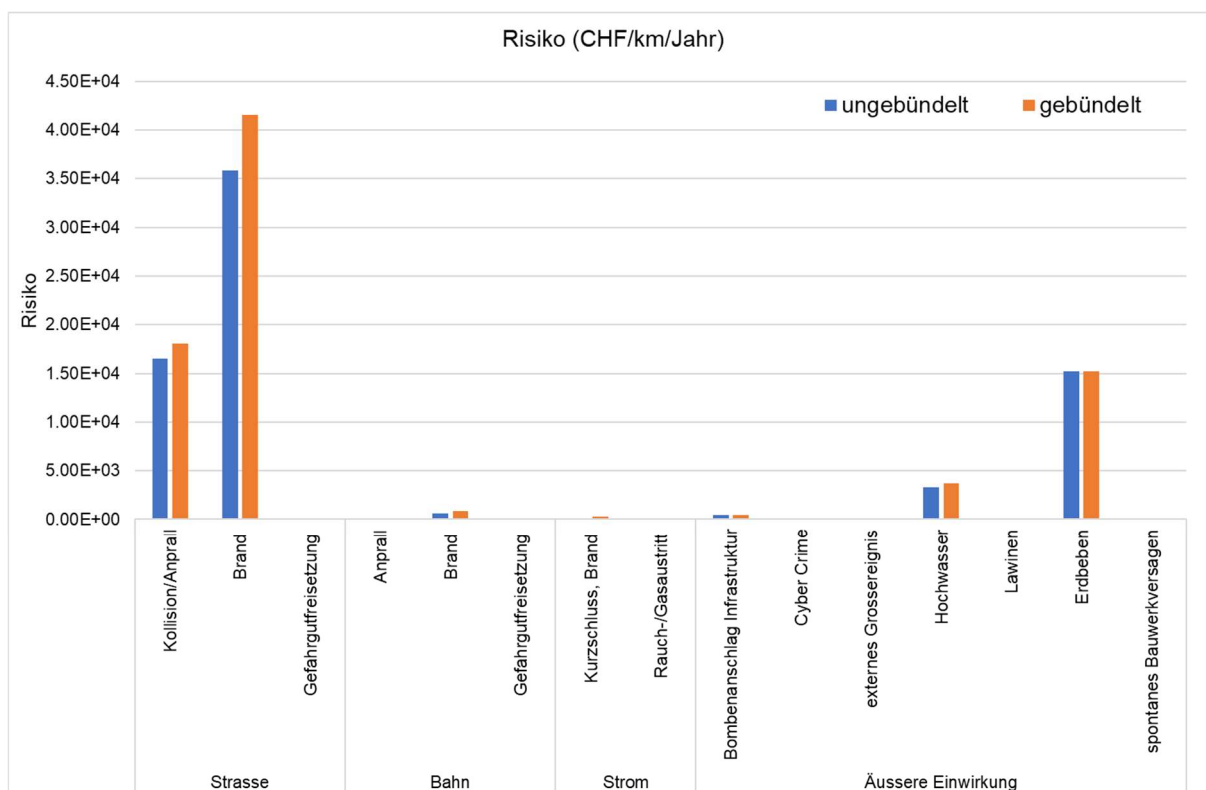


Abbildung A: Risiken der betrachteten Szenarien (monetarisiert, normiert auf 1 km Länge, pro Jahr)

Beurteilung der Bündelungsanordnungen aus Sicht der Sicherheit: Die verschiedenen Anordnungsmöglichkeiten bei einer Bündelung wurden qualitativ miteinander verglichen. Aus Sicht der Sicherheit ist zu urteilen, dass eine grösstmögliche räumliche Trennung zwischen den beiden gebündelten Infrastrukturen vorteilhaft ist. Daher werden im Tunnel die Anordnungen A und D günstiger beurteilt als die Anordnung B; auf offener Strecke wird die Anordnung F günstiger beurteilt als die Anordnung E.

Koordination der Planung und der Ausführung: Eine frühzeitige Abstimmung des Planungsprozesses zwischen der Trägerinfrastruktur und der Übertragungsleitung ist ein zentrales Element für die erfolgreiche Realisierung einer Bündelung. Dies ist darum notwendig, weil die Planungsfristen und die Bewilligungsverfahren der Trägerinfrastruktur und der Übertragungsleitung sehr unterschiedlich sein können. Für die erfolgreiche Realisierung von Bündelungsvorhaben braucht es zudem gegenseitige Absichtserklärungen. Bündelungsprojekte sollten durch die beiden betroffenen Infrastrukturbetreiber möglichst parallel ausgearbeitet werden und der Detaillierungsgrad der Planung sollte für das Stromprojekt möglichst gleich sein wie für das Projekt der Verkehrsinfrastruktur, wie dies in der Tabelle B gezeigt wird.

**Tabelle B: Empfohlener Planungsablauf bei multifunktionaler Nutzung**

Projektphase	Zentrale Leistungen	Zuständigkeit	
		Trägerinfrastruktur	Swissgrid
Studie	– Variantenstudium zur Technologie der Stromübertragung		X
Vorprojekt	– Definition der Systemanforderungen der Stromübertragung		X
	– Vordimensionierung Bauwerksprofil / bauliche Elemente	X	X
	– Erstellen von generellen Konzepten zur Lüftung / Kühlung, Erdung und Potentialausgleich, Sicherheit / Brandschutz, Kabellogistik	X	X
	– Anschluss an das Freileitungsnetz	X	X
Bau- und Auflageprojekt	– Elektrotechnische Dimensionierungen		X
	– Bauliche Dimensionierungen	X	
	– Koordination an Schnittstellen, wie Kabellogistik, Lüftung	X	X
	– Lüftungsauslegung allgemein	X	
	– Lüftungsauslegung für WELK der Stromübertragung bzw. Kühlung von Kabelleitungen		X
	– Berechnungen und Nachweise betreffend Erdung- und Potentialausgleich	X	X
	– Baulogistik inkl. der Kabellogistik	X	X

Bündelung bei Stromleitungen der Netzebene 3 und 5: Eine Bündelung der Netzebene 3 oder 5 mit Nationalstrassen oder Eisenbahnstrecken wurde im Rahmen dieser Studie nicht untersucht. Solche Bündelungen scheinen aber grundsätzlich ebenfalls machbar und unter bestimmten Umständen auch zweckmässig zu sein.

Anpassungsbedarf bei Gesetzen und Verordnungen: Bezüglich der Bündelung von Infrastrukturen fehlen in einzelnen Bereichen (z.B. Untersuchung des Bündelungspotentials, Prüfung von konkreten Bündelungsprojekten, Verpflichtung zur Koordination der Planung, Regelung der Kostenträgerschaft allfälliger Vorfinanzierungen und Mehrkosten) gesetzliche Regelungen. Mittels Anpassungen der entsprechenden Erlasse könnte die Bündelung der Infrastrukturen gefördert werden.



Anpassungsbedarf bei technischen Regelwerken: Des Weiteren wurde Handlungsbedarf auf der Ebene der technischen Regelwerke (z.B. Wegleitung zur Verordnung 3 und 4 zum Arbeitsgesetz, Norm SIA 205) festgestellt, bei welchen in den Überlappungsbereichen der Geltungsbereich von einzelnen Regelwerken klarer festgelegt werden sollte. Bisher fiel diesem Umstand keine Bedeutung zu, weil noch kaum multifunktionale Nutzungen zwischen Übertragungsleitungen und Nationalstrassen oder Eisenbahnstrecken umgesetzt wurden. Dazu ist zu verzeichnen, dass sich die jeweiligen Regelungen bisher einzig auf die strassen- oder bahneigenen Kabelanwendungen fokussieren.

Diese Studie liefert eine Aussage zum Präzisierungsbedarf der technischen Regelwerke, kann selbst aber keine Rechtssicherheit vermitteln. Den Entscheid über die Auslegung von widersprüchlichen Regelwerken muss letztendlich die Bewilligungsbehörde in einem konkreten Bündelungsprojekt treffen, nach dem dort alle betroffenen Parteien ausreichend angehört wurden.



1 Auftrag und Ziele

1.1 Aufgabenstellung

Die vorliegende Studie «Klärung von Grundsatzfragen für die Bündelung von Übertragungsleitungen mit Nationalstrassen und Eisenbahnstrecken» wurde in Auftrag gegeben, um die Anforderungen an Bau, Technik, Betrieb, Unterhalt und Sicherheit bei Bündelung der obgenannten Infrastrukturen umfassend zu klären. Das Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) hat das Bundesamt für Energie (BFE) beauftragt, eine entsprechende Studie unter Einbezug und Mitwirkung der involvierten Bundesämter des UVEK zu erarbeiten.

Die Studie soll als Grundlage für Behörden und Projektverfasser bei der zukünftigen Planung und Bewilligung von Bündelungsprojekten von Übertragungsleitungen mit Nationalstrassen und Eisenbahnstrecken die Anforderungen an Bau, Technik, Betrieb, Unterhalt und Sicherheit klären. Dabei sind unter Nationalstrassen in erster Linie Autobahnen, unter Eisenbahnstrecken Normal- und Schmalspurbahnen und unter Übertragungsleitungen das 50 Hertz-Übertragungsnetz 380/220 kV der Netzebene 1 (NE 1)¹ zu verstehen.

Die Studie soll die gegenseitige Beeinflussung der Infrastrukturen im regulären Betrieb, beim Unterhalt sowie Auswirkungen von ausserordentlichen Ereignissen beim Betrieb der gebündelten Infrastrukturen darlegen. Zudem sollen die für einen sicheren Betrieb notwendigen Rahmenbedingungen und Anforderungen (bauliche, präventive und prozessuale Massnahmen) aufgezeigt werden. Hierbei sind Neubauten, Sanierungen und der Umbau bestehender Infrastrukturen zu betrachten.

1.2 Abgrenzung

Die nachfolgenden Aspekte wurden im Rahmen der Studie nicht spezifisch untersucht:

- Weitere Infrastrukturen wie Gas- und Ölleitungen, Glasfasernetze
- Bündelung mittels Kabellösungen mit dem 16.7 Hertz-Bahnstrom Übertragungsnetz 132 kV (Begründung: siehe Kapitel 2.1)
- Bündelung von Nationalstrasse und Eisenbahnstrecken untereinander
- Kriterien für eine landschaftliche Bewertung von Bündelungsprojekten
- Sektorspezifische Fragestellungen (z.B. Untersuchung der Netzstabilität 50 Hertz)

Vom Grundsatz her gehört die Parallelführung von Freileitungen zu Strassen und Bahnstrecken mit zum Sachverhalt der «Bündelung». Diese Form der Bündelung ist aber heute schon eine weit verbreitete Praxis und wird darum in dieser Studie nicht beleuchtet. Im Rahmen dieser Studie steht einzig die Bündelung von Verkehrsinfrastrukturen mit Kabelanlagen für Strom im Fokus.

Die Gleichstromtechnologie wird ausgenommen, weil sie sich aus wirtschaftlicher Sicht nur für lange Übertragungsdistanzen lohnt und dies auf die Verhältnisse in der Schweiz nicht zutrifft.

¹ Die Netzebene 1 (NE 1) bezeichnet das Übertragungsnetz, welches mit der Höchstspannung von 380/220 kV betrieben wird. Es wird seit Januar 2013 von der nationalen Netzgesellschaft Swissgrid geplant, gebaut, unterhalten und betrieben.



2 Grundlagen

2.1 Ausgangslage

Unter Berücksichtigung der besonderen Rahmenbedingungen in der Schweiz in Bezug auf die Topografie, die dichte Besiedlung des Mittellandes, die hohen Ansprüche an die Infrastruktur und angesichts einer langwierigen, langsam voranschreitenden Weiterentwicklung der Stromnetze kann die Bündelung von Infrastrukturanlagen, konkret von Nationalstrassen und Eisenbahnstrecken mit Übertragungsleitungen, zum Landschaftsschutz und zur haushälterischen Bodennutzung beitragen. Ohne Zweifel fällt diesen Nachhaltigkeitsaspekten eine wesentliche Bedeutung zu, sollen sich Infrastrukturen ohne Verzug und ohne qualitative Einbussen weiterentwickeln lassen.

Aus diesem Grund hatte der Bundesrat am 4. März 2008 das Postulat Rechsteiner angenommen und einen technischen Expertenbericht in Auftrag gegeben. Am 21. Juni 2017 hat er den zusammenfassenden Postulatsbericht 08.3017 Rechsteiner „Multifunktionale Nationalstrassen zur Entlastung der Landschaft“ [1] verabschiedet. Dieser hält fest, dass die Bündelung aus bautechnischer Sicht realisierbar sei, dass sie allerdings in der Regel als kostspielig und in Bezug auf die Koordination als schwierige Aufgabe gilt. Es wird darin auch festgestellt, dass das Prinzip der Bündelung von Infrastrukturen mit den Zielen und Planungsgrundsätzen des Raumplanungsgesetzes (RPG) übereinstimmt und auch in den meisten Sachplänen des Bundes enthalten ist. Trotzdem wurde diesem Prinzip bei der Bündelung von Übertragungsleitungen mit Nationalstrassen und Eisenbahnstrecken erst in wenigen Fällen Rechnung getragen. Daneben stellen sich auch konkrete Fragen zu den Randbedingungen und Anforderungen, wie sich ein solches Vorhaben realisieren lässt.

Beispiele, in welchen die Bündelung der Sektoren Strasse oder Bahn mit Strom bereits in die Realität umgesetzt wurden, gibt es erst wenige, insbesondere was die Höchstspannungsebene 380/220 kV betrifft. Die wenigen in der Schweiz oder im nahen Ausland betriebenen Anlagen betreffen hauptsächlich die tiefere Netzebene ^{3 2}. Im Jahr 2001 wurde eine kurze Teilverkabelung der mit der Nationalstrasse A1 gebündelten 220 kV-Freileitung unter dem Palexpo-Gebäude hindurch in der GIL-Technologie in Betrieb genommen (zu GIL siehe Kapitel 3.3.2). Im Ausland sind es jüngst lange, länderübergreifende Kabelverbindungen auf der Basis der Gleichstromtechnologie, welche auf einzelnen Abschnitten mit Eisenbahnstrecken, Nationalstrassen oder auch untergeordneten Nebenstrassen gebündelt werden.^{4 5} Die Pyrenäen bzw. die Alpen werden dabei im ersten Fall in einem parallel zum Perthus-Eisenbahntunnel erstellten Kabelstollen, im anderen Fall in einem Werkleitungskanal innerhalb eines neu gebauten Autobahntunnels (Fréjus-Tunnel) unterquert.

² 60 kV-Kabelanlage durch den San Bernardino-Tunnel (Schweiz)

³ 110 kV-Kabelanlage durch den Pfändertunnel (Österreich)

⁴ Electrical interconnection Frankreich/Spanien zwischen Baixas - Santa Llogaia, 65 km, 2015 in Betrieb genommen

⁵ Electrical interconnection Italien/Frankreich (Piemonte-Savoia Projekt), 190 km, Inbetriebnahme ca. Ende 2019



Anders als beim 50 Hertz-Übertragungsnetz ist die Bündelung auf dem Schweizer Schienennetz mit Kabellösungen des 16.7 Hertz-Bahnstrom-Übertragungsnetzes 132 kV bereits verbreitete Praxis. In Betrieb befinden sich entsprechende Anlagen im Lötschberg-Basistunnel und im Simplontunnel. Baulich vorbereitet sind die Kabelrohrblöcke im Zimmerberg-Basistunnel I und im Gotthard-Basistunnel. Sie wurden aber bis heute nicht bestückt. Beim Albulatunnel II der Rhätischen Bahn ist der Einzug von Kabeln des Bahnstrom-Übertragungsnetzes 66 kV nach der Fertigstellung des Tunnels vorgesehen. Solange im Bahnstromnetz jedoch die Resonanzproblematik besteht, ist die Bahnstromversorgung in der Schweiz auf eine klare Begrenzung des Kabelanteils angewiesen. In der Folge sind weitergehende Verkabelungen des 16.7 Bahnstromnetzes nicht umsetzbar [2].

Aktuell wird das Bündelungspotential bei einzelnen Projekten vertieft untersucht. Bei der Planung der 2. Röhre des Gotthard-Strassentunnels durch das Bundesamt für Strassen (ASTRA) wird dessen multifunktionale Nutzung geprüft. Der Einbau eines zusätzlichen Werkleitungskanals (WELK) unterhalb der Fahrbahn bietet die Möglichkeit für eine Nutzung durch Höchstspannungskabel, wie z.B. zwei 380 kV-Kabelstränge. Weiter werden derzeit Vorabklärungen für eine Realisierung eines neuen Eisenbahntunnels am Grimsel getätigt, durch welchen auch eine Stromleitung gelegt werden soll. Diese Planung sieht vor, ein gemeinsames Tunnelsystem für eine Schmalspurbahn zwischen Meiringen und Oberwald und für eine 380 kV-Höchstspannungsleitung zu realisieren⁶. Beim Uetlibergtunnel und im anschliessenden Bereich der Verzweigung Zürich-Süd wurden Kabelblöcke und Muffenschächte gebaut, die es erlauben sollen, künftig den 380/220 kV-Leitungszug Wollishofen - Waldegg aufzunehmen. Der Kabelkorridor wurde gemäss Bundesratsbeschluss vom 18. Dezember 2015 im Sachplan Übertragungsleitungen (SÜL) festgesetzt.

Nebst dem grossen Potential bei Neubauten besteht mittelfristig Potential zur Bündelung der Infrastrukturen bei umfangreichen Unterhaltsarbeiten (Gesamtsanierungen) oder Anpassungen von bestehenden Infrastrukturanlagen. Ob aus geographischer und zeitlicher Sicht Synergien für die Bündelung von Infrastrukturen vorhanden ist und wie solche Synergien rechtzeitig erkannt werden können, wird seit 2018 in der «Arbeitsgruppe geographische Potenziale Bündelung» des Bundesamts für Raumentwicklung (ARE) untersucht. Die technischen, finanziellen und umweltrechtlichen Aspekte sollen bei dieser ersten Synergieprüfung allerdings noch nicht analysiert werden.

Zur Klärung verfahrensrechtlicher Fragen im Bewilligungsprozess bei der Bündelung von Übertragungsleitungen mit Nationalstrassen und Eisenbahnstrecken wurde eine UVEK-interne Arbeitsgruppe gebildet. Diese hat sich einerseits mit der Sachplanung und den damit zusammenhängenden Prozessen befasst und andererseits mit den verfahrensrechtlichen Fragen im Zusammenhang mit der Genehmigung von Bündelungsvorhaben, die in einem bundesrechtlichen Plangenehmigungsverfahren bewilligt werden. Die Arbeiten der UVEK-internen Arbeitsgruppe wurden in der Beilage 1 «Verfahrensrechtliche Fragen bei der Bewilligung von multifunktionalen Infrastrukturen» dokumentiert.

⁶ Das Projekt «Grimseltunnel» ist nicht Bestandteil des Ausbaus Schritts 2035 des strategischen Entwicklungsprogramms Eisenbahninfrastruktur (Botschaft BBI 2018 7321 ff.).



2.2 Gesetzliche Grundlagen

Gestützt auf Art. 1 und 3 des Bundesgesetzes über die Raumplanung (RPG; SR 700) haben die Behörden bei der Planung raumwirksamer Tätigkeiten gemäss Artikel 2 Absatz 1 Buchstabe d der Raumplanungsverordnung (RPV; SR 700.1) insbesondere zu prüfen, welche Möglichkeiten bestehen, den Boden haushälterisch und umweltschonend zu nutzen sowie die Siedlungsordnung zu verbessern. Die Möglichkeit für eine Bündelung und/oder eine multifunktionale Nutzung von Infrastrukturen ist bei der Planung daher grundsätzlich zu prüfen.

Gemäss dem Bericht «Verfahrensrechtliche Fragen bei der Bewilligung von multifunktionalen Infrastrukturen» (siehe Beilage 1) wird diese Prüfpflicht bei der Planung aus dem Raumplanungsrecht nicht durch direkte Bestimmungen in den Fachgesetzgebungen ergänzt. Eine direkte gesetzliche Verpflichtung für die Infrastrukturbetreiber, ihre Infrastruktur mit anderen Infrastrukturen tatsächlich zu bündeln bzw. entsprechende Projekte zu entwickeln, gibt es somit nicht. Faktisch kann die Behörde für die Plangenehmigung ein nicht gebündeltes aber ansonsten rechtskonformes Vorhaben kaum je abweisen.

2.3 Sachplanung

Auf Bundesebene werden die sachbereichsspezifischen Tätigkeiten im Rahmen der Sachplanungen vorgenommen. Der Bund zeigt in seinen Sachplänen, wie er seine raumwirksamen Aufgaben in einem bestimmten Sach- oder Themenbereich wahrnimmt, welche Ziele er verfolgt und unter Berücksichtigung welcher Anforderungen und Vorgaben er zu handeln gedenkt. Für das Thema der Bündelung sind die folgenden Sachpläne relevant:

- Sachplan Verkehr, Teil Infrastruktur Strasse (SIN)
- Sachplan Verkehr, Teil Infrastruktur Schiene (SIS)
- Sachplan Übertragungsleitungen (SÜL)

Die Rahmenbedingungen im Zusammenhang mit der Sachplanung werden im Kapitel 4 des ob genannten Berichtes detailliert erörtert.

2.4 Plangenehmigungsverfahren

Bei Bündelungsprojekten führt gemäss dem Bericht «Verfahrensrechtliche Fragen bei der Bewilligung von multifunktionalen Infrastrukturen» immer die Leitbehörde, die für die Genehmigung der Trägerinfrastruktur (Eisenbahn oder Nationalstrasse) zuständig ist, das Plangenehmigungsverfahren für das Gesamtprojekt (Trägerinfrastruktur und Übertragungsleitung) durch. Leitbehörde ist daher entweder das UVEK oder das BAV. Aus Sicht der UVEK-internen Arbeitsgruppe gibt es keine Fälle, in denen das ESTI oder das BFE ein gebündeltes Projekt genehmigen. Das ESTI bzw. das BFE als Leitbehörden für die Plangenehmigung von elektrischen Anlagen werden bei solchen Bündelungsvorhaben lediglich als Fachbehörden anzuhören sein. Auch dann, wenn man von Anfang an weiss, dass beide Infrastrukturen gemeinsam realisiert werden sollen, kommt es immer wieder vor, dass die Planung von gewissen Projektteilen erst nach Einreichung des Plangenehmigungsgesuches abgeschlossen werden kann. In gewissen Fällen kann es zweckmässig sein, eine stufenweise bzw. sequentielle Genehmigungspraxis bei Bündelungsprojekten anzuwenden. In solchen Fällen können in einer «Hauptverfügung» alle



Grundsatzfragen geklärt und das Gesamtprojekt genehmigt werden. Verfeinerungen des Projektes, welche im Vergleich zum genehmigten Hauptprojekt in der Regel keine zusätzlichen Auswirkungen auf Dritte haben, können sodann in einem zeitlich nachgelagerten Verfahren (Detailprojekt) geprüft und bewilligt werden. Die Detailprojekte werden in der Regel in einem vereinfachten Verfahren genehmigt. Diese sequenzielle Genehmigungspraxis ist gestützt auf die aktuellen gesetzlichen Bestimmungen heute schon möglich. Zentral ist dabei die Frage, welche Punkte bereits im Hauptverfahren berücksichtigt werden müssen. Aus rechtlicher Sicht ist festzuhalten, dass alle Drittauswirkungen, welche eine gebündelte Infrastruktur mit sich bringt, bereits im Hauptverfahren geklärt werden müssen. Dies ist wichtig, damit allen Betroffenen das rechtliche Gehör gewährt werden kann. Zudem müssen vorab die grundlegenden Anforderungen, die sich auf die bautechnische Ausführung der Verkehrsinfrastruktur und deren Betrieb auswirken, bei der Einreichung des Plangenehmigungsgesuches für das Hauptwerk bereits im Rahmen einer Machbarkeitsstudie geklärt sein. Dies betrifft insbesondere Fragen der Umweltverträglichkeit (nichtionisierende Strahlung) wie auch technische Abhängigkeiten der gebündelten Infrastrukturen bei der Erstellung (Klärung der Voraussetzungen für den nachträglichen Kabeleinzug wie z.B. der Sicherstellung des Abtransports der entstehenden Verlustwärme von Stromleitungen), beim Betrieb (z.B. Sicherheit im Ereignisfall) und beim Unterhalt (z.B. Zugänglichkeit der Anlageteile für Unterhalt).

Wenn ein Bündelungsprojekt gesamthaft genehmigt wird, stellt sich auch die Frage nach der Geltungsdauer von verschiedenen Plangenehmigungen nicht (da nur eine Hauptverfügung erlassen wird). Im Weiteren wird auf den Bericht der Arbeitsgruppe Recht verwiesen. Abschliessend kann festgehalten werden, dass die bestehenden verfahrensrechtlichen Bestimmungen genügen, um Bündelungsprojekte im konzentrierten Entscheidverfahren genehmigen zu können.

2.5 Begrifflichkeiten

Bündelung von Infrastrukturen: Unter Bündelung wird in dieser Studie eine räumliche Nähe von mehreren Verkehrs- oder Energieübertragungsinfrastrukturen verstanden.

Multifunktionale Nutzung von Verkehrsinfrastrukturen: Unter einer multifunktionalen Nutzung von Verkehrsinfrastrukturen wird in dieser Studie die Mehrfachnutzung des Nationalstrassen- oder Eisenbahnareals verstanden, d.h. dass das Verkehrsareal mindestens eine weitere Infrastruktur umfasst («Sonderfall einer Bündelung»).

Trägerinfrastruktur: Mit Trägerinfrastruktur ist die primär geplante bzw. erstellte Infrastruktur gemeint. In der Regel handelt es sich dabei um die Verkehrsinfrastruktur, also die Strassen- oder Eisenbahninfrastruktur.



3 Infrastrukturen und mögliche Bündelungsanordnungen

3.1 Eigentumsverhältnisse

Bei einer Bündelung sind in der Regel die Strasse oder die Bahn als Trägerinfrastruktur und die Kabelanlage als Sekundärinfrastruktur zu betrachten (Strom als Mitbenutzer). Dies gilt insbesondere dann, wenn die Strasse oder die Bahn bereits vor dem Bündelungsvorhaben Bestand hatte. Die Trägerinfrastruktur ist dabei in der Regel im Eigentum des Bundes oder eines Eisenbahnunternehmens (siehe nachfolgendes Kapitel). Die nationale Netzgesellschaft Swisgrid strebt kein Eigentum bei der Trägerinfrastruktur an. Eine Mitbenutzung ist ihr genügend.

3.2 Trägerinfrastrukturen

Strasse

Unter dem Begriff «Strasse» wurden in der vorliegenden Studie Hochleistungsstrassen des Bundes betrachtet, welche dem Motorfahrzeugverkehr vorbehalten sind, der Überwindung grösserer Fahrdistanzen dienen und eine hohe Transportleistung ermöglichen. Hinsichtlich des Ausbaugrades und der Gestaltung von Hochleistungsstrassen wird unterschieden:

- Autobahnen: Hochleistungsstrassen mit baulicher Richtungstrennung, mindestens 4-streifig
- Autostrassen: Hochleistungsstrassen ohne bauliche Richtungstrennung, mindestens 2-streifig

Die Nationalstrassen werden in drei Klassen unterschieden (nach Art. 1ff. NSG):

- Nationalstrassen 1. Klasse: ausschliesslich für Motorfahrzeuge, nur an besonderen Anschlussstellen zugänglich, bauliche Richtungstrennung, nicht höhengleich gekreuzt.
- Nationalstrassen 2. Klasse: ausschliesslich für Motorfahrzeuge, nur an besonderen Anschlussstellen zugänglich, i.d.R. nicht höhengleich gekreuzt.
- Nationalstrassen 3. Klasse sind die übrigen, allen Strassenbenutzern zugänglichen Strassen des Bundes. Diese werden hier nicht betrachtet.

Die Hochleistungsstrassen des Bundes werden somit in Nationalstrassen 1. und 2. Klasse unterteilt. Autostrassen sind immer Nationalstrassen 2. Klasse.

Mit Ausnahme der A9 Visp – Sierre und einigen weiteren, kürzeren Abschnitten ist das Nationalstrassennetz beinahe fertiggestellt. Allerdings sind verschiedene umfangreiche Ausbauten und Sanierungen (Fachbegriff: Erhaltung) vorgesehen, die künftig gegebenenfalls ein Potential für Bündelungen mit Übertragungsleitungen eröffnen. Darunter fallen offene Strecken wie auch Brückenbauwerke und Tunnels. Ein konkretes Beispiel hierzu ist die 2. Röhre des Gotthard-Strassentunnels. Ebenso werden Sicherheitsstollen (oder auch Flucht- und Rettungsstollen genannt) zur Erhöhung der Tunnelsicherheit gebaut.



Bahn

Unter dem Begriff «Bahn» wurden Normal- und Schmalspurbahnen betrachtet, deren Finanzierung des Unterhalts, des Substanzerhalts sowie des künftigen Ausbaus der Eisenbahninfrastruktur über den Bahninfrastrukturfonds erfolgt. Darunter fallen die Infrastrukturen von 39 Eisenbahnunternehmen, welchen neben der SBB Infrastruktur auch Privatbahnen angehören.

Die Bahninfrastruktur wird im Rahmen eines strategischen Entwicklungsprogramms schrittweise ausgebaut. Allerdings wird sich die Linienführung des Eisenbahnnetzes nicht mehr erheblich verändern. Vorgesehen sind primär Ausbauten der bestehenden Linien⁷. Ausnahmen sind weitere Tunnelverbindungen im Mittelland, so der Brüttenertunnel, die Verlängerung des Zimmerbergtunnel II und in Zukunft möglicherweise eine Direktverbindung zwischen Aarau und Zürich. Der Verein «Interessengemeinschaft Grimselbahn» fördert und unterstützt die Realisierung einer neuen Schmalspur-Bahn zwischen Meiringen und Oberwald. Für den Ausbau wird vermehrt in den Substanzerhalt (Sanierungen) investiert, was bei Bahntunnels aber kaum das Bündelungspotential erhöht, da der Tunnelquerschnitt nur geringfügig verändert wird.

In mittel- bis langfristiger Sicht soll ein unterirdisches Güterverkehrssystem namens Cargo sous terrain (CST) realisiert werden, welches sich künftig als weitere Trägerinfrastruktur anbietet. CST plant einen stufenweisen Ausbau der Infrastruktur auf der Ost-West-Achse (Genf – St. Gallen) und bietet in ihrer Gütertransportanlage auch die Möglichkeit für Nebennutzungen wie z.B. Strom- und Telekommunikationsinfrastrukturen an, was für Bündelungspotentiale genutzt werden könnte. Der Bundesrat [3] beabsichtigt eine Vernehmlassung zu CST durchzuführen. Für die vorliegende Studie wird diese neuartige Trägerinfrastruktur jedoch ausgeklammert.

3.3 Strominfrastruktur

3.3.1 Netzebenen

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde die Bündelung der Infrastrukturen mit Leitungen der Netzebene 1 (NE 1) des Übertragungsnetzes 380/220 kV der nationalen Netzgesellschaft Swissgrid betrachtet. Die Aussagen und Folgerungen der Studie gelten gemäss Aufgabenstellung (vgl. Kapitel 1.1) nur für die NE 1. Es ist darüber hinaus denkbar, dass verschiedene Aussagen und Folgerungen der Studie auch für die Netzebenen 3 (NE 3) und 5 (NE 5) angewendet werden können und entsprechende Gültigkeit haben. Dies muss jedoch im Einzelfall geprüft werden (siehe auch Kapitel 6.3).

Das überregionale Verteilnetz NE 3 wird in der Schweiz von verschiedenen Netzbetreibern (z.B. Axpo, BKW, CKW usw.) geplant, gebaut unterhalten und betrieben. Historisch gewachsen werden die Netze der NE 3 mit unterschiedlichen Spannungen betrieben, z.B. Axpo 50/110 kV, BKW 132 kV, einige Netze auch mit 150 oder 65 kV. Die regionalen Verteilnetze der NE 5 werden durch die regionalen Netzbetreiber/Kantonswerke betrieben, z.B. AEW 16 kV, BKW 16 kV einige Netze auch mit 20 kV.

Im Unterschied zu Stromleitungen der NE 1 unterliegen die Stromleitungen der NE 3 und der NE 5 keiner Sachplanpflicht. Diese Leitungen werden direkt im Plangenehmigungsverfahren bewilligt. Dabei hat die Leitbehörde zu prüfen, ob bei der Erarbeitung der Leitungsbauvorhaben den raumplanerischen

⁷ Siehe Botschaft vom 31. Oktober 2018 zum Bundesbeschluss über den Ausbauschritt 2035 für die Eisenbahninfrastruktur



Grundsätzen und Zielen Rechnung getragen wurde und ob eine ausreichende Variantenprüfung, wozu auch die Prüfung von Bündelungsmöglichkeiten gehört, erfolgt ist. Es ist daher wichtig, dass eine Bündelung mit anderen Infrastrukturen, sofern dafür im konkreten Fall ein gewisses Potential erkennbar ist, auch bei der Planung von Vorhaben der NE 3 und der NE 5 geprüft wird. Die entsprechenden Abklärungen sind im Auflageprojekt zu dokumentieren. Damit kann sichergestellt werden, dass ein Verfahren nicht aufgrund von fehlenden Informationen bzw. von zusätzlich benötigten Abklärungen verzögert wird.

Technisch gesehen ist eine Bündelung mit Stromleitungen der NE3 und NE5 sehr viel einfacher zu realisieren als mit der NE1. Sofern Leitungen der NE 3 und der NE 5 mit einer Trägerinfrastruktur gebündelt werden sollen, die in die kantonale oder kommunale Zuständigkeit fällt⁸, müssen jedoch die entsprechenden kantonalen bzw. kommunalen Bewilligungsverfahren mit dem bundesrechtlichen Plan-genehmigungsverfahren koordiniert werden. Dieser Abstimmungsprozess zwischen den Behörden hat einzelfallweise zu erfolgen und kann u.U. aufwändig sein.

3.3.2 Betrachtete Leitungstypen

VPE-Kabeltechnologie: Der Studie wird die Technologie der VPE-Kabel⁹ zu Grunde gelegt. Es gibt mehrere Hersteller, die solche Hochspannungskabel bis 500 kV herstellen und eine Vielzahl von Kabeltypen, die hinsichtlich Kabelaufbau und Materialien (Leiter, Isolation, Schirm, Mantel) variieren. Ein wesentliches Merkmal ist die Wahl des Leitermaterials, ob Kupfer oder Aluminium. Aber auch für den Mantelaufbau werden je nach erforderlicher Spezifikation verschiedene Lösungen angeboten. Kabel für 500 kV weisen einen Kabeldurchmesser bis ca. 150 mm auf. Für die Verlegung in Kabelrohrblöcken sind Kabelschutzrohre von 250 mm im Durchmesser erforderlich. Muffenverbindungen weisen einen Durchmesser von 400 – 500 mm und eine Länge von ca. 3 Meter auf.

Normalerweise werden pro Strang drei Kabel installiert (dazu allenfalls ein Reservekabel, welches im Schadensfall zugeschaltet werden kann). Für höhere Kapazitäten werden auch zwei Kabel je Phase verlegt, was bei zwei Strängen eine Gesamtzahl von 12 Kabeln ergibt, zusätzliche Reservekabel dabei nicht mitgerechnet¹⁰.

GIL-Technologie: Diese Technologie, bei welcher ein einzelnes Mantelrohr pro Phase im Durchmesser bis 600 mm Platz benötigt, stand nicht im Fokus der Studie. Mit den neusten Anstrengungen in Richtung Clean Air - an Stelle des klimaschädlichen Gasgemisches (N₂/SF₆) - wird der Rohrdurchmesser mit ca. 720 mm noch weiter zunehmen. Anwendungen mit Kabelrohrblöcken sind somit nicht möglich. Der Einsatzfall beschränkt sich auf wenige Anordnungsmöglichkeiten, wie Anordnung A (Strasse), ev. Anordnung D, wenn der Stollen gross genug ist. Die Dimension eines WELK / SiSto müsste speziell auf den Rohrdurchmesser ausgerichtet werden und hätte eine deutliche Vergrösserung des Tunnelquerschnittes mit entsprechenden Mehrkosten zur Folge.

Supraleiter-Technologie: Ein Hochtemperatur-Supraleiter-Kabel (HTSL) kann bei gleichem Durchmesser rund fünfmal so viel Strom transportieren wie ein vergleichbares Kupferkabel. Ist das Kabelmaterial über die spezifische Sprungtemperatur heruntergekühlt, so wird es schlagartig supraleitend und zum

⁸ z.B. kantonale Hochleistungsstrassen

⁹ VPE = vernetztes Polyethylen, XLPE = englische Bezeichnung (cross-linked polyethylene)

¹⁰ Bei den Bildsymbolen und Piktogrammen in diesem Bericht werden vereinfachend nur drei Kabel dargestellt.



idealen Leiter. Dazu werden keine externen elektromagnetische Felder erzeugt. Mit der heutigen Entwicklung wurde erreicht, dass ein Kabelmaterial schon bei relativ hohen minus 180 °C supraleitend wird und dass ein günstiger flüssiger Stickstoff zur Kühlung ausreicht. Die breite Anwendung von HTSL-Kabeln hängt jedoch davon ab, inwieweit es gelingen wird, das Preis-Leistungs-Verhältnis der HTSL-Leitermaterialien weiter zu verbessern, d.h. die Kabelherstellung, die Kosten und die Zuverlässigkeit der Kühltechnik zu optimieren. Dazu ist die Verkabelungslänge noch sehr beschränkt. Eine erste Teststrecke gibt es für ein 3-Phasen-Niederspannungskabel¹¹. Der Einsatz von HTSL-Kabeln für 380 kV wird zurzeit noch erforscht¹². Diese noch nicht ausgereifte Technologie stand nicht im Fokus der Studie.

Die nachfolgenden Aussagen in der UVEK-Studie beziehen sich ausschliesslich auf die VPE-Kablechnologie zur Stromübertragung.

3.4 Bündelungsanordnungen im Bauwerksprofil

Die Anordnungsmöglichkeit bei einer Bündelung ist vom Bauwerkstyp und von der Lage im Bauwerk abhängig und ist deshalb differenziert zu betrachten. Die nachfolgende Tabelle 1 vermittelt eine Übersicht über die möglichen Anordnungen, die als Lösungsmöglichkeiten identifiziert und im Rahmen dieser Studie geprüft wurden. Vier dieser Anordnungen beziehen sich auf die Bündelung mit Tunnelbauwerken (Anordnungen A – D), zwei auf diejenigen bei offenen Streckenführungen (Anordnungen E und F) und eine auf die Spezialsituation der Bündelung auf Brücken (Anordnung G). Damit sind alle möglichen Bündelungen abgedeckt.

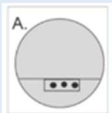
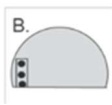
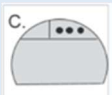
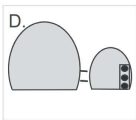
Vom Prinzip her handelt es sich bei allen Anordnungen um multifunktionale Nutzungen. Bei den Anordnungen D und F sind jedoch auch Parallelführungen möglich, ohne dass das Nationalstrassen- oder Eisenbahnareal mitbenutzt werden muss. Bei der Anordnung F müssten dazu die angrenzenden Grundstücke erworben oder mit einer Dienstbarkeit versehen werden.

Ein wichtiges Merkmal der Bündelung ist, ob sich die Stromtrasse vom Verkehr räumlich getrennt verlegen lässt oder nicht. Die räumliche Trennung bedeutet, dass der Zugang zur Stromtrasse (bzw. zu den Schächten) jederzeit unabhängig vom Verkehr erfolgen kann, weil sie sich – wie bei Tunnels – in einem anderen Hohlraum befindet oder – wie bei offenen Strecken – in einem danebenliegenden, separat erschlossenen Korridor untergebracht ist. Wenn die Stromtrasse in der Fahrbahn oder in der Böschung Muffen- oder Kabelzugschächte aufweist, die nur von der oder über die Trägerinfrastruktur erreicht werden können, liegt keine räumliche Trennung vor. Für die Abgrenzung der beiden Anordnungen E und F auf offener Strecke wird auf den Anhang 2 verwiesen.

¹¹ Projekt „AmpaCity“ in Essen, 1 km Länge, Karlsruher Institut für Technologie (KIT) u.a.

¹² Forschungsprojekt ENSURE, Karlsruher Institut für Technologie (KIT) u.a.

Tabelle 1: Bauliche Anordnungsmöglichkeiten für Bündelungsvorhaben von Übertragungsleitungen mit Nationalstrassen und Eisenbahnstrecken

Querschnitt		Integration der Kabelanlage	Merkmal
Anordnung A	Tunnel 	Varianten: — Kabel offen verlegt in begehbarem Kanal (WELK) — Kabelrohrblock unter der Fahrbahn	— Verkehr und Stromtrasse räumlich getrennt — Verkehr und Stromtrasse <u>nicht</u> räumlich getrennt
Anordnung B	Tunnel 	Varianten: — Kabelrohrblock im Bankett	— Verkehr und Stromtrasse <u>nicht</u> räumlich getrennt
Anordnung C	Tunnel 	Varianten: — Kabel offen verlegt in begehbarem Lüftungskanal — Kabel(-rohrblock) am Gewölbe	— Verkehr und Stromtrasse <u>nicht</u> räumlich getrennt, da Lüftungskanal unter Verkehrsbetrieb nicht begangen werden kann — Verkehr und Stromtrasse <u>nicht</u> räumlich getrennt
Anordnung D	Tunnel 	Varianten: — Kabel offen verlegt im Stollen (Sicherheitsstollen) — Kabelrohrblock unter der Sohle im Stollen (Sicherheitsstollen)	— Verkehr und Stromtrasse räumlich getrennt
Anordnung E	Offene Strecke 	Varianten: — Kabelrohrblock unter der Fahrbahn oder dem Pannestreifen¹³	— Verkehr und Stromtrasse <u>nicht</u> räumlich getrennt¹⁴

¹³ Fahrbahn umfasst neben den Fahrstreifen auch den Pannestreifen und somit die gesamte Fläche strassenseitig des Fahrzeugrückhaltesystems (Leitschranke).

¹⁴ Räumlich nur dann getrennt, wenn sich die Muffen- und Kabelzugschächte ausserhalb des Nationalstrassen- / Eisenbahnareals befinden und von einer unabhängigen Unterhaltsstrasse oder einem Flurweg erschlossen werden.

Querschnitt		Integration der Kabelanlage	Merkmal
Anordnung F	Offene Strecke 	Varianten: — Kabelrohrblock ausserhalb Fahrbahnen und Pannestreifen (bei der Strasse) bzw. Fahrleitungsanlage (bei der Bahn)	— Verkehr und Stromtrasse <u>nicht</u> räumlich getrennt ¹⁴
Anordnung G	Brücken 	Varianten: — Kabel offen verlegt innerhalb Brückenhohlkasten oder an Brückenträgern — Kabel offen verlegt an Brückenplatte	— Verkehr und Stromtrasse räumlich getrennt

3.5 Relevante / nicht-relevante Anordnungen

Anhand einer umfangreichen Recherche zu vergleichbaren Vorhaben im In- und Ausland wurden die Rahmenbedingungen und das Umfeld (Zugänglichkeit, Nutzraum, Randbedingungen, Schutz der Verkehrsteilnehmer, Arbeitssicherheit, gegenseitige Beeinflussung und Risikoveränderung) für die verschiedenen Anordnungen untersucht sowie welche der sieben identifizierten Anordnungen bisher realisiert wurden und wie hoch deren Relevanz für die Aufgabenstellung ist. Wie in Kapitel 2.1 dargelegt, lassen sich bis heute nicht viele ausgeführte Beispiele heranziehen. Überlegungen zur prinzipiellen Eignung und zum möglichen Realisierungszeitpunkt ergänzten darum die Recherche und führten zu einer ersten Bewertung, welche der Anordnungen in der Studie weiter zu verfolgen sind. Es zeigte sich dabei:

- Nicht alle Anordnungen weisen dieselben Voraussetzungen für eine Bündelung auf.
- Bei einer in Betrieb stehenden Trägerinfrastruktur ist die nachträgliche Bündelung, sofern die Infrastruktur nicht schon baulich vorbereitet ist, mit wenigen Ausnahmen kaum mehr möglich.
- Die Infrastruktur Nationalstrasse bietet die besseren Voraussetzungen zur Bündelung als die Infrastruktur Eisenbahn.

Die Tabelle 2 auf der Seite 30 zeigt im Überblick, welche Anordnungen für Bündelungsvorhaben eine relevante Bedeutung aufweisen und welche im Rahmen der Studie weiterverfolgt wurden. Folgende Beurteilungen führten zu dieser Einschätzung:

Tunnel, Anordnung A:



- Strasse: In langen Strassentunneln ist sie von essentieller Bedeutung zur Ausschöpfung des Bündelungspotentials. Die Kabelanlage lässt sich dabei auf folgende Arten anordnen (siehe Abbildung 1):
 - In einem begehbaren Werkleitungskanal (WELK) unter dem Fahrraum: Die Muffenverbindungen befinden sich offen im WELK.
 - In einem Kabelrohrblock direkt unter der Fahrbahn: Die Muffenverbindungen sind in Muffenschächten am Boden unterzubringen.
 - In einem Kabelrohrblock seitlich zu einem WELK: Die Muffenverbindungen befinden sich innerhalb des WELK in seitlichen Nischen.

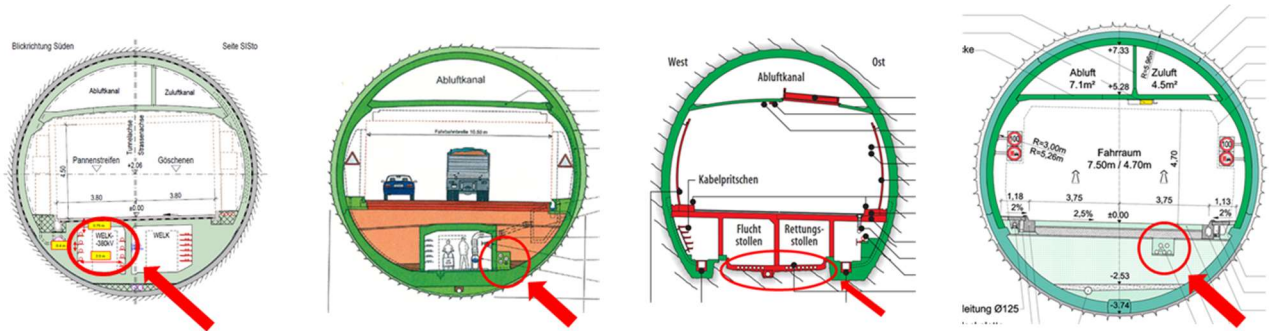


Abbildung 1: Darstellung von Varianten für den Anordnungsfall A, Strasse (von links nach rechts): 2. Röhre Gotthard-Strassentunnel, Uetlibergtunnel, San Bernardino-Tunnel, Pfändertunnel

- Bahn: Sie hat eine sehr geringe Relevanz für Bündelungsvorhaben, weil:
 - der Tunnelquerschnitt bei Bahntunnels besser ausgenutzt ist als bei den Strassentunneln. Es gibt dadurch weniger Platz für Drittnutzungen.
 - Kabel direkt unter der Gleisfahrbahn nicht üblich sind (siehe dazu die Begründungen beim Punkt Anordnung E).

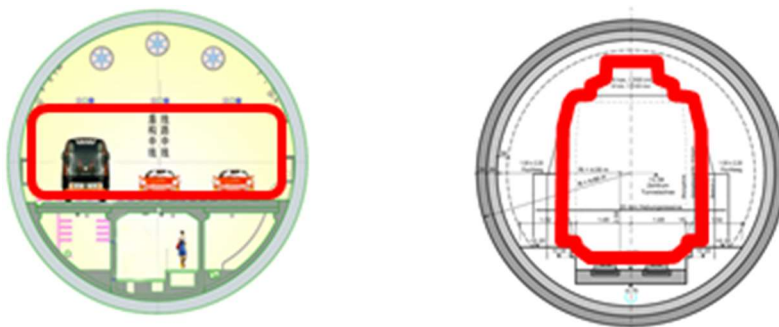


Abbildung 2: Vergleich zwischen Strasse und Bahn hinsichtlich Ausnutzung des Ausbruchprofils durch das Lichtraumprofil bei einem Kreisquerschnitt



Tunnel, Anordnung B:

- Strasse: Sie hat eine sehr geringe Relevanz für Bündelungsvorhaben. Die Gründe sind:
 - Bankette sind bei Strassentunnel verhältnismässig klein.
 - Kabelrohrblock wird für Energie- und Prozesskabel des Strassentunnels gebraucht. Es gibt dadurch keinen Platz für zusätzliche Übertragungsleitungen.
- Bahn: Das Bankett, das als seitlicher Abschluss des Gleiskörpers dient, kann auch zur Aufnahme von Kabel-Trassen genutzt werden. Dies wird längst für das 16.7 Hertz-Bahnstrom-Übertragungsnetz 132 kV genutzt.
 - In langen Bahntunnels ist diese Anordnung deshalb von essentieller Bedeutung zur Ausschöpfung des Bündelungspotentials. Grundlegend unterscheiden sich die Verlegungsmöglichkeiten darin, ob es sich um einen Tunnel mit Schotteroberbau (i.d.R. bei älteren Bahntunneln) oder mit fester Fahrbahn (i.d.R. bei neueren Tunneln) handelt, siehe Abbildung 3).
 - Schotteroberbau: Der Kabelrohrblock wird bei dieser Variante “schwimmend” zwischen dem Parament und dem Schotterbett verlegt: Die Muffenverbindungen sind in Tunnelnischen unterzubringen. Ein Ausführungsbeispiel ist die 132 kV-Bahnstromleitung im Simplontunnel.
 - Feste Fahrbahn: Als Kabelrohrblock dient bei dieser Variante das Bankett, das die feste Fahrbahn einfasst: Die Muffenverbindungen sind in Tunnelnischen unterzubringen. Ausführungsbeispiele sind die 132 kV-Bahnstromleitungen in Neubautunneln wie dem Lötschberg-Basistunnel, dem Zimmerberg-Basistunnel I (noch unbestückt) oder dem in Bau befindlichen Albulatunnel II.

Ist das Tunnelprofil kreisförmig, so ist die Querschnittsfläche des Banketts und damit der verfügbare Platz für die Unterbringung eines Kabelrohrblocks für Übertragungsleitungen vom Tunneldurchmesser abhängig (siehe Abbildung 4). Dieser wird vom Lichtraumprofil der Bahnanlage und von der Ausbaugeschwindigkeit, d.h. vom Querschnitt, der aus aerodynamischer Sicht gefordert ist, beeinflusst.

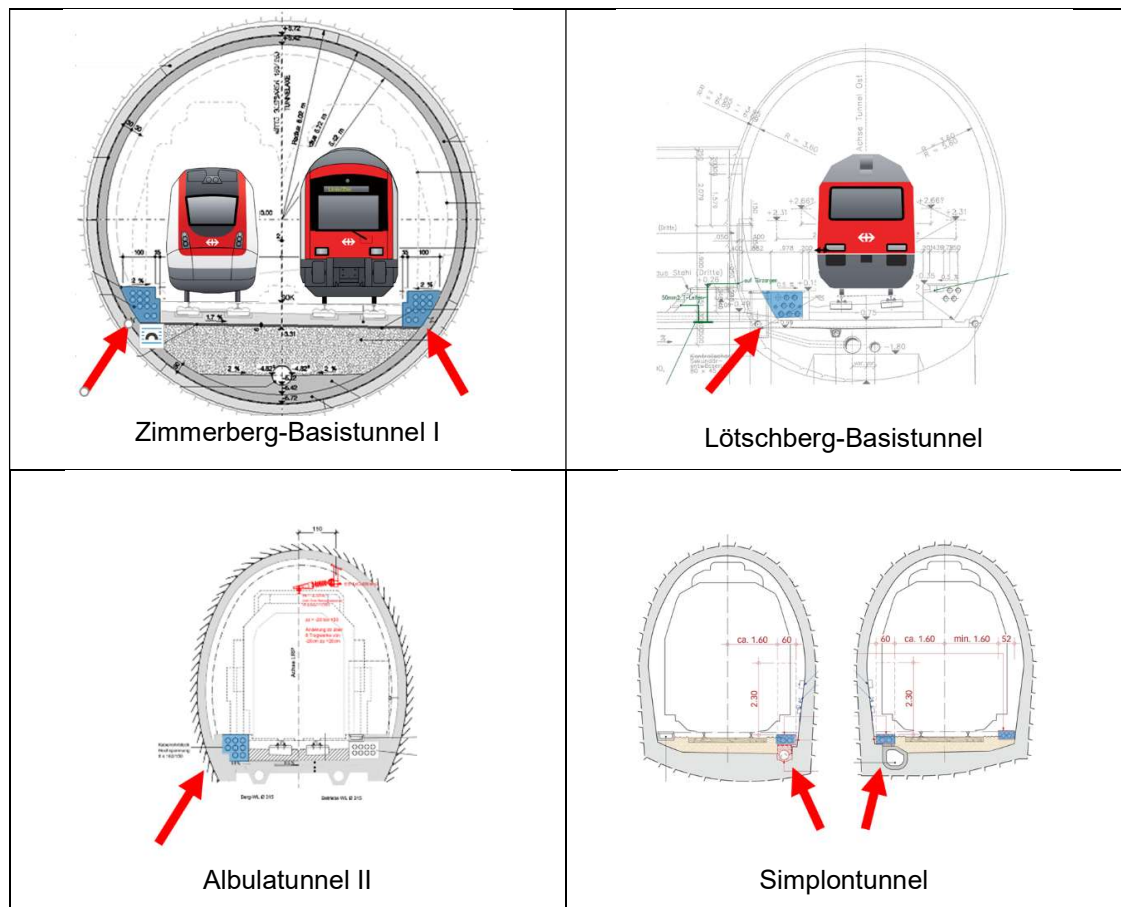


Abbildung 3: Bahntunnelprofile und Ausbildungsformen der Bahninfrastruktur (feste Fahrbahn: oben und unten links, Schotteroberbau unten rechts)

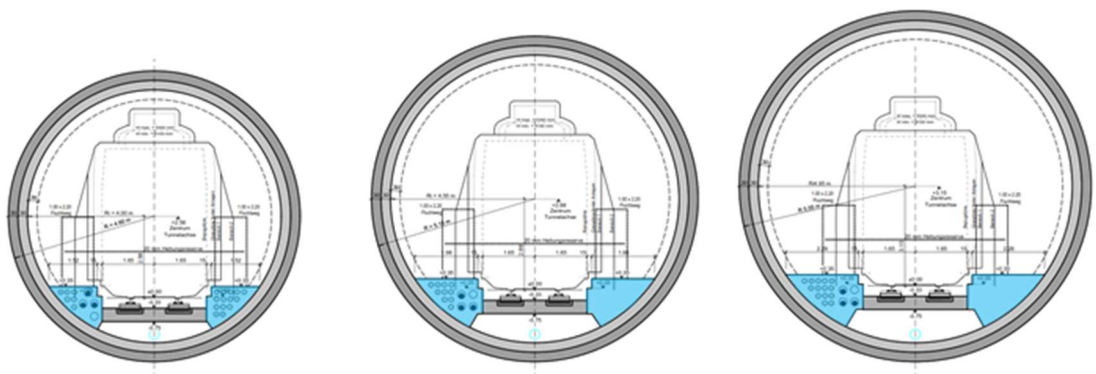


Abbildung 4: Darstellung Platzverhältnisse Anordnung B in Abhängigkeit von der Grösse des Tunnelprofils



Tunnel, Anordnung C:

- Strasse: Sie hat keine Relevanz für Bündelungsvorhaben:
 - Aufgrund folgender Sicherheitsbedenken:
 - Die Kabel sind auf Anprall von hohen Fahrzeugen exponiert.
 - Die Kabel sind im Brandfall direkt auf Feuer / Hitze exponiert.
 - Der Brandwiderstand von Zwischendecken ist im Brandfall begrenzt.
 - In Lüftungskanälen unter Spannung stehende Kabel sind ein grosses Gefahrenpotential im Brandfall.
 - In bestehenden Tunnels besteht i.d.R. keine Durchgängigkeit der Lüftungs- und Werkleitungskanäle durch die Tunnelzentralen.
 - Der Montageablauf ist erschwert: Dies führt zu kürzeren Kabeleinzugslängen.
 - Es sind bisher auch keine Praxisbeispiele bekannt.

Wenn sich ein Bündelungsvorhaben von Grund auf planen lässt, so steht mit der Anordnung A eine klar bessere Variante für das Unterbringen von Übertragungsleitungen zur Verfügung.

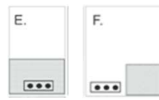
- Bahn: Sie hat keine Relevanz für Bündelungsvorhaben:
 - Zwischendecken sind bei Bahntunnels unrealistische Bauformen (unwirtschaftlich infolge des grossen Bedarfs an Mehrausbruch)
 - Aufgrund folgender Sicherheitsbedenken:
 - Die Kabel sind auf Anprall von Bahnfahrzeugen exponiert.
 - Die Kabel sind im Brandfall direkt exponiert.
 - Der Montageablauf ist erschwert: Dies führt zu kürzeren Kabeleinzugslängen.
 - Es sind bisher keine Praxisbeispiele bekannt.
 - Im übrigen dürfen in bestehenden Tunnels Hochspannungskabelleitungen nur am Gewölbe verlegt werden, sofern sie dem Eisenbahnbetrieb dienen (AB EBV, Art. 44b Ziff. 4)

Wenn sich ein Bündelungsvorhaben von Grund auf planen lässt, so steht mit der Anordnung B eine bessere Variante für das Unterbringen von Übertragungsleitungen zur Verfügung.

Tunnel, Anordnung D:



- Strasse / Bahn: Die Relevanz ist aus folgenden Gründen hoch:
 - Es ist ein Potential vorhanden, weil zur Erhöhung der Tunnelsicherheit viele bestehende Tunnel mit Sicherheitsstollen nachgerüstet werden müssen, dies v.a. bei Strassentunneln (z.B. wie derzeit bei den Autostrassen-Tunneln Sachseln, A8 Hergiswil - Spiez, Viamala, A13 Thusis - Bellinzona und demnächst beim Kerenzerbergtunnel, A3 Zürich - Sargans).
 - Die Nachrüstung erfolgt ohne nennenswerte Behinderung des Verkehrs und kann zu einem beliebigen Zeitpunkt umgesetzt werden.
 - Gegenüber einem reinen Leitungsstollen sind bei der Mitnutzung eines Sicherheitsstollens Synergien erkennbar, da die Tunnelbaueinrichtungen ohnehin für dessen Ausbruch vorhanden sind.
 - Der Ausbruchquerschnitt müsste gegenüber einem reinen Sicherheitsstollen vergrößert werden, wird aber gesamthaft immer noch kleiner sein, als wenn ein separater Leitungsstollen zu bauen wäre.
 - Von Nachteil ist einzig, dass aktuell eher kurze bis mittellange Tunnel von max. 5 km Länge nachzurüsten sind und dass die Anfangs- und Endpunkte vorgegeben sind. Teilweise handelt es sich um Tunnelketten, wie bei der A13 zwischen Thusis und Splügen. Dazwischen müssten in schwierigem Gelände Kabelstrecken nach Anordnung F oder gar Anordnung E eingebettet werden.



Offene Strecke, Anordnungen E/F:

- Strasse: Ist entlang von Nationalstrassen von essentieller Bedeutung für die Ausschöpfung des Bündelungspotentials. Die Anordnung ist hauptsächlich dort zweckmässig, wo auf langen Distanzen flache und unbebaute Verhältnisse vorliegen.
- Bahn: Bereits in [1] wurde gefolgert, dass sich Eisenbahnstrecken für eine Bündelung weniger gut eignen als Nationalstrassen. Dafür gibt es im Wesentlichen folgende Gründe:
 - Anordnung E: Bei der Bahn ist die Verlegung von Kabelleitungen längs unter dem Gleis ohne Einverständnis des Bahninfrastrukturbetreibers nicht möglich. Gemäss LeV Art 99 Abs. 4 müssen Kabelleitungen, die nicht dem Bahnbetrieb dienen, ausserhalb der Gleisanlage und den zugehörigen Leitungstragwerken für die Bahnstromversorgung verlegt werden. Einzig die Unterführung von Kabelleitungen ist durchführbar, wenn bei Gleisen auf unabhängigem Bahnkörper der Abstand zwischen der Kabelleitung und der Schienenunterkante mindestens 1.3 Meter beträgt (LeV, Art 103 Abs. 2).
 - Anordnung F: Auch neben dem Gleis ist es im gewöhnlich schmalen Eisenbahnareal¹⁵ schwierig, Platz für einen Kabelrohrblock in der Dimension einer Übertragungsleitung vorzufinden. Der knapp vorhandene Raum wird bereits für die Entwässerungsanlage und für bahneigene Kabelrohrblöcke gebraucht.

¹⁵ Die Breite des Gleiskörpers beträgt rund 4 Meter (einspurig) bis 10 Meter (doppelspurig). Die Breite des Eisenbahnareals variiert meist zwischen 8 und 20 Meter, letzteres hauptsächlich, wenn in Einschnitten oder auf einem Damm.



- Im städtischen Raum entstehen bei einem späteren Ausbau der Bahn grosse Platzprobleme.
- Die Leitungsführung im Bereich von Bahnhöfen ist äusserst anspruchsvoll (Perrons, Personenunterführungen usw.).
- Bestehende Bahndämme sind oft sehr steil ausgebildet, was eine Integration eines Kabelrohrblocks in den Damm erschwert und kostspielig macht.
- Bei bestehenden Infrastrukturen ist die Kabeltrasse nicht innerhalb der Interessenslinie SBB zu legen, um künftige Ausbauten zu ermöglichen (z.B. hinsichtlich zukünftiger / längerfristig geplanter Doppelspurausbauten).
- Ohne bahngestützte Logistik ist es auf Grund der dichten Besiedelung und der Topografie schwierig die Baustelle zu erschliessen.



Brückenbauwerke, Anordnung G:

- Strasse: Ist verknüpft mit der Anordnung E (Strasse):
 - Kommt regelmässig vor bei der Anordnung E (und ev. F), wenn die Strasse andere Verkehrsachsen oder ein Tal / Einschnitt überbrücken muss (falls kein alternatives Kabeltrasse zur Umgehung möglich ist).
 - Bedeutung auch für Stromleitungen der Netzebene 3 und 5 bei grossen Brücken über tiefe Bergtäler / Tobel hinweg.
- Bahn: Ist verknüpft mit der Anordnung E (Bahn):
 - Kommt vor bei der Anordnung E (und ev. F), wenn die Bahnlinie andere Verkehrsachsen oder ein Tal / Einschnitt überbrücken muss (falls kein alternatives Kabeltrasse zur Umgehung möglich ist).
 - Bedeutung auch für Stromleitungen der Netzebenen NE 3 und 5 bei grossen Brücken über tiefe Bergtäler / Tobel hinweg.
- Brücken sind sehr vielfältig, was die statische Ausbildung von Haupttragwerken (Bogenbrücken, Balkenbrücken mit Hohlkasten oder Längsträger in Stahl resp. Beton) oder von Sekundärtragwerken (Querrippen) betrifft. Dazu bilden die Widerlager einen Querriegel, der durchdrungen oder umgangen werden muss. Die Möglichkeiten für eine Bündelung sind darum um ein Vielfaches grösser, wenn sie koordiniert im Rahmen eines Neubauvorhabens erfolgen kann.



Abbildung 5: Brücken mit angehängten Kabelleitungen tieferer Netzebenen oder mit Kabeln der Trägerinfrastruktur

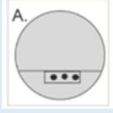
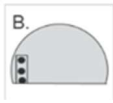
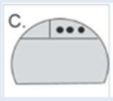
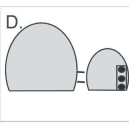
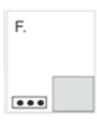
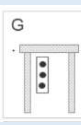
Bei Brücken, die aus mehreren Brückenfeldern bestehen und die kein unwegsames Gelände überqueren, ist auch eine Kabeltrasse neben oder unter der Brücke denkbar, wie das Fallbeispiel in Abbildung 6 zeigt.



Abbildung 6: Vorbereiteter 380/200 kV-Leitungszug Wollishofen-Uetlibergtunnel mit Dienststrasse und Muffenschacht unter einer der Brücken der Autobahnver-zweigung Zürich Süd (Pfeile: Deckel der Muffenschächte)



Tabelle 2: Beurteilung der Anordnungen auf ihre Relevanz

Querschnitt		Strasse	Bahn
Anordnung A	Tunnel 	Relevanz hoch: Bei gleichzeitigem Neubau der Infrastrukturen oder bei einer Gesamtsanierung realisierbar.	Ungeeignet, da kein Platz bei Bahntunnels. <u>Wurde nicht weiterverfolgt.</u>
Anordnung B	Tunnel 	Ungeeignet, da kein Platz bei Strassentunnels. <u>Wurde nicht weiterverfolgt.</u>	Relevanz hoch: Bei gleichzeitigem Neubau der Infrastrukturen realisierbar.
Anordnung C	Tunnel 	Ungeeignet aus Sicherheitsüberlegungen. <u>Wurde nicht weiterverfolgt.</u>	
Anordnung D	Tunnel 	Relevanz hoch: Bei gleichzeitigem Neubau der Infrastrukturen oder bei späterem Zubau von parallelen Stollen (z.B. bei Sicherheitsstollen) realisierbar.	
Anordnung E	Offene Strecke 	Relevanz hoch: Bei gleichzeitigem Neubau der Infrastrukturen oder bei einer Gesamtsanierung realisierbar, in Spezialfällen und wenn Muffenschächte ausserhalb von Fahrbahn / Pannestreifen.	Kabelleitungen, die nicht dem Bahnbetrieb dienen, müssen grundsätzlich nach Starkstromverordnung ausserhalb der Gleisanlage und den zugehörigen Leitungstragwerken für die Bahnstromversorgung verlegt werden. <u>Wurde nicht weiterverfolgt.</u>
Anordnung F	Offene Strecke 	Relevanz hoch: Bei gleichzeitigem Neubau der Infrastrukturen oder bei einer Gesamtsanierung realisierbar. Bei einer in Betrieb stehenden Trägerinfrastruktur, wenn die (Baustellen-) Erschliessung seitlich über das Feld erfolgt.	Relevanz bedingt vorhanden: Der Platz neben einem Gleis ist gewöhnlich schmal. Dazu gibt es weitere Einschränkungen. Nur bei gleichzeitigem Neubau der Infrastrukturen (Neubaustrecke) zweckmässig.
Anordnung G	Brücken 	Relevanz bedingt vorhanden: Brücken sind in der Ausbildung der Haupttragwerke sehr vielfältig, was zugleich eine Chance ist, aber auch Einschränkungen umfasst. Bei gleichzeitigem Neubau der Infrastrukturen zweckmässig.	



4 Rahmenbedingungen und Umfeld für die Bündelung

4.1 Kabellogistische Rahmenbedingungen

4.1.1 Zugänglichkeit bei Strassentunneln

Bei der Anordnung A sind die Strassen- und Strominfrastruktur je nach Variante räumlich getrennt oder nicht.

- Getrennt: In einem begehbaren Werkleitungskanal (WELK) unter dem Fahrraum (Zugang über den WELK)
- Nicht getrennt: In einem Kabelrohrblock flach unter der Fahrbahn (Zugang über Kabelschächte im Fahrraum)
- Getrennt: In einem Kabelrohrblock seitlich des WELK (Zugang über Nischen im WELK)

Der Zugang zur Strominfrastruktur lässt sich somit je nach Variante vom Verkehr entflechten, was die Logistik vereinfacht und für den Verkehr keine Kapazitätseinschränkung bewirkt.

Logistische Einschränkungen ergeben sich aber immer beim Strassenantransport der Kabel bis zum Tunnelobjekt, und wenn die Verlegung im Tunnel erfolgt, dann auch dort (siehe Kapitel 4.1.5).

4.1.2 Zugänglichkeit bei Bahntunneln

Bei der Anordnung B sind die Bahn- und Strominfrastrukturen räumlich nicht getrennt. Es ist in Kauf zu nehmen, dass der Zugang zur Strominfrastruktur die Bahninfrastruktur beansprucht, dies auf zwei Arten:

Logistik:

- Bei langen Tunneln ist der Personentransport zum Wartungsort per Bahn sicherzustellen.
- Bei der Erstmontage oder nach Ablauf der Lebensdauer beim Ersatz der Kabel und Garnituren ist das Material zum Einzugs- und Einbauort zu transportieren. Wird die Trägerinfrastruktur gleichzeitig mit der Kabelanlage erstellt, so lässt sich der Kabelzug auch im Rohbauzustand vom Planum aus - d.h. bevor der Fahrbahnbeton und die Schienen eingebaut werden - mit Pneufahrzeugen vornehmen. Später ist dies nur noch mit Gleisfahrzeugen möglich.

Kapazitätseinschränkungen:

- Für Zugänge und Arbeiten, die nicht während des nächtlichen Betriebsunterbruchs durchgeführt werden können, ist eine verlängerte Nacht-, Wochenendsperre oder eine Totalsperre einzurichten. Der Bedarf und die Bestellung ist nach den Ausführungen in Kapitel 4.4.6 anzumelden bzw. vorzunehmen.

4.1.3 Zugänglichkeit bei offenen Strecken

Bei der Anordnung E sind die Träger- und Strominfrastrukturen räumlich nicht getrennt, ausser die Muffenschächte befinden sich im Feld ausserhalb der Leitplanke oder des Wildzauns. Dies gilt auch für die



Anordnung F, ausser die Muffenschächte werden vom Feld her / von einer Unterhaltstrasse erschlossen.

Der Zugang zur Strominfrastruktur beansprucht, wenn sich die oben genannten Bedingungen nicht erfüllen lassen, die Trägerinfrastruktur. Bei der Strasse hat dies Verkehrsbehinderungen mit Spurabbau die Folge, die seitens ASTRA jedoch nur in Ausnahmefällen und in Randzeiten toleriert werden. Bei der Bahn – ohnehin weniger geeignet – wäre die Erschliessung im Falle einer Neubaustrecke möglichst über einen parallel verlaufenden Flur- und Interventionsweg sicherzustellen.

4.1.4 Zugänglichkeit bei Brücken

Bei der Anordnung G sind die Träger- und Strominfrastrukturen grundsätzlich räumlich getrennt. Für Wartungs- und Unterhaltsarbeiten ist in / unter der Brücke ein Kontrollsteg vorzusehen. Alternativ ist der Zugang auch über ein Brückenuntersichtgerät möglich, wofür zum Aufstellen des Fahrzeugs aber eine Fahrspur bzw. der Pannestreifen gesperrt werden muss.

Die Kabellegung kann von der Strasse oder vom Boden aus erfolgen.

4.1.5 Transportmasse und Gewichte der Kabel

Grundsätzlich findet eine Kabellieferung höchst selten statt: Ordentlich beim erstmaligen Leitungszug sowie nach einer Dauer von rund 40 – 60 Jahren, wenn die Kabel ersetzt werden müssen, oder in einem aussergewöhnlichen Schadenfall. Nichtsdestotrotz sind es diese seltenen Zustände, welche die baulichen Anforderungen an die Trägerinfrastruktur stellen.

Für ein 380 kV-Kabel mit einem Leiterquerschnitt von 2'500 mm² können mit einer Kabeltrommel von 4.3 Meter Durchmesser und einer Breite von 2.45 Meter Kabellängen bis 740 m transportiert werden. Das Kabeltrommelgewicht beträgt rund 30 Tonnen und lässt sich auf dem Transportfahrzeug mit der Achse quer zur Fahrtrichtung auflegen. Das Kabel lässt sich von der Trommel in Längsrichtung des Transportfahrzeugs abwickeln, was nur wenig Strassenraum beansprucht.

Bei extra langen Kabellängen bis 2'000 Meter nehmen die Trommelgewichte gegen 80 Tonnen zu. Dies bedeutet, dass inkl. dem Transportfahrzeug und dem Plattformwagen mit einem Gesamtgewicht von über 100 Tonnen zu rechnen ist. Aus transporttechnischen Gründen muss die Kabeltrommel mit der Achse in Fahrtrichtung aufgestellt werden, womit das Kabel nun quer zum Transportfahrzeug abgewickelt wird.



Abbildung 7: Transportfahrzeug mit Kabeltrommel auf Spezialplattform, Achse in Fahrtrichtung transportiert (Quelle: Fa. Wassermann Kabeltechnik)

Beim Strassentransport von Kabeltrommeln werden die Vorschriften der VRV (Verkehrsregelverordnung) zur Höchstbreite (2.55 Meter), Höchsthöhe (4.00 Meter), Höchstlänge (16.5 Meter bei Sattelmotorfahrzeugen) oder Höchstgewicht (40 Tonnen) höchstwahrscheinlich überschritten, weshalb sie mit einer Sonderbewilligung als Ausnahmetransporte zu deklarieren sind. Für solche Transporte definieren die kantonalen Ausnahmetransportrouten¹⁶ den Verlauf und den Routentyp (zulässiges Lichtraumprofil, zulässige Gesamtgewichte). Die maximalen Transporthöhen auf Nationalstrassen entspricht der lichten Höhe von 4.5 Meter (siehe Richtlinie ASTRA 11001, Normalprofile, Nationalstrassen 1. und 2. Klasse mit Richtungstrennung). Bei älteren Tunnels, wie z.B. dem Seelisbergtunnel kann sie jedoch auch darunter liegen.

Beim Bahntransport richten sich die Transportabmessungen nach dem Lichtraumprofil der Strecke (siehe AB-EBV) und den Lademassen der Bahnen (SBB, BLS, siehe SBB G-3521 Regelwerk, Verlade-richtlinie Grundsätze Band 1, Tafel 1-6).

Fazit:

Beim Strassentransport ist zu beachten, dass sich bei Ausnahmetransporten der Routentyp I (Gesamtgewicht bis 480 Tonnen Höchsthöhe 5.20 Meter) mehrheitlich zwischen Basel und dem Mittelland befindet. In einigen Alpentälern, in denen es Wasserkraftwerke gibt, sind Versorgungsrouten des Routentyps II eingerichtet (Gesamtgewicht bis 240 Tonnen, Höchsthöhe 4.80 Meter). Einzelne Brückenhindernisse können darüber hinaus die Limite senken (z.B. auf max. 72 Tonnen Gesamtgewicht). Wo nichts definiert ist, wie z.B. auf der Zufahrtstrecke zum Gotthard-Strassentunnel, müssen die Übergewichte und Übermasse im Einzelfall abgeklärt werden. Die Achslasten sind massgebend.

Beim Bahntransport ist beachten, dass nur eine Fracht mit einer Höhe von max. 4.50 m ab Schienenoberkante und einer Breite von max. 3.15 Meter transportiert werden kann. Die Gleisfahrzeuge sind dabei von der Swissgrid (bzw. deren beauftragten Unternehmern) zu stellen oder über ein Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU) zu bestellen.

¹⁶ bzw. Versorgungsrouten für Ausnahmetransporte

4.2 Nutzraum für die Kabelanlage

Einfluss der Anordnung auf die Stromtragfähigkeit

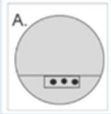
Die Übertragungsleistung (MVA) bzw. die Strombelastbarkeit (A) der Kabelanlage hängt von verschiedensten Faktoren ab. Die Dimensionierung des Kabels (Leiterquerschnitt, Leitermaterial) hat sich deshalb nach der Verlegungsmethode, den projektspezifischen und gesetzlichen Randbedingungen zu richten, die sind:

- Offen im Leitungsgang bei den Anordnungen A (Variante WELK) oder D (SiSto: Variante offen)
- Im Kabelrohrblock bei den Anordnungen A (Variation unter Fahrbahn), B oder D (SiSto Variante in der Sohle) oder E/F
- Kabel in Kabelschutzrohren montiert an Brückenträger / Brückenplatte bei der Anordnung G

Kabelanlagen an der Luft oder offen im Leitungsgang sind für die Stromtragfähigkeit grundsätzlich günstiger, wobei die Phasenabstände, die Lufttemperatur und die Kühlung (Windgeschwindigkeit) eine wichtige Rolle auf die Erhöhung bzw. Verminderung der Strombelastbarkeit spielen. Diese Verlegeart bietet jedoch den geringsten Schutz gegen externe Beschädigung.

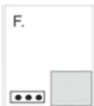
Kabelanlagen im Kabelrohrblock sind systemisch besser geschützt gegen externe Beschädigung, wobei die Rohrabstände im Kabelrohrblock (Phasenabstände), die Verlegetiefe im Boden, die Boden- bzw. Felstemperatur und die thermische Leitfähigkeit des Bettungsmaterials eine wichtige Rolle auf die Erhöhung bzw. Verminderung der Strombelastbarkeit spielen. Um die Übertragungsleistung der Kabelanlage im Rohrblock zu erhöhen, können die Kabelschutzrohre bei Bedarf mit einem wasserlöslichen Füllmaterial verfüllt werden, welches bei Bedarf wieder ausgespült werden kann.

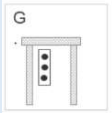
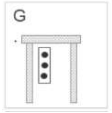
Tabelle 3: Beschreibung des nutzbaren Raums

Querschnitt		Nutzraum für Kabelanlage / Einschränkungen
Anordnung A Strasse	Tunnel 	— Kabel offen verlegt in begehbarem Kanal (WELK), meist bei einem TBM-Profil vorhanden: — Der verfügbare Nutzraum für die Kabelanordnung mit Muffenverbindungen ist unter Berücksichtigung der betriebseigenen Leitungen der Strasseninfrastruktur beschränkt — Die lichte Höhe des WELK wird durch die Fahrbahnlage und das Tunnelprofil bestimmt und ist im Normalfall nach ASTRA-Fachhandbuch Tunnel/Geotechnik mit 2.1 Meter festgelegt ¹⁷ — Kabelrohrblock unter der Fahrbahn: — Der Raum für einen Kabelrohrblock ist vorhanden, Lage muss tief genug unter der Fahrbahndecke sein — Muffenschächte müssen in Ausstellbuchten untergebracht werden

¹⁷ Eine Sohlenabsenkung für eine Erhöhung der Höhe wäre fallweise möglich, aber nur unter bestimmten Bedingungen.



Querschnitt		Nutzraum für Kabelanlage / Einschränkungen
Anordnung B Bahn	Tunnel 	— Die für die Übertragungsleitung verfügbare Rohrblochfläche ist von der Ausbildung / Dimension der Tunnel-Trägerinfrastruktur und der Tunnelbaumethode, wie Hufeisenprofil (Bohr- und Sprengvortrieb) oder Kreisprofil (TBM-Vortrieb) abhängig: — Einspurtunnel mit Bankett: Flächen beidseits von je 1.2 m² bis 1.8 m² — Einspurtunnel mit Schotteroberbau: einseitig / beidseitig je 0.2 m² — Doppelspurtunnel mit Bankett: Flächen beidseits von je 1.0 m² bis 1.2 m² — Die Belegung der Bankette schränkt die verfügbare Fläche weiter ein, wenn: — 1 Kabelrohrblock für die Hochspannung — 1 Kabelrohrblock nur für die Niederspannung — Muffenverbindungen müssen in Bahntunnelnischen untergebracht werden.
Anordnung D Strasse/Bahn	Tunnel 	— Kabel offen verlegt in begehbarem SiSto: — Der verfügbare Nutzraum für die Kabelanordnung mit Muffenverbindungen ist unter Berücksichtigung der betriebseigenen Leitungen der Strasseninfrastruktur und des Fluchtwegs beschränkt — Kabelrohrblock unter der Sohle: — Der Raum für einen Kabelrohrblock ist beschränkt — Muffenverbindungen müssen in Muffenschächten in der Sohle untergebracht werden.
Anordnung E Strasse	Offene Strecke 	— Kabelrohrblock unter der Fahrbahn / dem Pannestreifen (kein Standard): — Der Raum für einen Kabelrohrblock ist vorhanden, Lage muss tief genug unter der Fahrbahndecke und der Fundationsschicht sein — Muffenschächte müssen ausserhalb der Fahrbahn und des Pannestreifens und ev. eines Spur-Ausbaus untergebracht werden und vom Feld / von einer Unterhaltsstrasse zugänglich sein.
Anordnung F Strasse	Offene Strecke 	— Kabelrohrblock neben der Fahrbahn: — Der Raum für einen Kabelrohrblock zwischen der Leitplanke und dem Wildzaun ist beschränkt (und teilw. unter Böschungen) — Muffenschächte müssen ausserhalb der Fahrbahn und des Pannestreifens und ev. eines Spurausbaus untergebracht werden und vom Feld / von einer Unterhaltsstrasse zugänglich sein.
Anordnung F Bahn	Offene Strecke 	— Kabelrohrblock neben der Fahrbahn: — Der Raum für einen Kabelrohrblock zwischen dem Gleis / Fahrleitungsmasten und festen Bauten (Lärmschutzwände, Stützmauern), Bebauungen) ist äusserst beschränkt (und teilw. unter Böschungen). — Muffenschächte müssen ausserhalb des Gleises untergebracht werden und vom Feld / von einer Unterhaltsstrasse zugänglich sein.

Querschnitt		Nutzraum für Kabelanlage / Einschränkungen
Anordnung G Strasse	Brücken 	— Kabel lassen sich offen verlegen: — im Hohlkasten (bei einem Hohlkastenquerschnitt), — zwischen oder ausserhalb von Längsträgern (bei einem offenen Querschnitt) — u.U. an der Kragplatte einer Brücke, wenn dies von den Lasten zulässig ist Die Möglichkeiten müssen brückenspezifisch geprüft werden, auch hinsichtlich Belegung durch andere Werkleitungen (Niederspannungs- / Mittelspannungskabel, Entwässerung, Wasser usw.) und freie Disponibilität im Querschnitt — Muffenschächte müssen vor den Widerlagern angeordnet werden. — Muffenverbindungen unter der Brücke (im Hohlkasten oder an den Trägern) sind zu vermeiden.
Anordnung G Bahn	Brücken 	— Wie bei der Strasse — Bei der Bahn ist die Brückenvielfalt noch grösser als bei der Strasse, sie sind oftmals auch älter, wie z.B. Stahlfachwerkbrücken oder gemauerte Bogenbrücken. — Ästhetische Aspekte spielen eine zusätzliche Rolle

Fazit: Die vorgegebenen Anordnungsmöglichkeiten und der verfügbare nutzbare Raum setzen der Gestaltungsmöglichkeit eines Kabelprojektes für Stromleitungen weit engere Grenzen, als wenn im freien Feld geplant wird (u.U. nicht optimale Kabelabstände, Verlegungstiefen, Wärmeabfuhrmöglichkeiten usw.). Die zu erzielende Stromtragfähigkeit ist eventuell auf die geometrische Randbedingungen abzustimmen. Möglicherweise können grössere Leiterquerschnitte die Verlustleistung reduzieren oder es sind Korrekturmassnahmen zu treffen (Lüftung/Kühlung).

Bei schon baulich vorbereiteten Kabelrohrblöcken sind die Voraussetzungen (Querschnittsfläche, Anzahl mögliche Kabel, Überdeckungen) vorgegeben, so dass die Stromtragfähigkeit bzw. die Übertragungsleistung der Kabelanlage nur noch in beschränktem Masse beeinflusst werden kann, z.B. durch grössere Leiterquerschnitte, Verfüllung der Kabelschutzrohre.

Bei der Anordnung B, Bahn, beschränkt sich der Raum für die Kabelanlagen auf die Bankette rechts und links der Fahrbahn, da Bodenkanäle im Brandfall weniger gefährdet sind als Wandkanäle. Je nach Profil des Tunnels (Einspur- oder Doppelspur, Ausbaugeschwindigkeit) können die Bankettquerschnitte unterschiedlich gross sein. Konkurrenzierend (u.U. in höherer Priorisierung) befinden sich dort auch Kabelschutzrohre für die Energie- und Prozesskabel des Tunnels. Reicht die Grösse der Bankette für alle Ansprüche nicht aus, müsste der Ausbruchdurchmesser vergrössert werden, was zu einem sprunghaften Anstieg der Baukosten führen würde.



4.3 Randbedingungen zur Strasse

4.3.1 Rechtliche Randbedingungen

Für die Mitnutzung des Nationalstrassenbereichs zur Bündelung mit einer Kabelanlage sind die geltenden gesetzlichen Bestimmungen nach NSG und NSV zu beachten. Demnach gilt:

- Für die Bewilligung von Bauvorhaben innerhalb der Baulinien einer Nationalstrasse ist das ASTRA zuständig.
- Bauvorhaben bzw. bauliche Umgestaltungen im Bereiche von Nationalstrassen sind nur dann bewilligungsfähig, wenn sie die folgenden Aspekte / Ziele nicht beeinträchtigen:
 - die Sicherheit des Strassenverkehrs
 - die Zweckbestimmung der Anlage
 - die Strassenlage und einen allfälligen künftigen Ausbau der Strasse

In der Mitwirkung zu dieser Studie hat das ASTRA - auf der Basis des geltenden Regelwerkes für die Nationalstrassen - die Bewilligungsfähigkeit von Bündelungsvorhaben wie folgt beurteilt:

- Bei einem gleichzeitigen Neubau beider Infrastrukturen oder bei einer Gesamtsanierung einer bestehenden Nationalstrasse ist ein Bündelungsvorhaben grundsätzlich möglich, nicht aber unter laufendem Betrieb.
- Anordnung E (Kabelrohrblock unter der Fahrbahn, im Pannestreifen) ist auch für ASTRA Kabelrohrblöcke grundsätzlich nicht zulässig, kann aber UPlaNS-spezifisch geprüft werden¹⁸.
- Bei der Anordnung F muss der Kabelrohrblock ausserhalb der Leitplanke sein (gleiche Anforderung gilt auch für ASTRA-Kabelrohrblöcke).
- Muffenschächte sind ausserhalb der Fahrbahn und des Pannestreifens anzuordnen. Diese Forderung gilt auch für Schächte des ASTRA.
- Ein WELK bei der Anordnung E ist in Einzelfällen denkbar. Der Zugang und der Kabelzug zum WELK müssten ebenfalls von der Seite erfolgen. Dabei ist ein allfälliger zukünftiger Ausbau der Nationalstrasse zu berücksichtigen.

Fazit: Nach geltendem Regelwerk ist die Bündelung bei bestehenden Nationalstrassen im Rahmen einer Gesamtsanierung oder bei einem künftigen Ausbau sowie bei Neubauten möglich.

4.3.2 Unterhaltszyklus bei der Strasse

Für die gegenseitige Abstimmung der Unterhaltsplanungen und speziell zur Frage, wann der Zeitpunkt für eine Bündelungsbaumassnahme gegeben ist, ist der Unterhaltszyklus der Nationalstrassen als Trägerinfrastruktur eine wichtige Randbedingung, die es möglichst einzuhalten gilt. Gesamtsanierungen, d.h. die Erhaltung der Nationalstrasse, erfolgen über einmalige Projekte mit klar definierten Abschnittsgrenzen (UPlaNS-Konzept). Beim ASTRA wird die Erhaltungsplanung nach Fachhandbuch ASTRA 2B010 mit einer langfristigen und mittelfristigen Mehrjahresplanung über 30 Jahre bzw. 10 – 20 Jahre

¹⁸ UPlaNS: Abkürzung für Unterhaltsplanung Nationalstrassen



vorgenommen. Gestützt auf Zustandsuntersuchungen, Priorisierungen und Vorentscheide werden zuerst Projektideen generiert und danach die Projektgenerierung für Erhaltungsprojekte oder Einzelmassnahmen initiiert (Horizont 5 – 10 Jahre). Die mittelfristige Mehrjahresplanung entspricht der Investitionsplanung. Die Projektideen werden im Projektportfolio des ASTRA berücksichtigt. Umfangreiche bauliche Instandsetzung finden somit frühestens alle 30 Jahre statt.

Realisierung: Gemäss Unterhaltsplanung der Nationalstrasse [4] sind Substanzerhaltungen und Ausbauten der Nationalstrassen konzentriert in Erhaltungsprojekten von ca. 5 km Länge auszuführen. Die Distanz bis zum nächsten Abschnitt mit Baustelle muss mindestens 30 km betragen. Während den nächsten 15 Jahren nach Beendigung der Bauarbeiten soll es auf dem gleichen Teilstück keine Baustelle mit Verkehrsbehinderung mehr geben.

Fazit: Das Generieren von Bündelungsvorhaben ist idealerweise mit der Generierung der Projektideen zu koppeln, also rund 10 – 20 Jahre vor der Realisierung eines Erhaltungsprojektes, spätestens zum Zeitpunkt der Projektgenerierung 5 – 10 Jahre vorher. Weil Erhaltungsprojekte räumlich und zeitlich über lange Zeiträume gestaffelt werden, ist eine durchgehende Bündelung entlang einer Nationalstrassenachse nur langfristig realisierbar. Wird die geltende Unterhaltsphilosophie beibehalten, d.h. soll der Verkehr nicht häufiger und auf längeren Strecken durch Baustellen behindert werden, so muss wohl die Bündelung in Form von Teilverkabelungen von einzelnen Abschnitten in Betracht gezogen werden, bis sich diese letztendlich zu einem gesamten Strang zusammenfügen lassen. Dies hat zur Folge, dass an den Enden der Teilverkabelungen temporäre Übergangsbauwerke gebaut werden müssen, um den Anschluss an die bestehende Freileitung herzustellen.

4.3.3 Bauliche Ausgestaltungen

Die Vorgaben zur baulichen Ausgestaltung von Nationalstrassen (Trassee, Kunstbauten und Tunnels) sind in den Richtlinien und Fachhandbüchern des ASTRA¹⁹ enthalten. Abweichungen davon, die im Hinblick auf ein Bündelungsvorhaben vorzunehmen wären, müssten für das ASTRA bewilligungsfähig sein. Dazu müsste die Kostenträgerschaft geregelt werden. Beispiele:

Ausstellbuchten in Tunnels: Nach Norm SIA 1972/2 sind bei zweiröhrigen Tunnels keine Ausstellbuchten vorgesehen, ausgenommen bei von aussen nicht zugänglichen Zentralen. Bei der Ausbildung mit einem Kabelrohrblock flach unter der Fahrbahn müssten für die Unterbringung von Muffen- und Kabelzugschächten eigens Ausstellbuchten vorgesehen werden, da im Strassenraum von Nationalstrassen keine Schächte geduldet werden (siehe Kapitel 4.3.1).

Dichtigkeit von WELK in Tunnelanlagen:

Der Werkleitungskanal wird in der Regel vorgefabriziert und hat die Form eines umgekehrten U-Profiles. Eine 100% wasser- und gasdichte Abtrennung ist dabei nicht gefordert. Höhere Anforderungen erfordern z.B. eine monolithische Bauweise, dichte Kabeldurchbrüche zum Verkehrsraum usw. Alternative: Schutz gegen Staub und Gase durch Gewährleistung eines Überdrucks (siehe Kapitel 5.2.3, Lüftung).

¹⁹ <https://www.astra.admin.ch/astra/de/home/fachleute/dokumente-nationalstrassen/standards.html>



4.3.4 Betriebs- und Sicherheitsausrüstung (BSA)

Es gilt zu berücksichtigen, dass die Trägerinfrastruktur die nachstehenden Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen aufweist, welche durch die Kabelanlage (Übertragungsleitung) weder durch den Platzanspruch noch durch elektromagnetische Felder in der Funktion beeinträchtigt werden dürfen:

- Energieversorgung
- Beleuchtung
- Lüftung
- Signalisation
- Überwachungsanlagen
- Kommunikation und Leittechnik
- Nebeneinrichtungen

In einem Werkleitungskanal (WELK) oder Sicherheitsstollen (SiSto) können die für die Betriebs- und Sicherheitsausrüstung erforderliche Installationskabel auf einem Kabeltragsystem mit mehreren Lagen, eine Löschwasserleitung (Hydrantenleitung) und Entwässerungsleitung(en) vorhanden sein und den verfügbaren Platz für die Kabelanlage der Übertragungsleitung schmälern. Im WELK können sich aber auch Geräte und Überwachungsanlagen Betriebs- und Sicherheitsausrüstung befinden.

4.3.5 Einrichtungen zur Selbst- und Fremdrettung von Verkehrsteilnehmern

Die Anforderungen an die baulichen Elemente der Sicherheitseinrichtungen für die Selbstrettungsmassnahmen bei Strassentunnel sind in der Norm SIA 197/2 und im Einzelnen für den Werkleitungskanal im Merkblatt ASTRA 24 001-10404 und für den Sicherheitsstollen in den Merkblätter ASTRA 24 001-10404 und 24 001-10706 (Begehbare Querverbindungen) festgehalten. Wesentlich für Bündelungsvorhaben ist die Randbedingung, dass ein Werkleitungskanal (WELK), in welchen sich bei der Anordnung A die Kabelanlage der Übertragungsleitung unterbringen lässt, auch als Fluchtweg dienen kann. Bei der Anordnung D im Sicherheitsstollen (SiSto) ist der Fluchtweg der Hauptzweck.

Zweck der Sicherheitseinrichtungen: Mit der Anordnung eines parallel zu einem einröhrigen Strassentunnel verlaufenden SiSto soll es den Verkehrsteilnehmern möglich sein, im Ereignisfall über regelmässig angeordnete Notausgangstüren bzw. Querverbindungen in diesen zu flüchten (Prinzip der Selbstrettung). In Fällen, wo dies technisch nicht möglich oder wirtschaftlich nicht sinnvoll ist, kann das gleiche Prinzip auch durch die Benützung eines unterhalb der Fahrbahn liegenden WELK sichergestellt werden. Dieser kann dann aus dem Fahrraum über seitlich liegende Fluchtwegabgänge erreicht werden.

Für die Bündelung sind die Einrichtungen zur Selbst- und Fremdrettung aus zwei Gründen von Bedeutung:

- Falls frühzeitig koordiniert, bieten Neubauprojekte zur Ertüchtigung der Tunnelsicherheit eine Chance, in dieses Bauwerk auch eine Kabelanlage zu integrieren.
- Den Wirkungen, die von der Kabelanlage der Übertragungsleitung auf die flüchtenden Fahrzeugpassgiere ausgehen, ist dabei ausreichend Rechnung zu tragen (siehe Kapitel 4.6 und Kapitel 5).



4.3.6 Baustelleneinrichtung auf Autobahnen und Autostrassen

Bei der Bündelung mit der Strasse erfordern Wartungs- und Unterhaltsarbeiten an der Kabelanlage der Übertragungsleitung einen Zugang zu den Muffenschächten. Dies kann, wenn der Muffenschacht nur von der Nationalstrasse erreichbar ist, für den Verkehrsraum Einschränkungen zur Folge haben. Analog kleinerer Unterhaltsarbeiten auf den Nationalstrassen wie die Grünpflege, Belagsarbeiten und Reparaturen lassen sich die betroffenen Fahrspuren bis zu einer maximalen Dauer von 72 Stunden als Baustelle kurzer Dauer für den Verkehr sperren. Die Einrichtung und Absicherung ist gemäss SN-Norm VSS 640 885 Signalisation von Baustellen auf Autobahnen und Autostrassen vorzunehmen. Das ASTRA oder der betroffene Kanton ordnen die Signalisation an.

4.4 Randbedingungen zur Bahn

4.4.1 Rechtliche Randbedingungen

Für die Mitnutzung der Bahninfrastruktur zur Bündelung mit einer Kabelanlage der Übertragungsleitung sind die geltenden gesetzlichen Bestimmungen nach EBG und EBV zu beachten. Demnach gilt:

- Planung des Infrastrukturausbaus: Das BAV leitet und koordiniert als Prozessführer die für die Ausbauschnitte notwendigen Planungen (Strategische Entwicklungsprogramme STEP; Sachplan Verkehr, Teil Infrastruktur Schiene SIS).
- Die Eisenbahnunternehmen (als Infrastrukturbetreiberinnen) sind für die vorschriftsgemässe Planung, den vorschriftsgemässen Bau, den sicheren Betrieb und die Instandhaltung der Bauten, Anlagen und Fahrzeuge verantwortlich.

Im Kapitel 3.5 wird postuliert, dass das Bündelungspotential bei der Eisenbahninfrastruktur vornehmlich bei der Realisierung von Neubaustrecken liegt (zukünftig primär Tunnelprojekte).

Fazit: Nach geltendem Regelwerk ist die Bündelung möglich.
--

4.4.2 Unterhaltszyklus bei der Bahn

Für die gegenseitige Abstimmung der Unterhaltsplanungen ist der Unterhaltszyklus der Bahnanlagen als Trägerinfrastruktur eine wichtige Randbedingung, die es möglichst einzuhalten gilt. Laut [5] beträgt die Gesamtnutzungsdauer der Fahrbahn derzeit 37 Jahre, jene der Bahnstromanlagen 71 Jahre. Bei der Tragplatte einer festen Fahrbahn ist nach AB-EBV von einer zu gewährleistenden Nutzungsdauer von ca. 60 Jahren auszugehen. Ein konventioneller Schotteroberbau muss dazu etwa alle vier Jahre gestopft werden, um die Gleislage aufrechtzuerhalten. Die Substanzerhaltung des Bahnnetzes der SBB weist derzeit einen Nachholbedarf auf. Die Infrastrukturbetreiberin SBB Infrastruktur ist laut eigenem Jahresbericht bestrebt, den Nachholbedarf durch Effizienzsteigerung, vereinfachte Abläufe, gebündelte Bauarbeiten und längere Streckensperrungen aufzuholen, so dass in Zukunft wieder mit normalen Intervallen zu rechnen ist.



Fazit: Bei einem Bündelungsvorhaben mit der Bahn ist davon auszugehen, dass alle 30 – 40 Jahre die Fahrbahn, alle 70 – 75 Jahre die Bahnstromanlage zu erneuern sind, d.h. dass die Kabelanlage der Übertragungsleitung zu diesem Zeitpunkt für eine längere Zeit ausser Betrieb genommen werden muss. Liegt die Kabelanlage in der Nähe eines Schotteroberbaus, wie bei einem schwimmenden Kabelblock bei der Anordnung B, Bahn, so ist die Leitung voraussichtlich alle 4 Jahre zu unterbrechen, wenn der Schotter durchgearbeitet wird.

4.4.3 Bauliche Randbedingungen

Die Vorgaben zur baulichen Ausgestaltung von Bauten und Anlagen sind in der EBV, die Detailanforderungen in den Ausführungsbestimmungen zur Eisenbahnverordnung (AB-EBV) Stand am 1. Juli 2016 geregelt.

Als Randbedingungen für die Bündelung sind hauptsächlich bestimmend:

- Artikel 16 – 33 EBV betreffend geometrische Gestaltung der Fahrbahn, Sicherheitsabstände, Unterbau und Kunstbauten und Oberbau.
- Art. 42 – 46 EBV Elektrische Anlagen

Gemäss AB-EBV, AB 44.b, Ziffer 2.2 dürfen in Oberflächenkanälen nur Hochspannungskabel geführt werden, welche dem Eisenbahnbetrieb dienen.

Bereits für eine 132 kV-Übertragungsleitung der Bahn reicht der Tunnelraum für das Unterbringen von Muffenverbindungen nicht aus. Es sind hierfür Muffennischen auszubrechen. Sie weisen folgende Grössenordnungen auf:

- Bei Muffenverbindungen in Tunnellängsrichtung: bis 1.5 Meter Tiefe und 10 Meter Länge.
- Bei Muffenverbindungen quer zur Tunnelachse angeordnet (z.B. Lötschberg-Basistunnel): bis 6 Meter Tiefe, 5 Meter Höhe und 4 Meter Breite.

Für Kabelanlagen der NE 1 von Nischenlängen von 10 – 25 Metern in Tunnellängsrichtung auszugehen, je nachdem, ob alle Kabel in derselben Nische verbunden werden oder jeweils nur ein System und die anderen überlappend angeordnet werden (benötigt mehr Nischen).

4.4.4 Elektrotechnische Ausrüstung der Bahninfrastruktur

Es gilt zu berücksichtigen, dass die Trägerinfrastruktur die nachstehenden elektrotechnischen Systeme aufweist, welche durch die Kabelanlage (Übertragungsleitung) weder durch den Platzanspruch noch durch elektromagnetische Felder in der Funktion beeinträchtigt werden dürfen.

Bei der Anordnung B, Bahn kommt hinzu, dass die Kabelanlage der Übertragungsleitung die Kabelrohrblöcke der beiden Bankette mit folgenden bahneigenen Leitungen teilen muss:

- Erdseil
- Bahneigene Hochspannungskabel:
 - Speiseleitungen 15 kV / 16.7 Hertz



- Niederspannungskabel:
 - für die 50 Hertz-Versorgung
 - Rückleiter zu Feederkabel für Oberleitung
- Stellwerkkabel (Sicherungsanlagen)
- Signalkabel
- Steuerungskabel
- Lichtwellenleiter (LWL)-Kabel für Datenübertragung

Der Bahnbetrieb der bahnseitigen Tunnelinfrastruktur (Betriebszentralen, Relaisräume) wird darüber hinaus aus technischen Räumen abseits der Tunnelröhren sichergestellt, die bei doppelröhrigen Tunnels auch in Querschlägen / Querverbindungen untergebracht sein können.

4.4.5 Einrichtungen zur Selbst- und Fremdrettung von Verkehrsteilnehmern

Den aktuellen Stand der Anforderungen an die baulichen Elemente der Sicherheitseinrichtungen für die Selbstrettungsmassnahmen bei Bahntunnel hält die Norm SIA 197/1 und das SBB-Regelwerk I-20036 fest²⁰. Wesentlich für die Bündelungsvorhaben ist die Randbedingung, dass die Bankette, in welche bei der Anordnung B die Kabelanlage untergebracht werden, auch als seitliche Gehwege für die Flucht aus dem Tunnel bis zu einem Notausgang dienen; dazu auch für Begehungen durch das Arbeitspersonal der Trägerinfrastruktur. Bei eingleisigen Neubautunnel muss auf mindestens einer Seite des Gleises ein Fluchtweg vorhanden sein, bei zweigleisigen auf jeder Seite der Tunnelröhre.

Den Wirkungen, die von der Kabelanlage der Übertragungsleitung auf die flüchtenden Bahnpassgiere ausgehen, ist dabei ausreichend Rechnung zu tragen (siehe Kapitel 4.6 und Kapitel 5).

4.4.6 Streckensperrungen

Bei der Bündelung mit der Bahn erfordern Wartungs- und Unterhaltsarbeiten an der Kabelanlage u.U. einen Unterbruch des Bahnbetriebs (primär bei Anordnung B, ev. auch bei Anordnung F).

Im schweizerischen Bahnnetz dauert der nächtliche Betriebsunterbruch i.d.R. 4 – 5 Std. Für Arbeiten, die nicht in dieser Zeit durchgeführt werden können, sind Streckensperrungen anzumelden. Streckensperrungen von Bahngleisen (d.h. Intervallbedürfnisse) unterliegen dabei einem strukturierten Prozess, nach denen sich auch die Wartungs-, Unterhaltsarbeiten und Instandsetzungsarbeiten an den Kabelanlagen richten müssten. Es ist zu unterscheiden nach:

- Verlängerte Nachtsperren einmalig oder über mehrere Tage (Verlängerungsmöglichkeit der ordentlichen Betriebspausen um 3 – 4 Stunden)
- Wochenendsperren einmalig oder über mehrere Wochenenden
- Totalsperrungen oder massgebliche Kapazitätsreduktionen über mehrere Wochen (z.B. Einspurbetrieb)

²⁰ Berücksichtigt sind darin die Forderungen der TSI-SRT, BAV- Richtlinie "Sicherheit in bestehenden Bahntunnel"



Zusammengefasst sind folgende Hauptpunkte zu beachten:

- Grosse Sperrungen: Bei einem Neubau- bzw. Erneuerungsprojekt ist der Bedarf ab 3.5 Jahre (Top- und Hauptlinie) bis 1 Jahr (alle Linien) vor dem Ausführungsjahr zu melden und zu konkretisieren.
- Kleine Sperrungen (planbarer Unterhalt): Sperrungen, die Massnahmen im Zugsverkehr erfordern, sind spätestens 6 Monate, solche ohne Massnahmen im Zugsverkehr, spätestens 3 Monate vor der Durchführung zu bestellen. Den Bestellungen geht eine vorgelagerte Intervallbedarfsmeldung voraus. Ohne vorgelagerte Bedarfsmeldung stehen nur die dannzumal vorhandenen Restkapazitäten zur Verfügung.
- Instandsetzung (ungeplanter Unterhalt): Bei einem solchen Eintreten können Intervalle 3 Monate vor der Durchführung zu bestellt werden.
- Begehungen: Benötigte Zugspausen müssen 4 – 10 Wochen vor der Durchführung bestellt werden.

4.5 Randbedingungen zum Strom

4.5.1 Rechtliche Randbedingungen

Nach Art. 20 Abs. 1 StromVG sorgt die nationale Netzgesellschaft Swissgrid dauernd für einen diskriminierungsfreien, zuverlässigen und leistungsfähigen Betrieb des Übertragungsnetzes als wesentliche Grundlage für die sichere Versorgung der Schweiz. Als Übertragungsnetz gilt das Elektrizitätsnetz, das der Übertragung von Elektrizität über grössere Distanzen im Inland sowie dem Verbund mit den ausländischen Netzen dient und in der Regel auf der Spannungsebene 380/220 kV betrieben wird (Art. 4 Abs. 1 Bst. h StromVG; NE 1). Die Swissgrid ist Eigentümerin des von ihr betriebenen Netzes (Art. 18 Abs. 2 StromVG). Gemäss Art. 8 Abs. 1 Bst. a StromVG ist die Swissgrid verpflichtet, ein sicheres, leistungsfähiges und effizientes Netz zu gewährleisten. Diese Bestimmung ist als umfassende Verpflichtung zu für den adäquaten Ausbau, den sicheren Betrieb und permanenten Unterhalt des Netzes zu verstehen. In diesem Rahmen sind Netzkosten denn als anrechenbare Netzkosten zu qualifizieren und können über das von den Endverbrauchern geschuldete Netznutzungsentgelt sozialisiert werden. Gemäss Art. 15 Abs. 1 StromVG gelten die Betriebs- und Kapitalkosten eines sicheren, leistungsfähigen und effizienten Netzes als anrechenbare Netzkosten. Mit Inkraftsetzung des neuen Bundesgesetzes Um- und Ausbau Stromnetze der sog. «Strategie Stromnetze» - voraussichtlich ab dem 2. Quartal 2019 in Kraft - wird das BFE nach Art. 9a StromVG die Aufgabe haben, periodisch alle vier Jahre einen energiewirtschaftlichen Szenariorahmen als Grundlage für die Netzplanung zu erarbeiten. Darauf basierend wird die Swissgrid schliesslich verpflichtet sein, einen auf zehn Jahre ausgelegten Entwicklungsplan (Mehrjahresplan) zu erstellen und der Eidgenössischen Elektrizitätskommission (ElCom) zur Prüfung vorzulegen (Art. 9d StromVG).

Nach Art. 15d Abs. 2 des Elektrizitätsgesetz (EleG) sind Anlagen des Übertragungsnetzes von nationalem Interesse, insbesondere im Sinne von Art. 6 Abs. 2 des Bundesgesetzes über den Natur- und Heimatschutz (NHG).

Die Bauvorschriften für 380/220-kV-Kabelanlagen sind im Wesentlichen die Starkstromverordnung sowie die Leitungsverordnung (LeV).



4.5.2 Unterhaltszyklus bei Kabelanlagen

Die Fachwelt ist sich einig darin, dass die heutigen VPE-Hochspannungskabel wartungsarm und zuverlässig funktionieren und dass die Lebensdauererwartung dieser Kabel weit über 40 Jahre reicht (siehe z.B. [6], [7]). Die Zuverlässigkeit wird erreicht, in dem an jedem neuen Höchstspannungskabelsystem Prüfungen von der Fertigung über die Verlegung bis zur Inbetriebnahme vorgenommen werden, die in der IEC-Publikation 62067 [8] international standardisiert sind. Die Wartung reduziert sich in erster Linie auf die Endverschlüsse, die sich in den Übergangsbauwerken oder in den Schaltanlagen (Unterwerken) befinden, sowie auf die Muffenverbindungen. Diese sind nach Herstellerangaben einmal jährlich visuell zu inspizieren und alle drei Jahre sind die festen Erdverbindungen zu prüfen. Auf der Netzebene 1, teilweise auch auf Netzebene 3, kommen in zunehmendem Masse Monitoringsysteme zur Überwachung des thermischen und elektrischen Verhaltens der Kabelanlage zum Einsatz.

Geplante Arbeiten (sowohl Projekte wie Instandhaltungen) werden seitens Swissgrid mit den Verteilnetzbetreibern und den Kraftwerksbetreibern abgestimmt und in eine Jahresabschaltplanung aufgenommen.

Befindet sich die Kabelanlage der Übertragungsleitung in einem begehbaren Kanal (in einem WELK wie bei Anordnung B, Strasse oder in einem SiSto wie bei Anordnung D), so bedingt die Sekundärtechnik wie Lüftung, Beleuchtung, Brandmeldeanlagen usw. häufigere Unterhaltsarbeiten als das eigentliche Hochspannungskabel.

4.5.3 Elektrotechnische Ausrüstung der Kabelanlage

Bestandteile nach Starkstrom- und Leitungsverordnung

Eine 380/220-kV-Kabelanlage lässt sich wie folgt unterteilen:

- Kabelträger bestehend aus Bauwerken oder Bauelementen und Befestigungselementen (Anh. 1 Ziff. 16 Leitungsverordnung).
 - Das Bauwerk umfasst Tragwerk und nicht tragende Bauteile sowie Brandabschnitte und brandabschnittsbildende Bauteile (Art. 31 der VKF Brandschutznorm)
 - Das Bauwerk, d.h. der Kabelrohrblock oder der WELK ist der Betriebsbereich (Art. 3 Ziff. 13 Starkstromverordnung) der Kabelleitung als Hochspannungsanlage (Art. 3 Ziff. 13 Starkstromverordnung).
 - Zum Kabelträger gehören auch die Befestigungselemente für die Kabelleitung oder notwendige Muffenbauwerke (z.B. Nischen) oder Stahlkonstruktionen für Muffenverbindungen.
- Kabelleitung bestehend aus Kabel, Kabelarmaturen und Kabelzubehör (Anh. 1 Ziff. 13-15 und 17 Leitungsverordnung).
 - Kabelarmaturen (auch Garnituren genannt) sind z.B. Muffenverbindungen. Kabelzubehör besteht aus Überwachungs- oder Schutzeinrichtungen, wie z.B. für Monitoring der Kabeltemperatur.



- Erdungssystem:
 - Die Erdung ist die Gesamtheit aller miteinander verbundenen Erder und Erdungsleitungen, einschliesslich metallene Wasserleitungen, Fundament-armierungen, metallene Umhüllungen von Kabeln, Erdseile und andere metallene Leitungen (Art. 3 Ziff. 9 Starkstromverordnung).

Wesentliche technische und betriebliche Merkmale

Die Bemessung und Dimension des Kabelsystems hängen von den folgenden Merkmalen ab:

- Systemanforderungen an die Übertragungsleitung mit Berechnungen zur Belastbarkeit und weiteren Berechnungen
- Wahl der Kabelsystemtechnik (Kabel, Armaturen und Zubehör sowie Entwicklungstendenz)
- Verlegeart (Auswirkung auf Strombelastbarkeit, nichtionisierende Strahlung und weitere EMV-Phänomene, Wärmeabfuhr)
- Befestigungskonzept (Statik) und Montagetechnik (Raumbedarf, Zugänge, Montageöffnungen, Verkehrswege, Maschinen und Geräte)
- Ausführung des Erdungssystems (siehe Kapitel 5.2.1)
- Raumanforderungen für
 - Anordnung von Crossbonding und Kompensationsanlagen
 - Vorortprüfungen an den Kabelsystemen nach der Montage
 - Sekundärtechnik wie Monitoring
 - Betrieb und Instandhaltung (siehe Kapitel 4.5.2)

Wasserdichtigkeit und Brandverhalten von Hochspannungskabeln

Wegen den rauen Anforderungen wird im Aussenbereich bei Hochspannungskabeln meistens HDPE (High Density Polyethylen) als Aussenmantel verwendet, welches eine gute mechanische Eigenschaft aufweist und kein Wasser aufnimmt. Hinsichtlich des Brandschutzes erfüllt es jedoch keine besonderen Anforderungen.

Für die Anwendung in trockener Umgebung, wie im Kraftwerksbereich, in Tunneln und Werkleitungskanälen lässt sich das halogenfreie, flammwidrige Material FRNC (Flame Retardant Non Corrosive²¹) als Kabelmantel verwenden. FRNC-Kabel haben eine geringe Brandlast und Rauchgasentwicklung. Entsprechende Kabel sind in den Standards der internationalen elektrotechnischen Kommission (IEC) unter IEC 60332 und IEC 60754 spezifiziert. Das FRNC-Material hat jedoch hygroskopische Eigenschaften, d.h. dieses Material kann Feuchtigkeit aufnehmen und ist daher nicht für Aussenanwendung geeignet. Es erhöht zudem die Bruchigkeit des Mantelmaterials.

Für den Bereich des Eintritts in einen Tunnel werden die üblichen Kabel mit HDPE empfohlen mit einem zusätzlichen Schutzanstrich, welcher das Brand- und Rauchverhalten verbessert. Dieser Schutzanstrich ist jeweils auf dem ersten und letzten Abschnitt (Gebäudeein- und -austritt bis Muffenstelle) aufzutragen nach dem die Kabel installiert sind.

²¹ flammwidrig nicht ätzend



4.5.4 Sekundärtechnik zur Überwachung und zum Betrieb

Zusätzlich umfasst die Ausrüstung Überwachungssysteme und betriebliche Elemente, insbesondere bei einer Kabelverlegung in begehbaren Kanälen.

Überwachung

Monitoringsysteme zur thermischen und elektrischen Überwachung der Kabelanlage. Dazu zählen

- Teilentladungssensoren z.B. in den Verbindungsmuffen
- Temperaturmonitoring mittels Glasfasern in der Kabelkonstruktion oder auf dem Aussenmantel des Kabels

Die betriebliche Temperaturüberwachung dient dabei vorrangig der Bewertung der maximalen Belastbarkeit und Stromtragfähigkeit der Kabelanlage. Dadurch lässt sich kontrollieren, ob sie die Netzanforderungen erfüllen kann bzw. welche thermischen Reserven vorhanden sind. Zudem lassen sich mögliche lokale Temperaturerhöhungen der Kabel frühzeitig erkennen.

Die permanente Temperaturüberwachung ist nach Auffassung der Studienverfasser für Kabelsysteme der Netzebene 1 Stand der Technik und somit ein Muss, da ein Teil der Störungen auf ein zum Erd- oder Kurzschluss führendes Versagen der Isolation auf Überlast oder lokaler Überhitzung zurückzuführen ist.

Da Kurzschlüsse in Kabelsystemen fast immer zu Schäden an der Kurzschlussstelle führen, die eine sofortige Abschaltung erfordern, ist die automatische Wiedereinschaltung zu deaktivieren. Dadurch wird eine Änderung des Netzschutzkonzeptes erforderlich.

Bei begehbaren Kanälen

Zugehörige Sekundärtechnik:

- Lüftungssystem für Zuluft, Abluft
- Technische Ausrüstung für den Betrieb eines begehbaren Kanals wie Beleuchtung, Kommunikation usw.

4.5.5 Betriebliche Vorgaben

Anforderungen an die Verfügbarkeit von einzelnen Leitungssystemen

Die normalerweise hohe Verfügbarkeit einer Freileitung lässt sich bei einer Kabelanlage nicht ganz erreichen. Dies lässt sich an Hand von Daten zu den Ausfallhäufigkeiten aus [9] ermitteln. Ein Kabelausfall ist dennoch selten. Auf der gleichen Datenbasis ist zu ersehen, dass für ein Leistungssystem von 15 Kilometern Streckenlänge kaum mit einem Ausfall zu rechnen ist, welcher innerhalb der nominellen Lebensdauer von 40 Jahren eintritt.



Reservehaltung Kabel und Garnituren

Eine Kabelanlage hat prinzipiell eine kleine Fehleranfälligkeit, wegen der langen Reparaturdauer und der fehlenden automatischen Wiedereinschaltung jedoch eine lange Ausfalldauer. Es sind hauptsächlich Massnahmen nötig, um die Ausfalldauer zu reduzieren und damit eine längere Nichtverfügbarkeit der Kabelanlage zu verhindern.

Tabelle 4: Mögliche organisatorische Massnahmen

Bez.	Organisatorische Massnahmen	Aspekt
O-1	– Die Kabelschlaufen an den Kabelendverschlüssen und Muffenstellen müssen, wenn möglich, genügend gross sein, sodass im Falle von Reparaturen die Kabel geschnitten und nachgezogen werden können.	Betrieb / Unterhalt
O-2	– Um in einem seltenen Fall eines Kabelschadens diesen möglichst rasch zu beheben, kann der längste Teilabschnitt an Lager gelegt werden. Im Falle eines Fehlers auf einem anderen Abschnitt kann das Ersatzkabel entsprechend gekürzt werden.	Betrieb / Unterhalt
O-3	– Armaturen und Kabelzubehör, welches keine Verderblichkeit besitzt können an Lager gelegt werden. Für alle weiteren Teile soll der Zubehörlieferant ein Lager führen, wo durch Umwälzung das Material nicht verdirbt.	Betrieb / Unterhalt

Abschaltung von Leitungssystemen

Das Übertragungsnetz 380/220 kV in der Schweiz wird von der Netzleitstelle der nationalen Netzgesellschaft Swissgrid überwacht. Jegliches geplante oder kurzfristig notwendige Abschalten eines Leitungssystems kann nur von der Netzleitstelle ausgeführt werden.



4.6 Schutz der Verkehrsteilnehmer

Nichtionisierende Strahlung (NIS)

Der Aufenthalt auf der Strasse als Verkehrsteilnehmer²² ist nach der Vollzugshilfe zur NISV bei Hochspannungsleitungen (BAFU 2007) unter dem Begriff «Ort für den kurzfristigen Aufenthalt» (OKA) geregelt. Es sind Orte, die für Menschen zugänglich sind, aber nicht als Orte mit empfindlicher Nutzung (OMEN) gelten. Für 50 Hertz-Übertragungsleitungen ist dort der Immissionsgrenzwert von 100 μT für die magnetische Flussdichte einzuhalten. Nach Art. 14 Abs. 4 NISV sind die Immissionen für denjenigen Betriebszustand der Anlage zu ermitteln, bei dem sie am höchsten sind. Die Definition des massgebenden Stromes bestimmt sich dabei nach IEC 60287-1-1. Nicht geregelt ist nach der NISV (Art. 2 Abs. 3) die Begrenzung der Einwirkungen von Strahlung auf elektrische oder elektronische medizinische Lebenshilfen wie Herzschrittmacher.

Die OKA beginnen, gestützt auf Aussagen des Bundesamtes für Umwelt (BAFU), ab einem Messabstand von 0.2 m von begrenzenden Flächen. Die Einhaltung des Immissionsgrenzwertes für das Magnetfeld ist am nächstliegenden OKA zur Kabelanlage nachzuweisen:

- Bei der Strasse: 0.2 m über der Fahrbahn
- Bei der Bahn: 0.2 m über dem Fussboden²³ und 0.2 m ab den Aussenwänden des Schienenfahrzeuges

Bei einem Ereignis, bei dem die Verkehrsteilnehmer die Fahrzeuge verlassen und die Schutzräume aufsuchen müssen, gilt nach Auslegung des BAFU der Fluchtweg durch die Querverbindungen, den Sicherheitsstollen oder Werkleitungskanal nicht als OKA. Es können dort jedoch die Anforderungen an die Arbeitssicherheit des allgemeinen Arbeitspersonals massgebend werden (siehe Kapitel 4.7).

4.7 Arbeitssicherheit

Nichtionisierende Strahlung (NIS)

Die Mitarbeiter der nationalen Netzgesellschaft Swissgrid, sowie deren Beauftragte, gelten als Betriebspersonal und unterstehen nicht der NISV (Art. 2 Abs. 2 Bst. a NISV). Bei Arbeiten in der Nähe der Übertragungsleitung ist für diese Berufsgruppe der Grenzwert von 500 μT der Suva [11] für die magnetische Flussdichte einzuhalten²⁴.

Für anderweitiges Arbeitspersonal, wie jenes des Betreibers der Trägerinfrastruktur, ist der strengere Immissionsgrenzwert der NISV von 100 μT für die magnetische Flussdichte einzuhalten^{25 26}.

²² Verkehrsteilnehmer sind Fahrzeuglenker und Mitfahrende bei der Strasse sowie Bahnpassagiere bei der Bahn.

²³ Bei Niederflurzügen liegt der Fahrzeugboden ca. 0.4 – 0.6 m über der Oberkante Schiene.

²⁴ Laut [11] sind sie anwendbar für Beschäftigte in der Energieerzeugung und -Verteilung (Bahnen, Elektrizitätswerke, Industrie) und an Sendeanlagen.

²⁵ Laut [10], Seite 87, wird abgegrenzt: «Soweit eine Exposition von einem Arbeitsplatz von einer Quelle stammt, die nichts mit dem Betrieb zu tun hat, gelten die Anforderungen der NISV».

²⁶ Laut BAFU gelten die Arbeitsplätze dieses Personals nicht als OMEN, weil es sich nicht um Räume in Gebäuden handelt. Für Arbeitspersonal der Trägerinfrastruktur, welches die dortige Energieverteilung unterhält, ist laut [10] und [11] zu interpretieren, dass für sie ebenfalls der Grenzwert der Suva gilt.



Fluchtwege aus begehbaren Kanälen

Bei Kabelanlagen in begehbaren Kanälen stellen sich gesetzliche und normative Anforderungen zur Arbeitssicherheit, die sich aus der Art des Bauwerkes ableiten. Gestützt auf die in Kapitel 3.4 und 3.5 dargelegten und beurteilten Anordnungen ist dies bei der Anordnung A mit der Variante eines Werkleitungskanals WELK (siehe Varianten 2. Röhre Gotthard-Strassentunnel, Uetlibergtunnel oder San Bernardino-Tunnel in der Abbildung 1) oder bei der Anordnung D mit einem Sicherheitsstollen (SiSto) der Fall. Nach dem Arbeitsgesetz (ArG) müssen Arbeitsplätze, Räume, Gebäude und Betriebsgelände bei Gefahr jederzeit rasch und sicher verlassen werden können. Konkrete bauliche Anforderungen sind in der Verordnung 4 zum Arbeitsgesetz (ArGV 4) sowie in der Wegleitung zur ArGV 4 u.a. im Kapitel «Besondere Verhältnisse – unterirdische, begehbare Kanäle» festgeschrieben. Die ArGV 4 gilt grundsätzlich für Gewerbe- und Industriebetriebe. Aus Sicht SECO ist die ArGV 4 für Starkstromanlagen anzuwenden, auch wenn diese in einem langen, bergmännischen Tunnel verkabelt sind. Die ArGV 4 ist dagegen aus Sicht der Studienverfasser nicht für Verkehrstunnel anzuwenden, da ein Verkehrstunnel nicht mit einem Gewerbe- und Industriebetrieb gleichzusetzen ist (siehe Kapitel 7.2.3).

Im Zusammenhang mit der Bündelung sind zwei Arten von begehbaren Kanälen denkbar:

- Energie-Leitungstunnel (ELT) nach Norm SIA 205 als Anlagen mit zugänglichen Leitungen in Strassenräumen (Wasser, Telekommunikation, Elektrizität, Fernwärme, Abwasser). Sie sind zumindest gebückt begehbar. Sie könnten als Raum für die Kabelanlagen unterhalb der Fahrbahn auf offenen Nationalstrassenstrecken zum Einsatz kommen.
- Vom Fahrraum abgetrennte Werkleitungskanäle (WELK) und Sicherheitsstollen (SiSto) bei Bahn- und Strassentunnel sowie separate Werkleistungsstollen, die nach Norm SIA 197/2 meist als bergmännische Anlagen erstellt werden.

Die beiden Kanalarten unterscheiden sich markant in Bezug auf Tiefenlage und Zugänglichkeit von der Oberfläche. Während die in der Norm SIA 205 formulierten Anforderungen weitestgehend der Wegleitung zu Art. 8 in der ArGV 4 entsprechen, weicht der gebaute Standard in Tunnelanlagen davon ab. Die Fluchtweglängen sind meist länger, weil es bei bergmännischen Anlagen grundsätzlich schwieriger bzw. oft nicht möglich ist, unter vertretbarem Aufwand Aussenzugänge zu schaffen. Die Bewilligungsbehörden können aber verlangen, dass weitergehende Massnahmen untersucht und getroffen werden, um die Arbeitssicherheit vollumfänglich zu gewährleisten.

Bei Verkehrstunneln kommt es oft vor, dass die Fluchtwege bei Räumen, welche nur vom Arbeitspersonal der Trägerinfrastruktur betreten werden, wie beispielsweise einem Lüftungskanal oberhalb der Zwischendecke oder einem Werkleitungskanal unterhalb der Fahrbahn, nicht den Anforderungen der ArGV 4 entsprechen. So stehen die Norm SIA 197/2 und das Fachhandbuch Tunnel / Geotechnik des ASTRA auch teilweise im Widerspruch zur ArGV 4 bzw. der entsprechenden Wegleitung (z.B. Zugänge zur Zwischendecke, lichte Höhe im WELK oder Lüftungskanal).

Klima in begehbaren Kanälen

Umgebungsfaktoren, welche die Körpertemperatur beeinflussen, sind die Lufttemperatur, die Luftfeuchtigkeit, die Luftströmung und die Wärmestrahlung. Der Begriff des Klimas umfasst diese Umgebungsfaktoren. Bei tiefliegenden Tunneln, wie dem Gotthard-Strassentunnel, können in einem WELK Temperaturen von 30 – 35 °C und eine Luftfeuchtigkeit bis 80% auftreten, ohne dass ein Wärmeeintrag aus den Kabeln erfolgt. Bei einer Kabelanlage in einem WELK sind gleich hohe oder höhere Temperaturen zu erwarten, wenn dieser nicht belüftet ist.



Klimagrenzwerte sind hauptsächlich aus dem Untertagebau bekannt. Laut Suva-Publikation 1903.d [11] beträgt der Klimagrenzwert für Arbeiten im Untertagebau 28 °C Trockentemperatur. Dieser Grenzwert ist in Bereichen, in denen Arbeitnehmende über längere Zeit arbeiten, auch als Stundenmittelwert einzuhalten. Der Grenzwert leitet sich auch aus dem Klimadiagramm in der Abbildung 1 der Suva-Publikation 2869/26.d ab [12]. Es wird davon ausgegangen, dass keine sehr schwere körperliche Arbeit geleistet wird. Durch technische Massnahmen, d.h. eine effiziente Kühlung / Lüftung, ist zu garantieren, dass der oben genannte Grenzwert eingehalten wird. Bei kurzdauernden Arbeiten für Kontroll- und Überwachungsarbeiten ist auch ein Überschreiten des Grenzwertes von 28 °C Trockentemperatur möglich, solange der dort angegebene WBGT-Index 30 °C nicht überschritten wird.

Arbeiten an Höchstspannungsleitung und an parallelen Leitungen

Gemäss LeV Art 95 dürfen Hochspannungskabelleitungen mit grossen Erdschluss- bzw. Kurzschlussleistungen nur dann mit anderen Kabelleitungen parallel geführt oder gekreuzt werden, wenn Schutzmassnahmen gemäss der Starkstromverordnung (4. Kapitel) eine Gefährdung von Personen oder Sachen verhindern.

Bei einem Kurzschluss auch ausserhalb des Kabelsystems (z.B. auf der weiterführenden Freileitung) können grosse Kurzschlussströme innerhalb des Kabelsystems entstehen. Diese Kurzschlussströme können wiederum eine induzierte Spannung in anderen Kabelsystemen, speziell in parallel verlaufenden Kabelsystemen hervorrufen. Ebenso können Potentialdifferenzen im Potentialausgleichssystem entstehen (Schritt- und Berührungsspannungen). Diesem Umstand ist bei der Planung der Erdungskonzepts Rechnung zu tragen (siehe Kapitel 5.2.1, Erdung und Potentialausgleich)

Tabelle 5: Mögliche organisatorische Massnahmen Arbeitssicherheit

Bez.	Organisatorische Massnahmen	Aspekt
O-1	– Bei Kabelarbeiten an parallel verlaufenden Kabeln, sind diese, wenn immer möglich, ausser Betrieb zu nehmen. Bei langen parallel verlaufenden Kabeln ist die Ausserbetriebsetzung ein Muss.	Arbeitssicherheit
O-2	– Kleinere Arbeiten von kürzerer Dauer in der Nähe von ungeschützten Kabeln können eine Sicherheitsausschaltung verlangen.	Arbeitssicherheit
O-3	– Die vorübergehende Gefährdung bei Bau und Unterhalt der beiden Infrastrukturen im Sinne von Art. 10 LeV ist zwischen den Betriebsinhaberinnen der 380/220 kV-Kabelleitung und der Nationalstrasse bzw. der Eisenbahn zu vereinbaren.	Arbeitssicherheit
O-4	– Spezielle Verlegung der Niederspannungskabel in EMV-geschützten Kanälen und/oder optimierte Erdung von parallel verlaufenden Kabelsystemen	EMV



Projektspezifische Nachweise und Abklärungen:

EMV-Studie mit u.a. mit Blitz- und Überspannungsstudie unter Berücksichtigung der max. Kurzschlussströme.

Berechnung der Schritt- und Berührungsspannungen.

Bestimmen von einem abgestimmten Erdungssysteme bzw. Potentialausgleichssysteme (siehe Kapitel 5.2.1, Erdung und Potentialausgleich).

4.8 Gegenseitige Beeinflussung

Im Betrieb

EMV-Phänomene des Hochspannungskabelsystems, wie z.B. induzierte Spannungen in parallel geführten metallischen Leitern oder Erdschlussströme und Abwärme können andere elektrische Infrastrukturen der Trägerinfrastruktur stark beeinflussen. Diese Systeme müssen daher möglichst örtlich getrennt und zwingend voneinander geschützt werden.

Durch die Trennung des Tunnelquerschnittes in einen Verkehrsraum und in einen WELK wird die gegenseitige Beeinflussung bei sachgemäsem Erdungskonzept minimiert (Strasse und Strom getrennt).

In der nachstehenden Tabelle sind die wesentlichen gegenseitigen Beeinflussungen - Effekte von der auslösenden Infrastruktur auf die betroffene Infrastruktur – für den Betriebszustand beschrieben. Sie beziehen sich auf die Tunnelanordnungen. In analoger Weise gelten sie auch für die offenen Anordnungen und Brückenanordnungen.

Tabelle 6: Gegenseitige Beeinflussung im Betrieb

Auslösende Infrastruktur	Durch Effekte im Betriebszustand	Betroffene Infrastruktur	Zustand
Bahn	Rückströme der Fahrleitung in das Netz der Stromversorgung: Mögliche Potentialverschleppung. Gefahr einer Spannungserhöhung (Schritt- und Berührungsspannung) bei Erdkurzschluss an Kabelmänteln und Phasenleitern.	Strom	Normalbetrieb
Bahn	Unfälle jeglicher Art oder Evakuierungen von Zügen im Tunnel: An Flüchtende (Fluchtweg teilweise oberhalb der Stromleitung, wenn im Bankett angeordnet) gelten keine NIS-Anforderungen, da es sich um keinen OKA handelt. Der in der NISV festgelegte Immissionsgrenzwert für die magnetische Flussdichte ist aber einzuhalten, wenn auch Arbeitspersonal der Trägerinfrastruktur den Gehweg benutzt. Vorsorgliche Abschaltung sollte vorbehalten bleiben, wenn Züge im Tunnel zu evakuieren sind (ev. Personen mit Herzschrittmacher betroffen).	Strom	Normalbetrieb
Bahn	Streckenunterbruch: Grundsätzlich kein Einfluss auf die Stromübertragung und die Wartung. Der Zugang zur Leitung (Muffennischen) kann aber behindert sein.	Strom	Normalbetrieb
Strasse	Kollisionsunfälle ohne Brand (inkl. Bergung): Grundsätzlich kein Einfluss auf die Stromübertragung. An Flüchtende im WELK gelten keine NIS-Anforderungen, da es sich um keinen OKA	Strom	Normalbetrieb



Auslösende Infrastruktur	Durch Effekte im Betriebszustand	Betroffene Infrastruktur	Zustand
	handelt. Der in der NISV festgelegte Immissionsgrenzwert für die magnetische Flussdichte ist aber einzuhalten, wenn auch Arbeitspersonal der Trägerinfrastruktur den WELK benutzt. Vorsorgliche Abschaltung sollte vorbehalten bleiben, wenn der Aufenthalt von Flüchtenden im WELK eintritt (ev. Personen mit Herzschrittmacher betroffen). Bei Brand: siehe Tabelle 8		
Strasse	Tunnelsperrungen: bleibt grundsätzlich ohne Einfluss auf die Stromübertragung. Der Zugang zur Leitung (Muffennischen) ist aber verhindert.	Strom	Normalbetrieb
Strasse	Verkehrsmanagement / Staus: Der Verkehrszustand hat grundsätzlich keinen Einfluss auf die Stromübertragung oder die Wartung. Der Zugang zur Leitung (Muffennischen) kann aber behindert sein.	Strom	Normalbetrieb
Strom	Wärmeabfuhr in den Bahntunnel / Strassentunnel: Die Energieverluste in der Kabelanlage können direkt über die Luft (im WELK) oder indirekt über die umgebenden Bauteile den Verkehrsraum oder technische Räume aufwärmen. Dies generiert einen zusätzlichen Wärmeeintrag zur Erdwärme.	Strasse/ Bahn	Normalbetrieb
Strom	NIS auf Verkehrsteilnehmer: Verkehrsteilnehmer können durch die elektromagnetischen Felder in ihrer Gesundheit oder ihrem Wohlbefinden beeinträchtigt werden, siehe Kapitel 4.6.	Strasse/ Bahn	Normalbetrieb
Strom	EMV-Beeinflussung der BSA- / Bahntechnikanlagen: Durch Überspannungen, u.a. durch einen Blitzeinschlag, Schalthandlungen mit transienten Überspannungen und internen und externen Fehlerfällen im Kabelsystem, können sich diese in andere Infrastrukturkomponenten einkoppeln. Durch magnetische Felder, die durch den normalen Laststrom und durch Kurzschlussströme in der Übertragungsleitung oder durch die Verbindung unterschiedlicher Erdungssysteme erzeugt werden, können fremde elektrische Systeme störend beeinflusst werden. Rückleitende Ströme wirken über die Erde im Kurzschlussfall.	Strasse/ Bahn	Normalbetrieb

Beim Unterhalt

Sind der Verkehrsraum und die Kabelanlage räumlich nicht getrennt, wird für die Zugänglichkeit der Verkehrsraum benötigt. In diesem Fall muss die Verlegung von Ersatzkabeln in den Tunnelnischen (Ausstellbuchten) über Muffenschächte oder Kabelzugschächte erfolgen.

Durch die Trennung des Tunnelquerschnittes in einen Verkehrsraum und in einen WELK wird die Flexibilität für den Einzug der Stromkabel erhöht (Strasse / Strom getrennt) und es lässt sich die Kabellage vom Tunnelportal aus vorzunehmen ohne dass der Verkehrsraum beeinträchtigt wird. Die Kabel sind u.U. über grössere Strecken durch den WELK zu ziehen.



In der nachstehenden Tabelle sind die wesentlichen gegenseitigen Beeinflussungen für den Zustand, dass in einer Infrastruktur Unterhaltsarbeiten stattfinden - beschrieben. Sie beziehen sich auf die Tunnelanordnungen. In analoger Weise gelten sie auch für die offenen Anordnungen und Brückenanordnungen.

Tabelle 7: Gegenseitige Beeinflussung beim Unterhalt

Auslösende Infrastruktur	Zustand	Effekte	Betroffene Infrastruktur	Zustand	Bei Anordnung
Strom	Normalbetrieb	Induzierte Längsspannungen: Auftreten von gefährlich hohen Berührungsspannungen bei Unterhaltsarbeiten an der Bahn/Strasse (Elektrisieren, kleine Lichtbögen) NIS auf Arbeitspersonal: der Trägerinfrastruktur Bahn/Strasse	Bahn/Strasse	Unterhalt	v.a. wenn räumlich nicht getrennt
Strasse	Unterhalt	Unterhaltsarbeiten (Instandsetzungen): Kabelleitung (Kabel, Muffen) kann durch Bauarbeiten beschädigt werden. Bei Instandsetzungsarbeiten Abschaltung notwendig, besonders wenn unterhalb der Fahrbahn	Strom	Normalbetrieb	räumlich nicht getrennt
Bahn	Unterhalt	Gleis- und Unterbauerneuerung: Abschaltung ist voraussichtlich nötig (insbesondere bei Kabeln im Schotterbett). – Der der NISV festgelegte Immissionsgrenzwert für die magnetische Flussdichte ist einzuhalten (hinsichtlich Arbeitspersonal der Trägerinfrastruktur). – Kabelleitung (Kabel, Muffen) kann durch Bauarbeiten am Bankett beschädigt werden.	Strom	Normalbetrieb	räumlich nicht getrennt
Strasse / Bahn	Unterhalt	Unterhaltsarbeiten an parallelen Leitungen: erzwingen aus Sicherheitsgründen Abschaltung der Kabelanlage	Strom	Normalbetrieb	v.a. wenn räumlich nicht getrennt
Strom	Unterhalt	Wartung / visuelle Kontrollgänge / Prüfungen vor Ort: Zugang über WELK oder SiSto: Ohne Einfluss auf den Verkehr.	Strasse	Normalbetrieb	räumlich getrennt
Strom	Unterhalt	Wartung / visuelle Kontrollgänge / Prüfungen vor Ort: Zugang über Tunnel, Fahrzeuge in Ausstellbuchten. Grundsätzlich ohne Einfluss auf den Verkehr.	Strasse	Normalbetrieb	räumlich nicht getrennt
Strom	Unterhalt	Wartung / visuelle Kontrollgänge / Prüfungen vor Ort: Streckenkontrollen zu koordinieren mit dem Bahndienst	Bahn	Normalbetrieb	räumlich nicht getrennt



Auslösende Infrastruktur	Zustand	Effekte	Betroffene Infrastruktur	Zustand	Bei Anordnung
Strom	Unterhalt	Kabelverlegung / grosse Unterhaltsarbeiten: Zugang über WELK oder SiSto: Ohne Einfluss auf den Verkehr.	Strasse	Normalbetrieb	räumlich getrennt
Strom	Unterhalt	Kabelverlegung / grosse Unterhaltsarbeiten: Zugang über Tunnel, Verkehr muss unterbrochen werden, wenn Schwerlastfahrzeuge aus Platzgründen nicht in Ausstellbuchten ausfädeln lassen. In diesem Fall Tunnelsperrung nötig.	Strasse	Normalbetrieb	räumlich nicht getrennt
Strom	Unterhalt	Kabelverlegung / grosse Unterhaltsarbeiten: Einrichtung von Wochenend- oder Nachtsperren mit Bahnersatzverkehr erforderlich	Bahn	Normalbetrieb	räumlich nicht getrennt

Hinsichtlich Sicherheit

In der nachstehenden Tabelle sind die wesentlichen gegenseitigen Beeinflussungen infolge von grossen Ereignissen beschrieben. Sie beziehen sich auf die Tunnelanordnungen. In entsprechender Weise gelten sie auch für die offenen Anordnungen und Brückenanordnungen. Die Risikoanalyse dazu befindet sich in der Beilage 2 «Risikoveränderungen durch multifunktionale Infrastrukturen», eine Zusammenfassung im Kapitel 4.9.

Tabelle 8: Gegenseitige Beeinflussung hinsichtlich Sicherheit

Auslösende Infrastruktur	Ereignisse	Betroffene Infrastruktur	Bei Anordnung
Strasse / Bahn	Brand im Tunnel: Beschädigung der Stromleitung unwahrscheinlich, weil wenig exponiert auf thermische Einwirkung). An Flüchtende im WELK gelten keine NIS-Anforderungen, da es sich um keinen OKA handelt. Der in der NISV festgelegte Immissionsgrenzwert für die magnetische Flussdichte ist aber einzuhalten, wenn auch Arbeitspersonal der Trägerinfrastruktur den WELK benutzt. Vorsorgliche Abschaltung sollte vorbehalten bleiben, wenn der Aufenthalt von Flüchtenden im WELK eintritt (ev. Personen mit Herzschrittmacher betroffen).	Strom	A oder D: räumlich getrennt
Strasse / Bahn	Brand im Tunnel: Beschädigung der Stromleitung nicht ausschliessbar, weil exponiert auf thermische Einwirkung. Abschaltung nötig, wenn Alarm durch Temperaturmessung ausgelöst wird.	Strom	A oder B: räumlich nicht getrennt
Strom	Kurzschluss in Stromleitung mit Explosionswirkung: Schäden an Trägerinfrastruktur sind möglich. Fahrraum, d.h. Strassen- oder Bahnverkehr eher wenig betroffen. Tunnel ist aber zu sperren, sobald Fluchtweg nicht mehr funktionstüchtig ist. Ungeplante Instandsetzung beansprucht aber Platz im Tunnel. Mit Einschränkungen ist zu rechnen.	Strasse/ Bahn	A oder D: räumlich getrennt



Auslösende Infrastruktur	Ereignisse	Betroffene Infrastruktur	Bei Anordnung
Strom	Kurzschluss in Stromleitung mit Explosionswirkung: Schäden an Trägerinfrastruktur sind möglich. Tunnel ist für einen bis mehrere Tage zu sperren. Ungeplante Instandsetzung beansprucht aber Platz im Tunnel. Mit Einschränkungen ist zu rechnen.	Strasse	A - räumlich nicht getrennt
Strom	Kurzschluss in Stromleitung mit Explosionswirkung: Schäden an Trägerinfrastruktur (Bankett, andere Kabel) sind möglich. Ungeplante Instandsetzung (Aufspitzen) beansprucht ev. verlängerte Nachtspernung / Wochenendspernung / Totalspernung des Tunnels.	Bahn	B - räumlich nicht getrennt

4.9 Risikoveränderungen durch Bündelung

Dieses Kapitel ist eine Zusammenfassung der Beilage 2 «Risikoveränderungen durch multifunktionale Infrastrukturen». Die umfassende Herleitung der Risiken ist in dieser Beilage festgehalten. Untersucht wurden, welche Risikoveränderungen die Bündelung von Übertragungsleitungen mit Nationalstrassen und Eisenbahnanlagen nach sich ziehen und welche Anteile der Risikoveränderung von den Betreibern der Trägerinfrastrukturen und von der Swissgrid (Mitbenützer) beigetragen werden. Ferner wird beleuchtet, ob diese Risiken akzeptabel sind und welche Massnahmen zur Risikominderung ergriffen werden können.

4.9.1 Aufbau der Risikoanalyse

Die Risikoanalyse der ungebündelten und gebündelten Systeme erfolgte anhand ausgewählter Szenarien, bei denen erhebliche Schadenausmasse zu erwarten sind. Konkret wurden folgende Ereignisse betrachtet:

- Brand von Fahrzeug
- Anprall Fahrzeug
- Freisetzung von Gefahrgut (Strasse)
- Brand von Güterzug
- Anprall von Zug
- Freisetzung von Gefahrgut (Bahn)
- Kurzschluss, Brand, Druckwelle
- Gasaustritt (aus Kabelleitungen)
- Erdbeben
- Lawinen
- Hochwasser
- Bombenanschlag auf Infrastruktur
- Cybercrime
- Spontanes Bauwerkversagen
- Externes Grossereignis

Für das Schadenausmass werden drei Indikatoren herangezogen:

- Personenschäden (Todesopfer, verletzte Personen)
- Direkte Sachschäden
- Indirekte Schäden (Folgeschäden wie z.B. Mehraufwand wegen Umwegfahrten)



Um das gesamte Schadensausmass zu aggregieren und vergleichbar zu machen, werden die drei verschiedenen Schadenindikatoren monetarisiert, der Schaden wird in CHF ausgedrückt.

Da der vorliegenden Studie keine konkreten Bündelungsprojekte zugrunde liegen, werden die Ereignishäufigkeiten der betrachteten Szenarien jeweils auf einen Kilometer ungebündelte bzw. gebündelte Strecke ermittelt. Das Schadensausmass der Szenarien wurde jeweils global abgeschätzt, d.h. ungeachtet einer spezifischen Bündelungsanordnung. Diese normierten Vergleichswerte erlauben einen Vergleich zwischen ungebündeltem und gebündeltem Fall.

In der Risikoanalyse werden die Resultate aufgegliedert nach

- den Streckentypen (offene Strecke, Kunstbauten und Tunnel), weil diese eine unterschiedliche Exposition gegenüber ausgewählten Szenarien aufweisen.
- der Intensität der Streckenbenutzungen, weil diese eine unterschiedliche Eintretenswahrscheinlichkeit der berücksichtigten Szenarien zur Folge haben. Die Streckenbenutzungen wird auf der Strasse als durchschnittlicher täglicher Verkehr (DTV) beziehungsweise bei der Bahn als Zugfahrten pro Tag ausgewiesen.

4.9.2 Erkenntnisse aus der Risikoanalyse

Massgebende Szenarien

Die Risiken der oben genannten Szenarien für den ungebündelten und gebündelten Fall sind in der Abbildung 8 dargestellt.

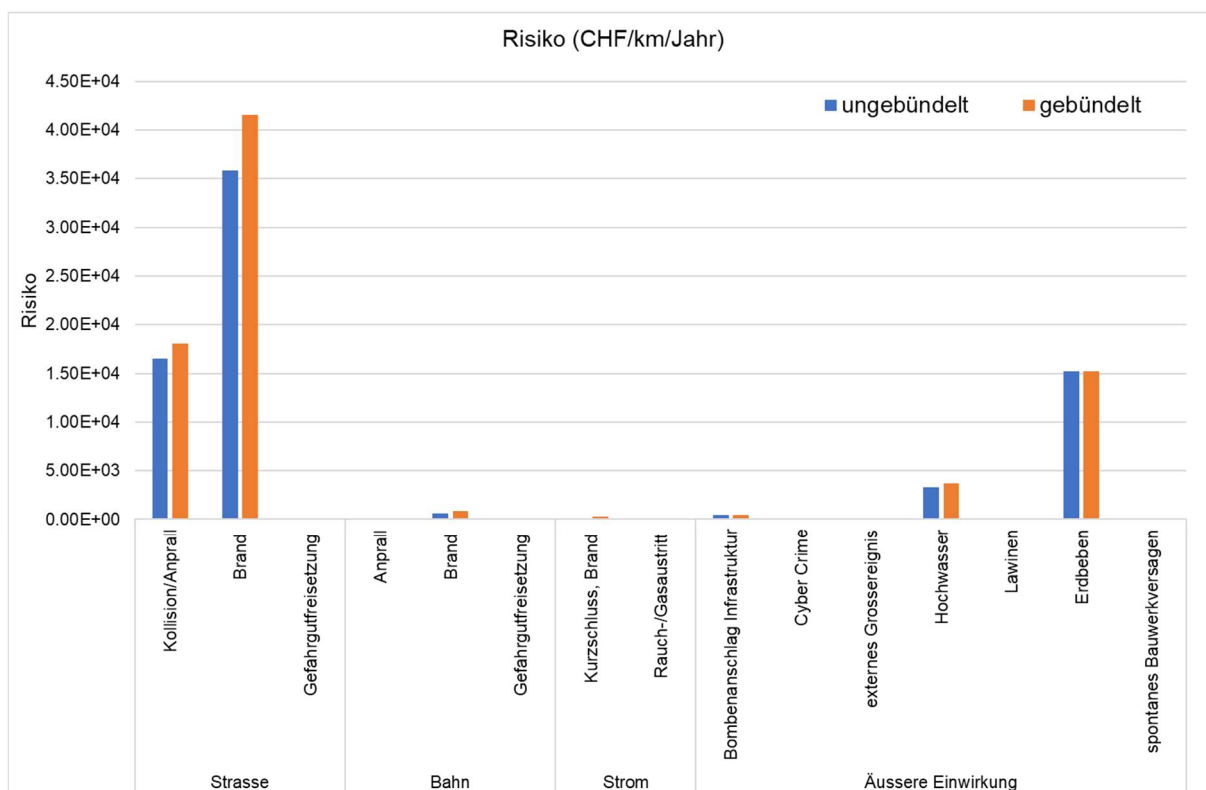


Abbildung 8: Risiko der betrachteten Szenarien (monetarisiert, normiert auf 1 km Länge, pro Jahr)

In der Analyse stechen die folgenden vier Szenarien «Kollision/Anprall Strasse», «Brand Strasse», «Hochwasser» und «Erdbeben» hervor:

Bei einer Bündelung mit der Strasse als Trägerinfrastruktur ist bei den dominierenden Szenarien Kollision/Anprall und Brand mit einer leichten Erhöhung der Risiken zu rechnen. Diese Erhöhung beruht hauptsächlich auf der Zunahme des Schadenausmasses in Strassentunnel. Bei der Bündelung mit der Bahn als Trägerinfrastrukturen sind bei den entsprechenden Szenarien die Risiken und die Risikoerhöhung deutlich tiefer. Beim Szenario eines Erdbebens ist mit Schäden über eine grössere Fläche zu rechnen. Hier ist aus der Analyse kein Unterschied des Risikos zwischen einer ungebündelten und einer gebündelten Variante zu erwarten. Beim Szenario Hochwasser ist in der gebündelten Variante mit einem etwas grösseren Risiko zu rechnen, weil bei offenen Strecken, die überschwemmt werden, das Wasser in die Leitungskanäle unter oder neben der Trägerinfrastruktur eindringen kann. Die Risikoerhöhung bei den oben betrachteten Szenarien betrifft alle gebündelten Infrastrukturen, verursacht wird sie zum grössten Teil durch die beiden Trägerinfrastrukturen.

Wird die Risikoanalyse nach einzelnen Streckentypen aufgegliedert, zeigt sich, dass die Risiken bei einer Bündelung im Tunnel leicht höher sind im Vergleich mit einer ungebündelten Variante, bei der die Stromleitung über den Berg führt. Grund dafür ist das grössere Schadenausmass der Szenarien Kollision/Anprall beziehungsweise Brand. Auf offenen Strecken unterscheiden sich die Risiken zwischen einer ungebündelten und einer gebündelten Variante nur marginal.



Veränderung des Risikoprofils durch Bündelung

Je nach geografischer Lage eines ungebündelten beziehungsweise gebündelten Streckenabschnitts ergeben sich unterschiedliche Risikoprofile. Eine Strecke im Alpenraum ist anderen äusseren Einwirkungen ausgesetzt als eine Strecke im Mittelland. In der Beilage 2 «Risikoveränderungen durch multifunktionale Infrastrukturen» werden dazu zwei Beispiele untersucht.

Tragbarkeit der Risiken

Die Tragbarkeit der Risiken in Bezug auf Personenschäden wurde anhand von zwei Akzeptanzkriterien für Strassenbenützer und Bahnreisende untersucht. In der Beilage 2 «Risikoveränderungen durch multifunktionale Infrastrukturen» ist dies ausführlich dokumentiert. Sowohl im ungebündelten als auch im gebündelten Fall liegen die Risiken für alle betrachteten Szenarien auf einem tiefen Risikoniveau, das heisst unterhalb oder im Bereich der vom ASTRA bzw. BAV/SBB/BLS definierten Grenzwerte für Todesfallraten bei Strassen- und Bahnbenutzungen. Die Risiken sind in beiden Fällen vornehmlich durch die Trägerinfrastrukturen gegeben.

Beurteilung der Anordnungen

Wollte man die Risiken auf der Ebene der einzelnen Bündelungsanordnungen quantitativ bestimmen, so müssten die Wirkungsmechanismen für jedes Szenario im Detail untersucht werden, um die spezifischen Schadensausmasse und deren Wahrscheinlichkeiten zu ermitteln. Solche Analysen setzen jedoch konkrete Bündelungsprojekte voraus, in dem Abmessungen, Kabelanordnungen, verkehrliche Belastung, Sicherheitsmassnahmen usw. geklärt sind, was im Rahmen dieser Studie nicht gegeben war.

Die verschiedenen Anordnungsmöglichkeiten bei einer Bündelung wurden deshalb qualitativ miteinander verglichen (siehe Abbildung 9). Die sicherheitsorientierte Bewertung erfolgte dabei gemäss folgenden Kategorien:

Tabelle 9: Kategorien der sicherheitsorientierten Bewertung der Bündelungsanordnungen

Kategorie	Bedeutung
++	Sehr gute Schutzfunktion
+	Gute Schutzfunktion
0	Schutzfunktion genügend
-	Mangelnde Schutzfunktion
--	Schlechte Schutzfunktion



Bündelungs- anordnung	A.	B.	D.	E.	F.	G.
Brand Strasse	–		+	–	0	–
Anprall Strasse	+		++	+	++	+
Freisetzung Gefahrgut Strasse	–		+ / 0	–	0	–
Brand Bahn		–	+	–	0	–
Anprall Bahn		--	++	+	++	+
Freisetzung Gefahrgut Bahn		--	+ / 0	–	0	–
Kurzschluss/Lichtbogen/Druckwelle Strom	0	–	+	0	+	0
Gas-/Rauchfreisetzung Strom	0	--	++	0	+	0
Erdbeben	--	--	--	--	--	--
Lawine	++	++	++	++	++	++
Hochwasser	–	–	–	--	--	0
Anschlag	–	–	0	++	++	--
Cybercrime	--	--	--	--	--	--
Bauwerksversagen						--
Externes Grossereignis	++	++	++	–	–	–

Abbildung 9: Qualitative Beurteilung der verschiedenen Anordnungen A – G für die einzelnen Szenarien (Vergleich in der Horizontalen, d.h. in der gleichen Beurteilungskategorie – keine Gesamtbewertung)

Aus Sicht der Sicherheit ist eine möglichst grosse räumliche Trennung zwischen den beiden gebündelten Infrastrukturen vorteilhaft. Daher werden im Tunnel die Anordnungen A und D aus Sicht Sicherheit günstiger beurteilt als die Anordnung B; auf offener Strecke wird die Anordnung F günstiger beurteilt als die Anordnung E.

Dabei wird berücksichtigt, dass die Anordnung A für die Bündelung Strasse – Strom, die Anordnung B hingegen für die Bündelung mit der Bahn von Bedeutung ist. Bauwerksversagen ist ein Szenario, welches nur für Kunstbauten betrachtet wird. Auf offener Strecke sowie im Tunnel ist spontanes Bauwerksversagen nach Inbetriebnahme nicht von Bedeutung.

Da es sich bei den Anordnungen nicht um Varianten handelt, ist ein Gesamtvergleich der Bündelungsanordnungen nicht zweckmässig. Die qualitative Beurteilung in der Tabelle beschränkt sich auf den Vergleich pro Szenario.



Massnahmen aus Sicht Sicherheit

Für die verschiedenen Bündelungsanordnungen wurden organisatorische, bauliche und technische Massnahmen identifiziert, die die Eintretenswahrscheinlichkeit oder das Schadenausmass eines Szenarios reduzieren können. Für die Massnahmen wurden Investitions- und Betriebskosten sowie die erzielbare Risikoreduktion abgeschätzt und daraus die Kostenwirksamkeit der Massnahmen ermittelt. Es zeigt sich, dass organisatorische Massnahmen ein günstiges Kostenwirksamkeitsverhältnis aufweisen. Sie erzeugen bei verhältnismässig tiefen Kosten eine spürbare Risikoreduktion. Gleiches gilt für das zweckmässige Anordnen der Muffen. Diese und weitere bautechnischen Massnahmen bilden zusammen die Anforderungen an die Bündelung, welche im Kapitel 5 dargelegt werden.



5 Anforderungen bei der Bündelung

5.1 Voraussetzungen

Die Bündelung ist grundsätzlich einer alternativen Lösung vorzuziehen, wenn sie aus der Anwendung des BFE-Bewertungsschemas für Übertragungsleitungen, z.B. im Rahmen eines Sachplanverfahrens, als beste Variante beurteilt wird. Dies ist der Fall, wenn eine Abwägung der zu Grunde gelegten Kriterien der Pfeiler „Raumentwicklung“, „Umweltschonung“, „technische Aspekte“ und „Wirtschaftlichkeit“ insgesamt zum besten Resultat führt.

Dabei vorauszusetzen ist, dass sich die Bündelung von Übertragungsleitungen mit Nationalstrassen und Eisenbahnstrecken an den folgenden Grundanforderungen orientiert:

- Risiken aus der Bündelung liegen im akzeptierbaren Bereich und alle Massnahmen mit angebrachtem Kosten-Nutzen-Verhältnis werden umgesetzt. Gegenseitige Behinderungen durch die Bündelung lassen sich reduzieren.
- Gegenüber einer ungebündelten Verkabelung lassen sich durch Synergieeffekte Kosten einsparen.
- Umweltverträglichkeit ist durch die haushälterische Bodennutzung gewährleistet, auch unter Berücksichtigung des Anschlusses an das bestehende Freileitungsübertragungsnetz durch Übergangsbauwerke.

Bündelungen können sich aber auch lohnen, wenn der Nutzen bei den Aspekten Raumentwicklung und Umwelt deutlich grösser ist als bei einer ungebündelten Variante, selbst wenn der Kostenvorteil dahinfällt.

Ob sich das Ziel der haushälterischen Bodennutzung erreichen lässt, hängt davon ab, ob eine vorhandene Trägerinfrastruktur²⁷ mehrfach genutzt werden kann (sogenannte multifunktionale Nutzung) oder ob es sich höchstens um eine Parallelführung handelt (Bündelung).

Im Einzelnen sind damit die nachfolgenden Anforderungen verbunden.

5.2 Bautechnische Anforderungen

5.2.1 Allgemeine Anforderungen

Brandverhalten der Kabel

Bei Bündelungsvorhaben mit der Strasse und der Bahn sind die Klassifikationen betreffend Brandverhalten der Kabel und die dabei anzuwendenden Prüfanforderungen für die jeweiligen Trägerinfrastrukturen zu berücksichtigen. Diese Regelungen basieren auf der Bauprodukteverordnung bzw. der SN EN 50575 und weichen von den bisherigen Prüfanforderungen für Hochspannungskabel ab. Die Prüfanforderungen sind deswegen nicht direkt vergleichbar (siehe Tabelle 10).

²⁷ bzw. das Nationalstrassen- oder Eisenbahnareal



Mit der Einführung einheitlicher Regeln für die Bewertung von Bauprodukten in der Europäischen Union sind seit 2016 alle Installations-Kabel bezüglich des Brandverhaltens für allgemeinen Anwendungen in Gebäuden zu prüfen und zu klassifizieren. Gemäss der Bauprodukteverordnung bzw. der SN EN 50575 dürfen Hersteller Kabel nur noch mit einer Leistungserklärung in Verkehr bringen. Weil Hochspannungskabel der Netzbetreiber bisher nicht im öffentlichen Bereich eingesetzt wurden, waren sie bisher nicht davon betroffen. Bei einer Bündelung ändert sich jedoch diese Randbedingung.

Tabelle 10: Klassifizierung und Prüfanforderungen an Kabel

Allgemeine Anwendungen: Klassifizierung des Brandverhaltens von Kabeln nach SN EN 13501-6		Prüfungen zum Brandverhalten von Hochspannungskabeln der Netzbetreiber
Hauptklassen A_{ca}-F_{ca}	– Wärmefreisetzung – Flammausbreitung	– schwere Entflammbarkeit nach SN EN 60332-1 – verminderte (bzw. geringe) Brandfortleitung nach SN EN 60332-3-24
Zusatzklassen	– Rauchentwicklung – Brennendes Tropfen – Bildung korrosiver Gase (Azidität)	– geringe Rauchdichte (minimale Rauchentwicklung) nach SN EN 61034-1 / SN EN 61034-2 – geringe Toxizität (Halogenfreiheit, keine korrosiven Gase) nach SN EN 60754-1 / SN EN 60754-2

Strasse: Die Klassifizierung gemäss der SN EN 13501-6 wurde übernommen. Bei Kabelanlagen, die auf allen Nationalstrassen eingesetzt werden (i.d.R. bis 50 kV), definiert das ASTRA die Anforderungen im Merkblatt 23 001-12130 Kabel folgendermassen:

- Offene Strecke: flammhemmend und halogenfrei (Klassifizierung des Brandverhaltens: F_{ca})
- In Tunnel > 100 m, WELK, SiSto und Kabelrohrblöcken werden Kabel der Klasse C_{ca}-s1,d1,a1 verlangt.
- Dient ein WELK gleichzeitig als Fluchtstollen müssen Kabel der Klasse B2_{ca}-s1,d1,a1 eingesetzt werden.
- Wenn Hochspannungskabel in eigenen Rohrblöcken geführt werden, gilt Kabelklasse F_{ca}. Werden Hochspannungskabel in WELK geführt, gelten die höheren Anforderungen des WELK.

Bahn: Die Klassifizierung gemäss der SN EN 13501-6 wurde soweit teilweise übernommen. Bei Kabelanlagen im Bereich der Eisenbahninfrastruktur sind die Ausführungsbestimmungen zur Eisenbahnverordnung AB-EBV zu Art. 44, Art 44b, Ziffer 4 für das Brandverhalten der Kabel anzuwenden. Kabel in Tunneln sowie an besonderen Orten müssen folgende Merkmale aufweisen:



- schwere Entflammbarkeit
- verminderte Brandfortleitung
- geringe Rauchdichte
- geringe Toxizität

Sie erfüllen diese Voraussetzungen, wenn sie eine der nachfolgenden Anforderungen einhalten:

- Klassifikation B2_{ca}, s1a, a1 nach der Entscheidung der Kommission 2006/751/EG²⁸
- Oder Konformität mit
 - SN EN 60332-3-24 (Geringe Brandfortleitung)
 - SN EN 61034-1 / SN EN 61034-2 (minimale Rauchentwicklung)
 - SN EN 60754-1 / SN EN 60754-2 (Halogenfreiheit, keine korrosiven Gase)²⁹

Das Flame Retardant Non Corrosive (FRNC)-Mantelmateriale bei Hochspannungskabel erfüllt im Minimum die Brandschutzklasse E. Da der Einsatz von Höchstspannungskabel 380/220 kV bisher im Bahnbetrieb und bei ASTRA-Anlagen nicht vorgesehen waren, sind im konkreten Projekt die Detailanforderungen an das Brandverhalten mit dem Betreiber der Trägerinfrastruktur zu klären.

Gemäss der AB-EBV zu Art. 44, Art 44b, Ziffer 4 kann die geforderte Klasse der verminderten Brandfortleitung auch durch eine geeignete Verlegung oder durch einen geeigneten Kabelschutz erreicht werden.

Verlegung von Kabelleitungen

Für die Verlegung der Kabelleitung sind die Vorschriften der Leitungsverordnung (LeV) vollumfänglich einzuhalten. Im Wesentlichen sind dies die Verlegevorschriften, die Abstandsvorschriften bei Parallelführung von Kabelleitungen unter sich oder anderen Anlagen, der Störschutz, das Vermeiden von Beeinflussungen durch Leitungen, das Verhältnis zu anderen Leitungen oder Infrastrukturen sowie der Brandschutz.

Projektspezifische Nachweise und Abklärungen:

Im Bündelungsperimeter sind folgende Nachweise zu erbringen:

- a) Vorschriften werden gemäss Leitungsverordnung (LeV) eingehalten, namentlich zu Art. 7, Art. 8 und Art. 9 in allen Betriebszuständen und Fehlerfällen der Kabelleitung.
- b) Massnahmen werden gemäss Art. 95 LeV getroffen, wodurch eine gegenseitige Gefährdung von Personen oder Sachen bei Parallelführung oder Kreuzung der Übertragungsleitung mit anderen Kabelleitungen verhindert wird.

²⁸ entspricht Klassifizierung gemäss der SN EN 13501-6

²⁹ oder konform mit SN EN 50267-2-1 / SN EN 50267-2-2 (Korrosivität von Brandgasen)



Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)

Laut Art. 7 der Leitungsverordnung (LeV) müssen elektrische Leitungen, soweit dies ohne ausserordentlichen Aufwand möglich ist, so erstellt, geändert und instandgehalten werden, dass sie in allen Betriebszuständen den bestimmungsgemässen Betrieb anderer Stark- oder Schwachstromanlagen und anderer elektrotechnischer Einrichtungen nicht in unzumutbarer Weise stören.

Gemäss dem Beeinflussungsmodell sind Massnahmen zur Verringerung der elektromagnetischen Beeinflussung auf folgende Art und Weise möglich:

- Unterdrückung der Entstehung von Störgrössen durch Vorkehrungen direkt an der Störquelle.
- Unterdrückung / Abschwächung der Störgrössen-Ausbreitung durch Massnahmen am Übertragungsweg.
- Erhöhung der Stör- und Zerstörfestigkeit der Senke (soweit beeinflussbar).
- Entkopplung zwischen Quell- und Senkensystem durch Partitionierung in unterschiedliche elektromagnetische Zonen.
- Organisatorische Massnahmen: Ankündigen von bewusst herbeigeführten Schalthandlungen wie Tests, Vermeiden von Schaltoperationen zum falschen Zeitpunkt.

Bei der Bündelung von Infrastrukturen tritt die Höchstspannungsleitung als neue EMV-Störquelle hinzu. Die Kabelanlage kann elektromagnetische Störungen ausstrahlen (Emission), die von anderen Geräten oder Einrichtungen, die als Empfänger (Störsenke) auftreten, aufgenommen werden (Immission). Dadurch kann eine Störsenke in ihrer Funktion beeinträchtigt werden, was im schlimmsten Fall zum Totalausfall von andern elektrischen Infrastrukturkomponenten führen kann.

Es sind folgende Koppelmechanismen von einer EMV-Störquelle (Kabelanlage der Übertragungsleitung) auf die Störsenken zu untersuchen und es ist nachzuweisen, dass die folgenden EMV-Mechanismen in einer gebündelten Infrastrukturanlage beherrscht werden:

- Galvanische Kopplung: Um diese zu beherrschen muss ein Erdungskonzept mit Beurteilung des Potentialausgleichs erstellt werden (siehe dazu auch den Absatz zu Erdung und Potentialausgleich). Hochspannungskabelsysteme sind eigenständig zu erden mit einem oder zwei Erdausgleichsleiter.
- Kapazitive Kopplung (auch als elektrische Kopplung bezeichnet): Zur Beherrschung dieser Kopplung ist eine Überspannungsstudie zu erstellen. Überspannungen können u.a. durch einen Blitzeinschlag, Schalthandlungen mit transienten Überspannungen und internen und externen Fehlerfällen im Kabelsystem auftreten und sich so in die anderen Infrastrukturkomponenten einkoppeln.
- Induktive Kopplung (auch als magnetische Kopplung bezeichnet): Zusammen mit dem Erdungskonzept und der Überspannungsstudie soll die induktive Kopplung untersucht werden. Durch Kurzschlussströme und Einschaltströme kann eine überhöhte Spannung in andere Infrastrukturkomponenten eingekoppelt werden. Durch die Bestimmung von einzelnen Kabelabschnittslängen und einem geeigneten Erdungssystem (Erdausgleichsleiter, und eine geeignete Mantelschirmbehandlung wie einseitige Erdung oder u.a. Crossbonding) können die gültigen Schritt- und Berührungsspannungen eingehalten werden.

Zu unterscheiden ist jeweils zwischen dem Normalbetrieb und dem Fehlerfall (insbesondere dem Erdschluss).



Die Trägerinfrastruktur, ausgenommen von anderen Hochspannungskabeln, erzeugt keine Beeinflussung auf eine Übertragungsleitung. Temperaturüberwachungen, Teilentladungs-Messsysteme werden mit lichtwellenbasierten Systemen gemessen und sind somit EMV-unkritisch.

Tabelle 11: Mögliche Massnahmen zur EMV

Bez.	Strukturelle Massnahmen	Aspekt
S-1	– Trennung Störaussendung / Störfestigkeit durch physikalische Räume (Abstände) und/oder andere elektromagnetische Abhilfeverfahren. – Festlegen von zulässigen EMV-Grenzwerten in Form eines EMV-Zonenplans, welcher z.B. wie folgt gegliedert werden kann: – Zone 0: äusserer Blitzschutz, Erdungs-Elektroden-System – Zone 1: Schirmung der Bewehrung – Zone 2: Schirmung des Raums – Zone 3: Schirmung des Gerätes der Einrichtung – Zone 4: empfindliche Einrichtungen	EMV
S-2	– Galvanische Kopplung: Der Erdausgleichsleiter wird typischerweise in der Mitte der Kabelanlage gekreuzt (geometrische Anordnung je nach Verlegeart der Kabelanlage). Querschnitt im Minimum des äquivalenten Kabelschirmquerschnittes.	EMV

Bez.	Prozessuale Massnahmen	Aspekt
P-3	– Kapazitive Kopplung: Simulation der Fehlerfälle in einer Überspannungsstudie zum Nachweis, dass gültige Schritt- und Berührungsspannungen wie die Störpegel der möglichen Empfänger nach der CE-Normung eingehalten werden.	EMV
P-4	– Ganzheitliche EMV-Studie, u.a. mit Blitz- und Überspannungsstudie unter Berücksichtigung der max. Kurzschlussströme: Simulation der Fehlerfälle zum Nachweis, dass die gültigen Schritt- und Berührungsspannungen und die gültigen Störpegel nicht überschritten werden.	EMV



Projektspezifische Nachweise und Abklärungen:

- a) Sämtliche EMV-Phänomene, welche durch die möglichen Betriebszustände und Fehlerfälle der Kabelanlage der Übertragungsleitung verursacht werden und auf die Infrastruktur der Nationalstrasse oder der Bahn unzulässig einwirken können sowie allfällige EMV-Phänomene, welche die Übertragungsleitung von aussen in die Infrastrukturen verschleppen könnte, sind zu ermitteln.
- b) Zulässige EMV-Grenzwerte im EMV-Einflussbereich der Übertragungsleitung sind festzulegen.
- c) Massnahmen zur Einhaltung der festgelegten EMV-Grenzwerte im Einflussbereich der Übertragungsleitung sind anzuordnen. Es sind alle möglichen Betriebszustände und Fehlerfälle der Übertragungsleitung zu überprüfen.

Erdung und Potentialausgleich

Die Erdung ist so zu planen, dass die Anforderungen an den Personen- und Sachschutz sowie die einwandfreie Funktion einer elektrischen Anlage im Normal- und Fehlerfall sichergestellt werden. Zur Abstimmung aller Bedürfnisse und Anforderungen der einzelnen Bündelungspartner ist ein gesamtheitliches Erdungskonzept notwendig.

Mit der Bauwerks-, der Anlagen- und der Bahnerdung bei der Bahn treffen bei der Bündelung verschiedene Systeme zusammen. Insbesondere bei der Bündelung mit der Bahn ist eine parallel verlaufende Kabelanlage auch der elektromagnetischen Kopplung durch die Traktionsrückleitung ausgesetzt, was ein optimales Bahnrückstromkonzept erfordert (kontrolliert über Schienen und Erdleiterseile).

Die Erdung und der Potentialausgleich der Erdungssysteme müssen jeweils im Einzelfall geprüft werden. Folgende Regelwerke und Richtlinien leisten dabei Beihilfe:

- Für die Bahn präsentiert die Regelung D RTE 27900 «Rückleitungs- und Erdungshandbuch» auf der Basis von hoheitlichen und fachtechnischen Vorschriften und einschlägigen Normen (Starkstromverordnung, LeV) eine Übersicht der zentralen Aspekte und der praxiserprobten Lösungskonzepte.
- Für die Strasse vermittelt z.B. die Richtlinie der Baudirektion des Kantons Zürich “EMV, Erdung, Blitzschutz” (Teile 1-4) ein konsistentes EMV-Konzept für Tunnels, offene Strecken und Brücken, wobei der Erdung und dem Potentialausgleich eine zentrale Bedeutung zukommt.

Bahn: Die Erstellung eines gesamtheitlichen Erdungskonzepts bedingt laut Regelung D RTE 27900 eine sorgfältige Koordination zwischen allen Betreibern von elektrischen Anlagen, wie Bahnenergieversorgungs-, Fahrstrom-, Sicherheits-, Telecom-, Niederspannungsanlagen. Ebenso mit den an den Bahnbereich angrenzenden Anlagenbetreibern, wie Elektrizitätswerken, Leitungsnetzbetreibern, so wie dies bei einer Bündelung der Fall ist.

Strasse: Für die Sicherstellung der elektromagnetischen Verträglichkeit der umfangreichen Elektromechanik im Umfeld von Hochleistungsstrassen inkl. Erdung und dem Potentialausgleich ist laut Richtlinie der Baudirektion des Kantons Zürich ein integrales Schutzkonzept zu erstellen.



Tabelle 12 Massnahmen zur Erstellung Erdungskonzept

Bez.	Prozessuale Massnahmen	Aspekt
P-1	Strasse: – Notwendige Massnahmen gegen unzulässige gegenseitige Beeinflussung der Erdungssysteme im Sinne von Art. 8 LeV sind zwischen Infrastrukturbetreibern der Übertragungs-leitung und dem ASTRA abzusprechen. – Ergänzend zu den Erdungsvorschriften für elektrische Anlagen gemäss Starkstromverordnung und Leitungs-verordnung gelten für die Bauten und Anlagen der National-strassen jene gemäss Fachhandbuch ASTRA Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen.	Personen- und Sachschutz
P-2	Bahn: – Notwendige Massnahmen gegen unzulässige gegenseitige Beeinflussung der Erdungssysteme im Sinne von Art. 8 LeV und Art. AB 44.d der AB-EBV sind zwischen den Infrastrukturbetreibern der Übertragungsleitung und der betroffenen Bahn abzusprechen. Für Bahnanlagen gelten die Erdungsvorschriften gemäss AB-EBV.	Personen- und Sachschutz

Projektspezifische Nachweise und Abklärungen:

Mit einem projektspezifischen, koordinierten Erdungskonzept ist aufzuzeigen und nachzuweisen, dass

a) die Verfügbarkeit und Sicherheit aller elektrischen Anlagen zu jedem Zeitpunkt und in jedem Betriebs- und Störfall gewährleistet ist und dass auch die elektromagnetische Verträglichkeit den gesetzlichen Vorschriften entspricht (siehe Literaturverzeichnis).

b) die Erdungsvorschriften für elektrische Anlagen gemäss Starkstromverordnung eingehalten werden.

5.2.2 Anforderungen bei Kabelrohrblock im Tunnel (Anordnungen A und B)

Lage und Anordnung der Kabel

Generell für alle Anordnungen: Die Kabeltrasse muss so verlegt sein, dass der in der NISV festgelegte Immissionsgrenzwert für die magnetische Flussdichte von 100 μ T an allen Orten des kurzfristigen Aufenthalts (OKA) eingehalten wird (siehe Kapitel 4.6).

Anordnung A, Strasse, Kabelanlage flach unter Fahrbahn: Der Kabelrohrblock muss genügend tief verlegt sein, um eine künftige Fahrbahnerneuerung nicht zu behindern (zum Schichtaufbau, siehe Fachhandbuch ASTRA 24001, Merkblatt 24 001-10401 Belag im Tunnel).

Anordnung B, Bahn, Kabelanlage im Bankett:

Die Verlegung im Betonrohrblock ist zulässig, um Hochspannungskabelleitungen mit anderen Kabelleitungen parallel zu führen (siehe Erläuterungen des ESTI zur Leitungsverordnung (LeV) vom 30.03.1994, STI Nr. 240.1199).



Gemäss Art. 67 Abs. 2 der Leitungsverordnung (LeV) sind die Hochspannungskabel nach Möglichkeit von den Niederspannungskabeln sowie Steuer- und Schwachstromkabeln getrennt zu verlegen. d.h. in verschiedenen Kabelblöcken. Leitungen für die Übertragung von Signalen und Informationen zum Schutz von Personen und Anlagen sind gemäss Art. 24 der Starkstromverordnung so zu verlegen, dass sie bei Kurzschlüssen oder Erdschlüssen in der Übertragungsleitung weder unzulässig beeinflusst noch beschädigt werden.

Gemäss Art. 99 Abs. 4 der Leitungsverordnung (LeV) müssen erdverlegte Kabelleitungen, die nicht dem Bahnbetrieb dienen, mindestens einen Abstand von 1.3 m zur äusseren Schiene aufweisen. Ausnahmen sind möglich, wenn die Bedingungen gemäss Abs. 6 erfüllt werden (keine gegenseitigen Beeinflussungen zu befürchten).

Bei der Bündelungsanordnung mit der Bahn sind die Vorschriften und Bestimmungen der AB-EBV einzuhalten, namentlich:

- AB 44.b Bahnstromverteilung und Kabel
- AB 44.d Bahnrückstrom und Erdung, insbesondere Ziffer 2: Grundsatz zu gefährlichen Berührungsspannungen

Projektspezifische Nachweise und Abklärungen:

Das Einhalten des in der NISV festgelegten Immissionsgrenzwertes von 100 μT ist für die Verkehrsteilnehmer nachzuweisen. Dies ebenso an Orten, wo sich das Arbeitspersonal der Trägerinfrastruktur aufhalten kann (Gehwege).

Wärmeabfuhr

Die notwendige Wärmeabfuhr der Kabelverlustwärme ist durch geeignetes Bettungsmaterial oder nötigenfalls durch Kühlleitungen sicherzustellen.

Tabelle 13: Mögliche Massnahmen zur Gewährleistung der Wärmeabfuhr

Bez.	Strukturelle Massnahmen (Infrastruktur)	Aspekt
S-1	– Thermisch gut leitfähiger Beton (min 1 $\text{W/K}\cdot\text{m}$, mit Spezialbeton bis 4 $\text{W/K}\cdot\text{m}$ möglich)	Strom
S-2	– Einlegen von Kühlleitungen in Kabelrohrblock, um die notwendige Stromtragfähigkeit zu gewährleisten.	Strom

Projektspezifische Nachweise und Abklärungen:

Der Nachweis, dass sich die Systemanforderungen der Kabelanlage (Stromtragfähigkeit) für die Anordnung erfüllen lassen, obliegt der Swissgrid.

Kabellogistik

Anordnung A: Strasse: Für die Anlieferung der Kabeltrommeln ist eine dauerhafte, ausreichende Zugänglichkeit zu den Kabelzugsorten (Ausstellbuchten) sicherzustellen. Sie ist auf die Befahrbarkeit mit Spezialfahrzeugen und deren Gewichte auszurichten, siehe Abbildung 10. Die Traglast des Bodens ist



auf das Gesamtgewicht bzw. auf die Achslasten des beladenen Spezialfahrzeuges auszulegen. Ein Ablad und Ausrichten der Kabeltrommel wird im Tunnel schwierig sein.

Frühzeitig sind in der Planung aufeinander abzustimmen:

- Kabellänge bzw. Randbedingungen zu den Transpotmassen und Höchstgewichten auf der Zufahrt, siehe Kapitel 4.1.5.
- Abstand der Ausstellbuchten (bzw. deren Teilung), in welchen Kabelzugschächte angeordnet werden.
- Abmessungen der Ausstellbuchten mit Anordnung und Orientierung der Kabelzugschächte unter Berücksichtigung der möglichen Spezialfahrzeuge.

Unter Beachtung der Fahrzeugausmasse, der sich quer zur Fahrtrichtung abwickelnden Kabeltrommel für Kabellängen > 560 Meter und der einzuhaltenden Biegeradien von min. 3.5 Meter beim Kabelverlegen ist hierfür ausreichend Platz einzuplanen. Kabelzugschächte dürfen nicht verstellt werden und sind in passender Distanz zum Standplatz der Kabeltrommel anzuordnen. Insbesondere die Breite, aber auch die Höhe kann die normalen Anforderungen an Ausstellbuchten³⁰ überschreiten. Es ist darum zu empfehlen, über eine Kosten-Nutzen-Betrachtung die Anforderungen an eine ausserordentliche Kabelverlegung³¹ zu definieren: Muss ein Kabelzug gänzlich ohne Verkehrsbehinderungen auskommen, was mit einem baulichen Aufwand sichergestellt werden müsste. Oder ist eine Tunnelsperrung tolerierbar, wodurch sich auch die Fahrbahn mitbenutzen liesse. Wenn planbar, lässt sich die Kabelverlegung auch mit planmässigen Unterhaltssperrungen koordinieren.

³⁰ Norm SIA 197/2 und Technisches Merkblatt ASTRA 24 001-10704 Ausstellbuchten, V2.03 vom 01.01.2015: lichte Höhe = 4.5 Meter, lichte Breite = 3.20 Meter, gesamte Länge Ausstellbucht = 41 Meter

³¹ z.B. für die Erfordernis, ein Kabel vor Ablauf der technischen Lebensdauer zu ersetzen



Abbildung 10: Kabelverlegung ab Transportfahrzeug oder abgeladener Kabeltrommel
(Quelle: Fa. Wassermann Kabeltechnik)

Bahn / Strom: Die Kabellängen, die Anordnung der Muffenverbindungen und die Verlegemöglichkeiten sind im Kontext der Randbedingungen gemäss Kapitel 4.1.2 festzulegen.

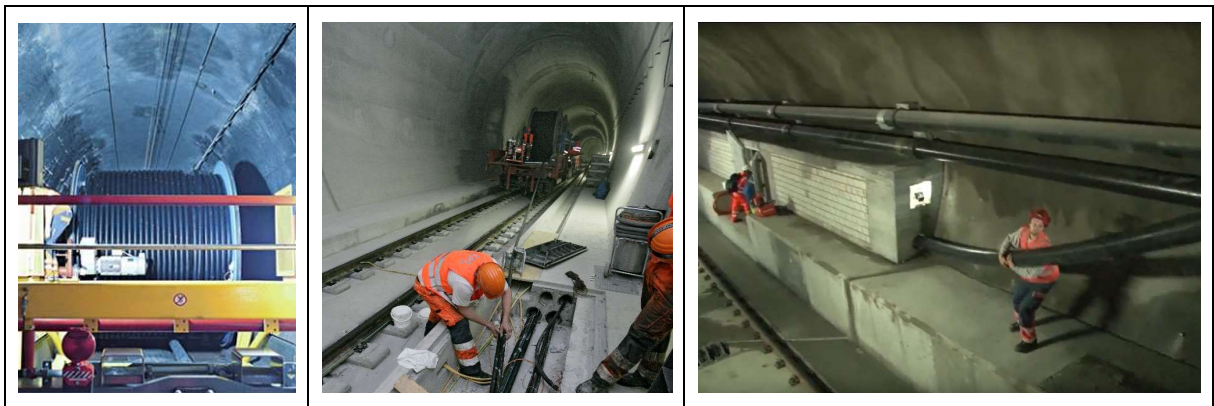


Abbildung 11: Kabelverlegung ab Schienenfahrzeug mit Kabeltrommel, Achse quer zur Fahrtrichtung transportiert (Quelle: BAV, Nexans)

Tabelle 14: Mögliche Massnahmen zur Kabellogistik

Bez.	Strukturelle Massnahmen (Infrastruktur)	Aspekt
S-1	– Anordnung der Kabelzugschächte und Zugrohre möglichst in der Abwicklungsrichtung der aufgestellten Kabeltrommel	Strom



Projektspezifische Nachweise und Abklärungen:

Die Erschliessung und die nötigen Platzverhältnisse bezüglich der Kabellogistik sind projektspezifisch unter Berücksichtigung von Kosten-Nutzen-Betrachtungen festzulegen.

Statischer Nachweis für den Lastfall Ausnahmetransportfahrzeug mit Kabeltrommelgewicht (v.a. bei einer Unterkellerung der Fahrbahn / der Ausstellbucht mit Werkleitungskanälen).

Anordnung der Muffenverbindungen - Schutz der Tunnels vor Ereignissen

Bei der Anordnung A, Variante Strasse/Strom nicht getrennt und bei der Anordnung B, Bahn, befinden sich die Muffenverbindungen im Verkehrsraum.

Anordnung A, Strasse, Kabelanlage flach unter Fahrbahn: Die Muffenverbindungen sind in Muffenschächten in den Ausstellbuchten anzuordnen. Die Muffenschächte müssen so gesichert werden, dass sich die Wirkung im Ereignisfall eindämmen lässt.

Anordnung B, Bahn, Kabelanlage im Bankett: Die Muffenverbindungen sind in seitlichen Tunnelnischen anzuordnen. Sie sind möglichst dort anzuordnen, wo im Falle eines Ereignisses an der Muffe (Brand / Explosion) der geringste Schaden an der Trägerinfrastruktur und deren elektrischen Einrichtungen entstehen kann und keine Verkehrsteilnehmer betroffen werden. Die Tunnelnischen müssen so gesichert werden, dass sich die Wirkung im Ereignisfall eindämmen lässt.

Tabelle 15: Mögliche Massnahmen bei Muffenverbindungen

Bez.	Strukturelle Massnahmen (Infrastruktur)	Aspekt
S-1	– Muffenkammern / Muffennischen baulich abtrennen, mit einer Wand aus Beton oder Mauerwerk gegen den Verkehrsraum verschliessen.	Sicherheit
S-2	– Muffenschächte mit gesicherten Schachtdeckel und Sandbefüllung.	Sicherheit

Projektspezifische Nachweise und Abklärungen:

Die baulichen Massnahmen zur Einhaltung der Schutzziele bezüglich Anlagen- und Personensicherheit sind unter Berücksichtigung von Kosten-Nutzen-Betrachtungen projektspezifisch festzulegen.

Schutz der Kabelleitungen vor Beschädigungen

Anordnung B, Bahn, Kabelanlage im Bankett: Die Bankette wirken bereits wie Leitkanten und sind entsprechend zu bemessen. Um das Risiko weiter zu reduzieren, sind die Kabelleitungen dort zu verlegen, wo sie gegen einen Anprall bei einer Entgleisung und seine Folgen (allfälliges Abscheren des Banketts) weniger exponiert sind. Oder sie sind mit besonderen Massnahmen zu schützen.

**Tabelle 16: Mögliche Massnahmen zum Schutz der Kabelleitungen**

Bez.	Strukturelle Massnahmen (Infrastruktur)	Aspekt
S-1	– Anordnung der Kabelanlage im unteren Bereich des Banketts	Sicherheit
S-2	– Mindestbetonüberdeckung der Kabelschutzrohre von 10 cm ³²	Sicherheit
S-3	– Verlegung in widerstandsfähigen Leerrohren, wie z.B. Stahl, Aluminium, verstärkte Kunststoffe	Sicherheit
S-4	– Bankett gegen Anprall härten durch verstärkte Armierung oder Schutzplatten. Dabei ist zu beachten, dass die Armierung um die Kabelleitungen keinen geschlossen Ring bilden, der einen magnetischen Kurzschluss erzeugen kann (siehe Norm SIA 197/1, Ziffer 8.5.3.4)	Sicherheit
S-5	– Einbau Fangschienen, die verhindern, dass entgleiste Eisenbahnfahrzeuge erheblich vom Gleisbereich abkommen (jedoch nur geeignet für geringe und mittlere Geschwindigkeiten, siehe AB-EBV zu AB 26.2). Andere Massnahmen sind zu bevorzugen.	Sicherheit

Projektspezifische Nachweise und Abklärungen:

Bemessung der Bankette für die aussergewöhnliche Einwirkung Q_{dy} gemäss den AB-EBV, Anhang Nr. 1. Weitere Schutzmassnahmen gegen Anprall sind projektspezifisch unter Berücksichtigung von Kosten-Nutzen-Betrachtungen festzulegen.

5.2.3 Anforderungen für WELK und SiSto (Anordnungen A und D)

Zugang und Fluchtwege, Fluchtweglängen

Die nachfolgenden Anforderungen zur Arbeitssicherheit stützen sich auf die Auslegungen in Kapitel 4.7.

Bei Strassentunneln ist der heutige Stand der Technik durch die Norm SIA 197/2 spezifiziert. Demnach sind die Zugänge in einen WELK in einröhrigen Tunneln bei den Ausstellbuchten anzuordnen, die im Allgemeinen einen Abstand von 600 – 900 Meter aufweisen. In zweiröhrigen Tunneln sind die Zugänge bei den befahrbaren Querverbindungen möglich, wobei jede dritte Querverbindung als befahrbar auszubilden ist. Dies führt zu einem Abstand der Zugänge von 900 Meter.

Zu berücksichtigen ist, dass WELK und SiSto nicht nur eine Gefahrenzone darstellen, sondern auch als Fluchtweg der Sicherheit der Verkehrsteilnehmer dienen können. In solchen Fällen sind in einem Abstand von 300 – 500 Meter Abgänge aus dem Fahrraum vorgesehen, die auch umgekehrt aus dem WELK bzw. SiSto heraus als Fluchtweg in den Fahrraum genutzt werden können.

³² Siehe auch Regelwerk I-AT-FS 3003.05, Kabelschutz - Projektierung, Bau, SBB



Der Aspekt Arbeitssicherheit ist frühzeitig und gesamtheitlich zu untersuchen und zu planen. Es sind dabei alle strukturellen, materiellen und organisatorischen Massnahmen zu prüfen.

Tabelle 17: Mögliche Massnahmen zur Gewährleistung der Arbeitssicherheit

Bez.	Strukturelle Massnahmen (Infrastruktur)	Aspekt
S-1	– Anordnung von Zugängen und Fluchtwegabgängen nach dem Stand der Technik.	Arbeitssicherheit
S-2	– Prüfung und Anordnung von zusätzlichen Zugängen und Fluchtwegabgängen nach Kosten-Wirksamkeits-Überlegungen.	Arbeitssicherheit
S-3	– Unterteilung in Brandabschnitte (soweit zielkonform möglich mit anderen Anforderungen).	Arbeitssicherheit

Bez.	Materielle Massnahmen (Material)	Aspekt
M-1	Kanalausrüstung mit Sicherheitseinrichtungen – Sprechfunk – Überwachungskameras – Alarmauslösung – Elektrounfall-Rettungsmaterial – Handfeuerlöscher – Brandlöschstationen	Arbeitssicherheit
M-2	Begehung mit persönlicher Ausrüstung – Messgeräte (O ₂ , CO, Methan usw.) – Selbstretter (Atemschutzgerät) – lichtbogenfeste Schutzanzüge	Arbeitssicherheit

Bez.	Organisatorische Massnahmen	Aspekt
O-1	Begehungen: – Begehungen nicht durch Einzelpersonen – Begehungen durch Betriebspersonal – Zutrittsanmeldung bei Kanalbegehung / Rückmeldung bei Austritt	Arbeitssicherheit



Bez.	Prozessuale Massnahmen	Aspekt
P-1	– Gefahrenermittlung und Massnahmenplanung bezüglich Unfallgefahren und Gesundheitsrisiken nach Wirksamkeit und Kosten, z.B. gemäss [13] und [14]	Arbeitssicherheit
P-2	– Erstellen Betriebs- und Rettungskonzept für WELK / SiSto	Arbeitssicherheit
P-3	– Erstellen Brandschutzkonzept	Sicherheit allg.

Bauliche Trennung der WELK

Der verfügbare Raum in einem WELK ist beschränkt (siehe ASTRA-Merkblatt 24 001-10404). Je nach Systemanforderung der Swissgrid, beansprucht die Kabelanlage für die Übertragungsleitung einen grossen Teil davon. Dazu üben die Übertragungsleitung und die übrigen Tunnelleitungen potenziell gegenseitige Brand- und Überflutungsgefahren aus. Letzteres ist der Fall, wenn im WELK auch eine Löschwasserleitung verlegt wird. Arbeitspersonal, welches an den Tunneleinrichtungen Wartungs- und Unterhaltsarbeiten vornimmt, ist den latenten Gefahren der Kabelanlage ausgesetzt (Berührungsspannungen). Eine bauliche Trennung der Kabelanlage von den Einrichtungen des Betreibers der Trägerinfrastruktur ist aus Sicht der Studienverfasser aus den oben dargelegten Gründen ein Muss. Die bauliche Trennung der WELK in zwei separate Kanäle ist schon gelebte Praxis, wie z.B. beim San Bernardino-Tunnel oder bei der 2. Röhre des Gotthard-Strassentunnels, wo für die Kabelanlage der Übertragungsleitung ein separater WELK geplant ist. Mit der baulichen Trennung werden die NIS-Immissionen allerdings nicht zwangsläufig reduziert. Es gilt zusätzlich die Abstandsregelung einzuhalten.

Tabelle 18: Mögliche Massnahmen zur Anordnung im WELK

Bez.	Strukturelle Massnahmen (Infrastruktur)	Aspekt
S-1	– Verlegung Kabelanlage (Übertragungsleitung) in einem zweiten, parallel verlaufenden WELK, mit eigenem Brandabschnitt. Der Nutzraum der Kabelanlage wird vergrössert. – Die Lüftungsanlage ist damit ebenfalls für beide WELK getrennt zu konzipieren	Arbeitssicherheit Strombelastbarkeit

Lichtraumprofil WELK-Kabelanlage bei offen verlegten Kabeln

Das Lichtraumprofil ist an den langfristig geplanten Ausbauzustand der Kabelanlage auszurichten. Die betrieblich-notwendigen vertikalen und horizontalen Kabelabstände sind dabei zu beachten. Die Swissgrid gibt hierfür die Systemanforderungen vor (Anzahl Kabel, Reservekabel, Maximaler Dauerstrom usw.).

Das Arbeitspersonal sollte – ohne dass die Kabelanlage ausser Betrieb genommen werden muss – Begehungen, Prüfungen und Inspektionsarbeiten, wie z.B. visuelle Kontrollen, Feld- und Temperaturmessungen, Korrosionskontrollen usw. durchführen können.

Für den Fall, dass nur Betriebspersonal und Beauftragte der nationalen Netzgesellschaft Zutritt zum WELK / Kabelstollen haben, bemessen sich die lichten Höhen und Breiten folgendermassen:



- (1) Lichtraumprofil für Betriebs- und Unterhaltungspersonal
(ev. Platzbedarf für Monorail- / Hängeschienenbahn)
- (2) Kabeltechnischer Nutzraum (Kabel frei oder in Leerrohren, Muffenverbindungen)
- (3) Zusätzlicher Sicherheitsabstand zur Einhaltung des Grenzwertes am Arbeitsplatz der Suva für die magnetische Flussdichte

Die Kabellagen im WELK sind im Übrigen so festzulegen, dass der NISV-Immissionsgrenzwert im darüberliegenden Verkehrsraum eingehalten werden kann.

Mögliche Lösungsansätze zu den Kabelanordnungen im WELK / Kabelstollen und informative Anhaltswerte zu den Massen befinden sich in den Anhängen 3 und 4.

Tabelle 19: Mögliche Massnahmen zur Einhaltung des Grenzwertes am Arbeitsplatz der Suva für die magnetische Flussdichte

Bez.	Strukturelle Massnahmen (Infrastruktur)	Aspekt
S-1	– Gangbereich bzw. Fluchtweg am Boden markieren	Arbeitssicherheit
S-2	– Magnetfeldbereich > 500 μ T baulich abtrennen (Schutzkäfig um Kabel o.ä.)	Arbeitssicherheit
S-3	– Bauhöhe WELK / Stollen so festlegen, dass sich Kabel bei seiltichen Fluchtwegabgängen mit ausreichendem Sicherheitsabstand bzgl. NIS an Decke oder unter Boden verlegen lassen.	Arbeitssicherheit
S-3	– Magnetfeldreduktion oder Feldkompensation: – <u>Leitergeometrie</u> : Magnetfeldreduktion durch Dreiecksanordnung oder mit geringen Leiterabständen in der Einebenenanordnung – <u>Phasenoptimierung</u> : Magnetfeldreduktion durch gegeneinander phasenversetzte Phasenleiter bei einem Doppelsystem – <u>Aktive Abschirmung</u> durch Auslegen von jeweils einem Kompensationsleiter parallel zu jedem 380 kV-Kabel, Einspeisung von elektronisch gesteuerten Kompensationsströmen.	Arbeitssicherheit
S-4	– Passive Magnetfeld-Abschirmung: Ummantelung der Kabel oder Rohrböcke bei Fluchtwegabgängen, wo Bauhöhe des WELK aus technischen Gründen begrenzt ist.	Arbeitssicherheit

Bez.	Materielle Massnahmen (Material)	Aspekt
M-1	– Signalisation striktes Aufenthaltsverbot im Bereich > 500 μ T	Arbeitssicherheit



Bez.	Organisatorische Massnahmen	Aspekt
O-1	– Volle oder teilweise Abschaltung des Leitungssystems zum Zeitpunkt der Begehung	Arbeitssicherheit

Projektspezifische Nachweise und Abklärungen:

Der Sicherheitsabstand ist durch Ermittlung der Magnetfelder ist für denjenigen Betriebszustand der Anlage projektspezifisch zu bestimmen, bei dem die Immissionen am höchsten sind.

Das Einhalten des Grenzwertes der Suva von 500 μT für die magnetische Flussdichte ist an jenen Orten nachzuweisen, wo ausschliesslich das Betriebspersonal der nationalen Netzgesellschaft Zutritt hat.

Die Leitungsführung bei seitlichen Fluchtwegabgängen ist im Rahmen des konkreten Projektes festzulegen.

Lichtraumprofil bei offen verlegten Kabeln im WELK / SiSto mit Selbstrettungsfunktion

Bei einem Sicherheitsstollen (SiSto) oder einem WELK, der dem Prinzip der Selbstrettung dient, sind die Anforderungen an diese Sicherheitseinrichtung gemäss Norm SIA 197/2 bzw. dem präzisierenden Fachhandbuch Tunnel / Geotechnik (ASTRA 24001) zu erfüllen. Auch wenn der Fluchtweg nicht als Ort des kurzfristigen Aufenthalts (OKA) nach NISV gilt, ist der strengere Immissionsgrenzwert der NISV für die magnetische Flussdichte einzuhalten. Hierfür massgebend ist das Arbeitspersonal der Trägerinfrastruktur, welches den Gang ebenfalls für Inspektionen und Wartungsarbeiten zu betreten hat (siehe Kapitel 4.6 und 4.7). Es ist zu berücksichtigen, dass die Kabelsysteme während Inspektionen in Betrieb bleiben müssen.

Weil Querverbindungen oder Abgänge in einem regelmässigen Abstand von 300 – 500 m einmünden, können Leitungen, damit auch die Kabelanlage der Übertragungsleitung, nur auf der zugangsabgewandten Seite angeordnet werden. Dies gilt hauptsächlich für einen WELK, der in der Raumhöhe beschränkt ist und wo Kabelverlegungen an die Decke oder in den Boden nicht möglich sind.

Die lichten Höhen und Breiten des WELK / SiSto für ein einseitig angeordnetes System (Kabelanordnung übereinander) bemessen sich folgendermassen:

- (1) Lichtraumprofil für Fluchtweg von Tunnelbenützer im Ereignisfall
- (2) Kabeltechnischer Nutzraum (Kabel frei oder in Leerrohren, Muffenverbindungen)
- (3) Zusätzlicher Sicherheitsabstand zur Einhaltung des Immissionsgrenzwertes für die magnetische Flussdichte von 100 μT

Mögliche Lösungsansätze zu den Kabelanordnungen im WELK / Kabelstollen und informative Anhaltswerte zu den Massen befinden sich in den Anhängen 3 und 4.

Es kommen die gleichen Massnahmen analog Tabelle 19 in Frage. Sie sind jedoch auf den Magnetfeldbereich $> 100 \mu\text{T}$ auszurichten, da in dieser Situation der Immissionsschutz von Menschen im Visier ist, die nicht zum Betriebspersonal der nationalen Netzgesellschaft gehören.



Projektspezifische Nachweise und Abklärungen:

Das Einhalten des in der NISV festgelegten Immissionsgrenzwertes für die magnetische Flussdichte von 100 μT ist für jene Orte nachzuweisen, wo sich das Arbeitspersonal der Trägerinfrastruktur aufhalten kann.

Lage und Anordnung der Kabel im SiSto bei Verlegung in der Sohle

Bei einem Sicherheitsstollen (SiSto), der dem Prinzip der Selbstrettung dient, können die Kabel alternativ in der Sohle des Stollens verlegt werden, um so den Einmündungen der Querverbindungen oder Abgängen auszuweichen. Die Legetiefe ist dabei so festzulegen, dass der in der NISV festgelegte Immissionsgrenzwert für die magnetische Flussdichte von 100 μT eingehalten werden kann. Hierfür massgebend ist das Arbeitspersonal der Trägerinfrastruktur, welches den SiSto ebenfalls für Inspektionen und Wartungsarbeiten zu betreten hat (siehe Kapitel 4.6 und 4.7). Lässt sich dies nicht gewährleisten, so ist eine Feldkompensation oder emissionsseitige Abschirmung zu prüfen. Die Muffenverbindungen sind entweder in Muffenschächten oder wie bei der offenen Verlegung an der Wand anzuordnen (siehe Anforderungen unten).

Es kommen die gleichen Massnahmen in Frage bei einem Kabelrohrblock im Tunnel.

Projektspezifische Nachweise und Abklärungen:

Das Einhalten des in der NISV festgelegten Immissionsgrenzwertes für die magnetische Flussdichte von 100 μT ist für jene Orte nachzuweisen, wo sich das Arbeitspersonal der Trägerinfrastruktur aufhalten kann.

Lüftung

Der WELK benötigt für folgende Fälle eine vom Verkehrsraum unabhängige Belüftung, natürlich und/oder mechanisch:

- a. Minimaler Überdruck gegenüber eindringenden Gasen/Stäube zur Vermeidung von Verschmutzungen (bei einem WELK ohne Dichtigkeitsanforderungen)
- b. Permanente Belüftung oder Spülung vor einer Begehung, um ein gesundheitsverträgliches Arbeitsklima (Temperatur) zu erzeugen (siehe Kapitel 4.7), gute Raumlufte).
- c. Wärmeabfuhr zur Gewährleistung der Stromtragfähigkeit
- d. Wenn zugleich SiSto: Gewährleistung Rauch- und Schadstofffreiheit im Ereignisfall (Erhöhung des Überdrucks)

Eine gute Raumlufte ist gemäss Wegleitung zu ArGV 3 und 4 dann gegeben, wenn die Gesamtkonzentration von 1'000 ppm CO_2 nicht überschritten wird.

Die Belüftungsanlage muss auf die maximale Anforderung dimensioniert werden. Für den Lastfall Normalbetrieb erfolgt die Wärmeabfuhr möglichst über eine natürliche Konvektion.

Die baulichen Anforderungen (z.B. Platzbedarf für Steuerschränke) und die lüftungstechnischen Nahtstellen zur Lüftungsanlage des Verkehrsraumes sind frühzeitig im Zuge der Projektierung der Trägerinfrastruktur zu klären und zu definieren.



Tabelle 20: Mögliche Massnahmen zur Belüftung von WELK und SiSto

Bez.	Strukturelle Massnahmen (Infrastruktur)	Aspekt
S-1	– Mechanische Lüftungsauslegung (Richtwerte): a. Mindestluftgeschwindigkeit von 0.2 – 0.3 m/s gemäss Erfahrungswerten im Untertagebau b. Spüldauer vor Begehung = Nutzeranforderungen, z.B. Luftwechsel in einem Lüftungsabschnitt innert x Std c. min. 1.5 - 2 m/s für Abfuhr Wärmeverluste [6] d. SiSto: Überdruck im Normalbetrieb min. 50 Pa, im Ereignisfall Durchströmgeschwindigkeit an offenen Türen von 1 m/s gemäss Richtlinie ASTRA 13002	Arbeitssicherheit Betrieb
S-2	– Baulich optimale Anordnung zur Gewährleistung einer natürlichen Belüftung – Förderung Auf- und Abtriebe durch Höhendifferenzen – Förderung natürliche Durchströmung durch geringe Druckverluste	Arbeitssicherheit Betrieb

Projektspezifische Nachweise und Abklärungen:

Das Einhalten eines gesundheitsverträglichen Arbeitsklimas ist für den im Projekt vorgesehenen WELK nachzuweisen.

Der Nachweis, dass sich die Systemanforderungen der Kabelanlage (Stromtragfähigkeit) für die Anordnung erfüllen lassen, obliegt der Swissgrid.

Brandabschnitte

Nach dem Stand der Technik wird im Tunnelbau ein WELK nicht in Brandabschnitte unterteilt. Nach Norm SIA 197/2 ist er den betrieblichen Erfordernissen entsprechend begehrbar zu gestalten. Bei einem WELK für Kabelanlagen kommt hinzu, dass die Abfuhr der Verlustwärme der Kabelanlage gewährleistet werden muss. Für eine optimale natürliche Belüftung sollten zudem die Druckverluste, d.h. der Luftwiderstand, geringgehalten werden. Einbauten wie Brandschotts wirken sich diesbezüglich nachteilig aus, selbst wenn die Durchgänge (Türen) im Normalbetrieb offenstehen.

Demgegenüber ist ein Tunnel oder Stollen, in dem Kabelleitungen verlegt sind, gemäss Art. 70 Abs. 5 der Leitungsverordnung (LeV) in angemessene Brandabschnitte zu unterteilen. Sind keine Brandabschnitte vorgesehen, ist im Rahmen des Plangenehmigungsverfahrens nachzuweisen, dass diese nicht notwendig sind.



Tabelle 21: Mögliche Massnahmen (in Verbindung mit den Fluchtweglängen in WELK und SiSto)

Bez.	Prozessuale Massnahmen	Aspekt
P-1	– Gefahrenermittlung und Massnahmenplanung bezüglich Unfallgefahren und Gesundheitsrisiken nach Wirksamkeit und Kosten, z.B. gemäss [13] und [14]	Arbeitssicherheit
P-2	– Erstellen Betriebs- und Rettungskonzept für WELK / SiSto	Arbeitssicherheit
P-3	– Erstellen Brandschutzkonzept	Sicherheit allg.

Anordnung der Muffenverbindungen - Schutz der Tunnels vor Ereignissen

Muffenverbindungen sind grundsätzlich dort anzuordnen, wo im Falle eines Ereignisses an der Muffe (Brand / Explosion) der geringste Schaden an der Trägerinfrastruktur und deren elektrischen Einrichtungen entstehen kann.

In einem WELK, zu dem nur befugtes Betriebspersonal der nationalen Netzgesellschaft Zutritt hat und in dem es keine anderen Installationen hat, können die Muffenverbindungen unverkleidet bleiben.

In kombinierten Kabel- und Sicherheitstollen (Anordnung D) sind die Muffenverbindungen in Muffenschächten (falls in einem Kabelrohrblock in der Sohle) oder in Tunnelnischen (falls Kabel an der Wand montiert) unterzubringen. Sie sind zum begehbaren Bereich abzusichern. In einem SiSto, der befahrbar ist, sind sie gegen Anprall zu schützen.

Der WELK muss so dimensioniert sein, dass sich notfalls zusätzliche Muffenverbindungen zur Behebung von Kabelschäden einbauen lassen (siehe auch Lichtraumprofil) und dass sich Instandsetzungsarbeiten gefahrlos ausführen lassen (Einhaltung Sicherheitsabstand zu einem betriebenen Kabel, keine Gefahr von Beschädigungen).



Tabelle 22: Mögliche Massnahmen bei Muffenverbindungen

Bez.	Strukturelle Massnahmen (Infrastruktur)	Aspekt
S-1	– Ausweitungen für Muffennischen um ausreichenden Platz für Muffenverbindungen vorzusehen, auch für das Einbringen von Ersatzmaterial.	Bautechnik
S-2	– Anprallschutz / Leitplanken vor Muffenverbindungen	Sicherheit
S-3	– Muffenkammern / Muffennischen baulich abtrennen, mit einer Wand aus Beton oder Mauerwerk gegen den Verkehrsraum verschliessen.	Sicherheit
S-4	– Muffenschächte mit gesicherten Schachtdeckel und Sandbefüllung.	Sicherheit

Projektspezifische Nachweise und Abklärungen:

Die baulichen Massnahmen zum Einhalten der Schutzziele zur Anlagen- und Personensicherheit sind unter Berücksichtigung von Kosten-Nutzen-Betrachtungen projektspezifisch festzulegen.

Schutz der Kabelleitungen vor Beschädigungen

Anordnung A, Strasse, Kabelanlage im WELK oder Anordnung D: In einem befahrbaren WELK oder Stollen ist ein Rückhaltesystem für Fahrzeuge vorzusehen, welches zugleich den Sicherheitsabstand zur Einhaltung des in der NISV festgelegten Immissionsgrenzwertes für die magnetische Flussdichte gewährleistet.

Kabellogistik

Anordnung A, Strasse oder Anordnung D: Für die Anlieferung der Kabeltrommeln ist eine dauerhafte, ausreichende Zugänglichkeit zu den Portalen des WELK bzw. des SiSto sicherzustellen. Sie ist auf die Befahrbarkeit mit Spezialfahrzeugen und deren Gewichte auszurichten, siehe Abbildung 7 in Kapitel 4.1.5.

Unter Beachtung der Fahrzeugausmasse, der sich quer zur Fahrtrichtung abwickelnden Kabeltrommel für Kabellängen > 560 Meter und der einzuhaltenden Biegeradien von min. 3.5 Meter beim Kabelverlegen ist hierfür ausreichend Platz einzuplanen. Kabelzugschächte dürfen nicht verstellt werden und sind in passender Distanz zum Standplatz der Kabeltrommel anzuordnen. Zur Umgehung der Portalzentralen sind nötigenfalls Kabelzugrohre vorzusehen.

Für die Kabelverlegung durch einen WELK oder SiSto ist eine ausgeklügelte Logistik (Verfahren, Maschinen und Geräte) vorzusehen, welche auf die zulässigen Kabelzugkräfte abgestimmt ist.

Bei einem Einzug der Kabel vom Verkehrsraum aus, sind in den Ausstellbuchten Kabelzugschächte und Kabelzugrohre bis zum WELK / SiSto erstellen (Anforderungen, siehe 5.2.2, Kabellogistik).



Tabelle 23: Mögliche Massnahmen zur Kabellogistik

Bez.	Strukturelle Massnahmen (Infrastruktur)	Aspekt
S-1	– Fix installierte, offen verlegte Rohre Ø 250 mm für die Kabelförderung durch Kanal / Stollen	Logistik
S-2	– Kabelzugschächte und Zugrohre in Ausstellbuchten	Logistik

Bez.	Materielle Massnahmen (Material)	Aspekt
M-1	– Kabelzug auf Rollenlager	Logistik
M-2	– Temporär installierte, offen verlegte Rohre Ø 250 mm für die Kabelförderung durch Kanal / Stollen	Logistik

5.2.4 Anforderungen bei Kabelrohrblock unter / neben Fahrbahn (Anordnungen E und F)

Lage und Anordnung der Kabel

Generell für beide Anordnungen: Die Kabeltrasse muss so tief verlegt sein, dass der in der NISV festgelegte Immissionsgrenzwert für die magnetische Flussdichte von 100 μ T für die Verkehrsteilnehmer sowie für das Arbeitspersonal der Trägerinfrastruktur eingehalten wird (siehe Kapitel 4.6).

Anordnung E, Strasse, Kabelanlage unter Fahrbahn: Ein Kabelrohrblock für Übertragungsleitungen muss gemäss Fachhandbuch ASTRA 23001, Merkblatt 23001-14204 Rohrblocklage, genügend tief verlegt sein, um eine künftige Fahrbahnerneuerung nicht zu behindern.

In diesem Kabelrohrblock sind möglichst zusätzliche Leerrohre vorzusehen, als Reserve und um im Falle eines Kabelschadens Ersatzkabel ohne Grabarbeiten einziehen zu können.

Anordnung F, Strasse, Kabelanlage zwischen Leitplanke und Wildzaun: Nach Anspruch ASTRA müssen bei dieser Anordnung die oben erwähnten Anforderungen an die Rohrblocklage ebenfalls erfüllt werden, um einen künftigen Ausbau, z.B. auf 6 Spuren, nicht zu behindern.

Anordnung F, Bahn, zwischen Fahrleitungsmasten und Lärmschutzwänden:

Gemäss LeV Art 99 Abs. 4 müssen erdverlegte Kabelleitungen, die nicht dem Bahnbetrieb dienen, ausserhalb der Gleisanlagen und den zugehörigen Leitungstragwerken für die Bahnstromversorgung verlegt werden und mindestens einen Abstand von 1.3 m zur äusseren Schiene aufweisen. Ausnahmen sind möglich, wenn die Bedingungen gemäss Abs. 6 erfüllt werden (keine gegenseitigen Beeinflussungen zu befürchten, Einverständnis des Betriebsinhabers der Bahninfrastruktur).

Gemäss LeV sind die Hochspannungskabel nach Möglichkeit von den Niederspannungskabeln sowie Steuer- und Schwachstromkabeln getrennt zu verlegen (in separaten Kabelblöcken).



Bei bestehenden Infrastrukturen ist die Kabeltrasse nicht innerhalb der Interessenslinie der SBB zu legen, um künftige Ausbauten zu ermöglichen (z.B. hinsichtlich zukünftiger / längerfristig geplanter Doppelspurausbauten).

Tabelle 24: Mögliche Massnahmen zur Ausrüstung der Kabelrohrblöcke

Bez.	Strukturelle Massnahmen (Infrastruktur)	Aspekt
S-1	Bei Gesamtanierungen an Autobahnen in Kabelrohrblöcke für künftige Übertragungsleitungen vorinvestieren (Anordnung E / F). Kabelschutzrohre mit $\varnothing = 250$ mm, Anzahl Kabelschutzrohre je nach Bedürfnis Swissgrid und Platz, min. 2 x 3 Rohre	Bautechnik

Projektspezifische Nachweise und Abklärungen:

Das Einhalten des in der NISV festgelegten Immissionsgrenzwertes für die magnetische Flussdichte von 100 μ T ist für die Verkehrsteilnehmer nachzuweisen. Dies ebenso an Orten, wo sich das Arbeitspersonal der Trägerinfrastruktur aufhalten kann.

Die Schutzmassnahmen gegen Anprall sind projektspezifisch festzulegen, soweit Anlagenteile über die Erdoberfläche ragen (z.B. Zugänge zu Muffenschächte)

Erdung der Kabelblöcke

Bei Kabelanwendungen der Nationalstrasse gelten grundsätzlich die Bestimmungen des Fachhandbuches ASTRA 23001 BSA, namentlich

- Merkblatt Erdungsanlage und Blitzschutz 23001-11710
- Merkblatt Erdungsanlage auf offener Strecke 23001-11711
- Merkblatt Kabelrohrblock 23001-14200

Bei Kabelanwendungen der Bahn sind grundsätzlich die Vorschriften und Bestimmungen der AB-EBV einzuhalten, namentlich:

- AB 44.b Bahnstromverteilung und Kabel
- AB 44.d Bahnrückstrom und Erdung, insbesondere Ziffer 2: Grundsatz zu gefährlichen Berührungsspannungen

Bei der Bündelung der Trägerinfrastrukturen mit Übertragungsleitungen sind die Anforderungen gemäss Kapitel 5.2.1 Erdung und Potentialausgleich zu beachten.

Schutz der Kabelleitungen vor Beschädigungen

Anordnung F, Strasse und Bahn:

Die Anordnung von Kabelanlagen in Rutschhängen ist grundsätzlich zu vermeiden.

Wenn Setzungen zu erwarten sind, müssen die Kabel mit «Spiel» verlegt werden, um die möglichen Längenveränderungen des Bauwerkes mitzumachen.



Anordnung der Muffenverbindungen

Anordnung E / F, Strasse: Die Erschliessung von Muffenstellen ist, wenn immer möglich, von ausserhalb der Nationalstrasse über einen Feldweg bzw. eine Unterhaltsstrasse vorzusehen. In Fällen, wo dies nicht möglich ist, ist in Abstimmung mit dem ASTRA die Erschliessung über die Nationalstrasse projektspezifisch zu prüfen.

In Fällen, wo es unvermeidlich ist, Muffenschächte in der Fahrbahn oder im Pannestreifen anzuordnen, müssen die Schächte nach den Anforderungen des ASTRA befestigt werden.

Anordnung F, Bahn: Die Erschliessung von Muffenstellen ist, wenn immer möglich, von ausserhalb der Eisenbahnareals über eine Unterhaltsstrasse oder – bei Neubaustrecken - über einen parallelen Flur- und Interventionsweg vorzusehen.

Kabellogistik

Anordnung E / F, Strasse: Für die Anlieferung der Kabeltrommeln ist eine dauerhafte, ausreichende Zugänglichkeit zu den Kabelzugsorten sicherzustellen. Sie ist auf die Befahrbarkeit mit Spezialfahrzeugen und deren Gewichte auszurichten, siehe Abbildung 7 in Kapitel 4.1.5.

In den Fällen, in denen die Kabellegung ab Nothaltebuchten der Nationalstrasse vorzunehmen ist, sind die Kabellänge und der Abstand der Nothaltebuchten frühzeitig in der Planung aufeinander abzustimmen.

Unter Beachtung der Fahrzeugausmasse, der sich quer zur Fahrtrichtung abwickelnden Kabeltrommel bei Kabellängen > 560 Meter und der einzuhaltenden Biegeradien von min. 3.5 Meter beim Kabelverlegen ist hierfür ausreichend Platz einzuplanen. Kabelzugschächte dürfen nicht verstellt werden und sind in passender Distanz zum Standplatz der Kabeltrommel anzuordnen. Die Breite kann die normalen Anforderungen an Nothaltebuchten³³ überschreiten. Es ist darum zu empfehlen, über eine Kosten-Nutzen-Betrachtung die Anforderungen an eine ausserordentliche Kabelverlegung zu definieren: Muss ein Kabelzug gänzlich ohne Verkehrsbehinderungen auskommen, was mit einem baulichen Aufwand sichergestellt werden müsste. Oder ist eine Fahrstreifensperrung tolerierbar, wodurch sich auch die Fahrbahn mitbenutzen liesse. Wenn planbar, lässt sich die Kabelverlegung auch mit planmässigen Unterhaltsperrungen verbinden.

In den Fällen, in denen die Kabellegung von ausserhalb der Nationalstrasse über eine Unterhaltsstrasse vorzunehmen ist, ist die Kabellänge auf das Terrain, die Bebauung und die Erschliessungsmöglichkeiten auszurichten.

Anordnung F, Bahn: Die Kabellänge ist auf das Terrain, die Bebauung und die Erschliessungsmöglichkeiten auszurichten. Für die Anlieferung der Kabeltrommeln gelten dieselben Anforderungen wie bei der Anordnung F, Strasse.

³³ ASTRA-Richtlinie 11001 Normalprofile: lichte Breite = 4.25 Meter, gesamte Länge Nothaltebucht = 45 Meter



5.2.5 Anforderungen bei Brückenbauwerken (Anordnung G)

Lage und Anordnung der Kabel im Brückenbauwerk

Anordnung G, Strasse und Bahn: Der Abstand der Kabel zum Verkehrsraum muss so bemessen sein, dass der Immissionsgrenzwert für die magnetische Flussdichte von 100 μT für die Verkehrsteilnehmer eingehalten wird (siehe Kapitel 4.6). Ist ein Kontrollsteg vorhanden, so sind die Kabel so anzuordnen, dass die Kabelanlage für visuelle Kontrollen durch das Betriebspersonal der nationalen Netzgesellschaft nicht ausser Betrieb genommen werden müssen.

Die Kabel sind mit «Spiel» zu verlegen, um die Längenveränderungen des Bauwerkes mitzumachen. Bei den Einführungsbauwerken (Einführung in Brücken oder Gebäude) müssen differenzielle Verschiebungen aufgenommen werden können, die einige wenige Zentimeter erreichen können. Die Belegung und Anordnung der Kabelanlage ist mit dem Betreiber der Trägerinfrastruktur und gegebenenfalls mit anderen Werken (Wasser, Entwässerung, lokaler Stromversorger) zu koordinieren. Es gilt dann auch die Zugänglichkeit für das Werkpersonal zu gewährleisten.

Erdung der Kabel

Die elektromagnetische Verträglichkeit und die Erdung sind gemäss Kapitel 5.2.1 zu prüfen.

Zugang

Die in Kabelschutzrohren verlegte Kabelanlage ist für Wartungsarbeiten (visuelle Kontrollen, Korrosionskontrollen usw.) zugänglich zu halten. Betreffend Kabelverlegung und Unterhaltarbeiten (Ersatz von Kabel) siehe Kabellogistik.

Tabelle 25: Mögliche Massnahmen für den Zugang

Bez.	Strukturelle Massnahmen (Infrastruktur)	Aspekt
S-1	– Kontrollsteg, je nach Art der Anordnung (z.B. im Hohlkasten, zwischen Brückenträgern).	Logistik

Bez.	Materielle Massnahmen (Material)	Aspekt
M-1	– Einsatz eines mobilen Brückenuntersichtsgeräts (Fahrzeug, das für die Inspektion von Brückenunterseiten eingesetzt wird).	Logistik

Schutz der Kabelleitungen vor Beschädigungen (Längenausdehnungen, Naturgefahren)

Kabelverbindungen und -befestigungen: Sie müssen für die geltenden Erdbebenzonen gemäss Norm SIA 261, Kapitel 16, bemessen werden.

Bei Brücken über Gewässer und einer Befestigung der Kabelanlage unter der Brücke ist ein ausreichender Abstand zwischen dem höchsten Hochwasserstand und der Kabelanlage sicherzustellen.



Schutz der Brückeneinrichtungen vor Kabelbränden / Muffenexplosionen

An das Brandverhalten der Kabel sind die Anforderungen gemäss Kapitel 5.2.1 zu stellen.

Die Muffenverbindungen sind möglichst in Muffenschächten vor den Widerlagern vorzusehen. Muffenverbindungen unter der Brücke (im Hohlkasten oder an den Trägern) sind dagegen zu vermeiden.

Anordnung der Muffenverbindungen

Anordnung G, Strasse: Die Erschliessung von Muffenstellen, die sich beim Brückenwiderlager befinden, ist, wenn immer möglich, von ausserhalb der Nationalstrasse über einen Feldweg bzw. eine Unterhaltsstrasse vorzusehen. In Fällen, wo dies nicht möglich ist, ist in Abstimmung mit dem ASTRA die Erschliessung über die Nationalstrasse projektspezifisch zu prüfen.

Anordnung G, Bahn: Die Erschliessung von Muffenstellen, die sich beim Brückenwiderlager befinden, ist über einen Feldweg bzw. eine Unterhaltsstrasse vorzusehen. Wenn dies aus topografischen oder anderen Gründen nicht möglich ist, so ist der Zugang nur noch mit Gleisfahrzeugen möglich und die Verlegemöglichkeiten sind analog der Randbedingungen gemäss der Kapitel 4.1.2 und 4.1.5 festzulegen.

Kabellogistik

Anordnung G, Strasse und Bahn: Für die Anlieferung der Kabeltrommeln ist eine dauerhafte, ausreichende Zugänglichkeit zu den Kabelzugsorten (i.d.R. zu den Brückenwiderlagern) sicherzustellen. Sie ist auf die Befahrbarkeit mit Spezialfahrzeugen und deren Gewichte auszurichten, siehe Abbildung 7 in Kapitel 4.1.5.

Unter Beachtung der Fahrzeugausmasse, der sich quer zur Fahrtrichtung abwickelnden Kabeltrommel bei Kabellängen > 560 Meter und der einzuhaltenden Biegeradien von min. 3.5 Meter beim Kabelverlegen ist hierfür ausreichend Platz einzuplanen. Kabelzugschächte dürfen nicht verstellt werden und sind in passender Distanz zum Standplatz der Kabeltrommel anzuordnen.

Für die Kabelverlegung und die Montage von Kabeln an Brückenelementen ist eine ausgeklügelte Logistik (Verfahren, Maschinen und Geräte) vorzusehen, welche auf die zulässigen Kabel-Zugkräfte abgestimmt ist.

Bei einem Einzug der Kabel vom Verkehrsraum aus (Brückenwiderlager, sind Kabelzugschächte und Kabelzugrohre durch das Brückenwiderlager zu erstellen.

Tabelle 26: Mögliche Massnahmen zur Kabellogistik

Bez.	Strukturelle Massnahmen (Infrastruktur)	Aspekt
S-1	– Fest installierte Auflager / Sattelkonstruktionen für die Kabelförderung entlang Brückenträger / -platte	Logistik



Bez.	Materielle Massnahmen (Material)	Aspekt
M-1	– Installieren von temporären Gerüsten mit Auflager / Sattelkonstruktionen für das Ziehen der Kabel	Logistik

Projektspezifische Nachweise und Abklärungen:

Das Einhalten des in der NISV festgelegten Immissionsgrenzwertes für die magnetische Flussdichte von 100 μT ist für Verkehrsteilnehmer nachzuweisen. Dies ebenso an jenen Orten, wo sich das Arbeitspersonal der Trägerinfrastruktur oder allenfalls das Personal anderer Werke aufhalten kann. Der Grenzwert der Suva von 500 μT ist an jenen Orten nachzuweisen, wo ausschliesslich das Betriebspersonal der nationalen Netzgesellschaft Zutritt hat (z.B. bei einem Kontrollsteg).

Die Kabelverbindungen und -befestigungen und die Schutzmassnahmen gegen Längenänderungen und Naturgefahren sind projektspezifisch festzulegen.

Statischer Nachweis für die zusätzliche Last des Kabeleigenwichtes (insbesondere bei Anordnung unter einer Brückenkragplatte).

5.3 Anforderungen an Betrieb und Unterhalt

5.3.1 Betrieb und Sicherheit

In der Regel wird die «Infrastrukturhoheit» beim Betreiber der Trägerinfrastruktur (Bahn / Strasse) verbleiben. Mit der Bündelung verleiht der Betreiber der Trägerinfrastruktur dem Mitbenützer jedoch das Recht, eine Kabelanlage einzubauen, zu betreiben, zu erneuern und zu ersetzen.

Ähnlich wie mit einem Mobilfunkbetreiber muss eine Betriebsvereinbarung zwischen dem Betreiber der Trägerinfrastruktur und der Swissgrid als Mitbenützer abgeschlossen werden.

Verpflichtungen der Swissgrid

Nach Art 17 Starkstromverordnung müssen Betriebsinhaber ihre Starkstromanlagen dauernd instandhalten und periodisch reinigen und kontrollieren oder diese Arbeiten durch Dritte ausführen lassen.

Der Art 18 Starkstromverordnung verlangt, dass Betriebsinhaber für jeden Anlagenteil die Kontrollperiode bestimmen. Sie berücksichtigen dabei die äusseren Einflüsse, die Art der Anlage und die elektrische Beanspruchung. Die Kontrollperioden dürfen fünf Jahre nicht überschreiten.

Die Swissgrid als Betriebsinhaber muss gestützt darauf zu jeder Zeit im Rahmen und nach Dringlichkeit der Arbeiten Zugang zu ihrer Infrastruktur haben.



Verpflichtungen der Betreiber der Trägerinfrastruktur

Der Betreiber der Trägerinfrastruktur seinerseits muss die Trägerinfrastruktur dauernd instandhalten, periodisch reinigen und kontrollieren oder diese Arbeiten auch durch Dritte ausführen lassen.

Neben den Schutzmassnahmen gegenüber den schon existierenden Gefahren (Schritt-, Berührungsspannungen, elektromagnetischen Felder), die von den eigenen Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen bzw. Bahninfrastrukturen ausgehen, muss der Betreiber der Trägerinfrastruktur zusätzliche Schutzmassnahmen treffen, die sich aus der Bündelung ergeben.

Betriebsvereinbarung zwischen Betreiber der Trägerinfrastruktur und Mitbenützer

Für die Studienverfasser ist es aus den oben genannten Gründen zwingend notwendig, dass es bei einer Bündelung eine partnerschaftliche Betriebsvereinbarung braucht, in welcher der Betrieb, die Wartung und der Unterhalt auf derselben Augenhöhe geregelt werden.

Aufbau übergeordnete Sicherheitsorganisation

Dazu sind Pläne zur Ereignisbewältigung vorzubereiten, was bei einem Pannenfall / Schadenfall / grossem Ereignis in der einen oder anderen Infrastruktur zu tun ist.

Tabelle 27: Mögliche Regelungen zwischen Betreiber Trägerinfrastruktur / Swissgrid

Bez.	Regelungen	Aspekt
O-1	Betriebliche Regelungen: – die Verantwortlichkeiten und Pflichten beider Parteien und die Abgeltungen – die Dokumentation, der Informationsfluss und -austausch – der Zugang zum Anlagenteil der Swissgrid über den Verkehrsraum oder mit besonderen Verkehrsmitteln (Bahn) – die Verfügungsgewalt, insbesondere der Zutritt zum Anlagenteil der Swissgrid, wenn die Kabelanlage einen eigenen WELK hat	Betrieb
O-2	Regelungen zu Wartung und Unterhalt (siehe Kapitel 5.3.2)	Unterhalt
O-3	Regelung zur Überwachung im Normalbetrieb – Zweck: Verminderung Schadenausmass bei zweiter Infrastruktur – Erfolgt durch jeden Infrastrukturbetreiber separat; mit separaten Systemen (Hard-, Software)	Betrieb / Sicherheit



Bez.	Regelungen	Aspekt
O-4	Regelung zur Alarmweiterleitung: – Zweck: Verminderung Schadenausmass bei zweiter Infrastruktur – Bei schweren Ereignissen muss der Alarm von der betroffenen Infrastruktur an die zweite Infrastruktur weitergeleitet werden, damit diese geeignete Schutzmassnahmen treffen kann.	Sicherheit
O-5	Massnahmenpläne zur Ereignisbewältigung abstimmen – Zweck: schnelle Ereignisbewältigung; Verminderung der Folgeschäden – Beide Infrastrukturbetreiber legen fest, bei welchen Szenarien sie nicht mehr unabhängig Massnahmen umsetzen können. Für diese Szenarien werden die Massnahmenpläne zur Ereignisbewältigung aufeinander abgestimmt (Kriterien zur Abschaltung der Kabelanlage, benötigtes Einsatzmaterial, benötigter Platz auf Zufahrtsstrecken und am Ereignisort, Fachkräfte, Zeitbedarf für Beschaffung / Transport / Bewältigung, Abläufe und Drehbücher).	Sicherheit
O-6	Massnahmenpläne zur Wiederinbetriebnahme abstimmen – Zweck: schnelle Ereignisbewältigung; Verminderung der Folgeschäden – Beide Infrastrukturbetreiber legen fest, bei welchen Szenarien sie nicht mehr unabhängig Massnahmen zur Wiederinbetriebnahme umsetzen können. Für diese Szenarien werden die Massnahmenpläne zur Wiederinbetriebnahme aufeinander abgestimmt (inkl. Kriterien zur Einschaltung der Kabelanlage).	Sicherheit
O-7	Übungen mit der übergordneten Sicherheitsorganisation	Sicherheit

5.3.2 Wartungs- und Unterhaltsarbeiten

Die Studienverfasser empfehlen, in der Betriebsvereinbarung die folgenden Aspekte zu den Wartungs- und Unterhaltsarbeiten zu regeln:

- Die Zuständigkeiten und Schnittstellen bei der Zustandsbeurteilung und bei der Durchführung der Wartungs- und Unterhaltsarbeiten der jeweiligen Infrastrukturen.
- Die Serviceleistungen, die vom Betreiber der Trägerinfrastruktur u.U. übernommen werden, inkl. der entsprechenden Abgeltungen, z.B.:
 - die schienengebundene Erschliessung, das Vorhalten und Bereitstellen von geeigneten Erhaltungs- und Traktionsfahrzeugen bei der Anordnung B, Bahn
 - Unterhaltsarbeiten an der Sekundärtechnik der Übertragungsleitung, wie an Lüftungsanlagen, Beleuchtungen usw.

- Vorgehen und Fristen für das Abschalten der Kabelanlage im Hinblick notwendiger Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten an der Trägerinfrastruktur.

Die Planung der Wartungs- und Unterhaltsarbeiten innerhalb des Bündelungsabschnitts müssen gemeinsam und mit Ausrichtung auf die einzelnen Substanzerhaltungs- und Instandhaltungsprogramme erfolgen, wobei den unterschiedlichen Unterhaltszyklen (siehe Kapitel 4.3.2, 4.4.2, 4.5.2) Rechnung zu tragen ist. Ebenso sind die Vorlaufzeiten zu beachten, die einzuhalten sind, wie im Hinblick auf die Jahresabschaltplanung der Swissgrid oder die Anmeldung von Streckensperrungen (siehe Kapitel 4.4.6), wenn der Zugang ausschliesslich mit der Bahn möglich ist. Dies kann bedeuten, dass für den betroffenen Bündelungsabschnitt gegenseitige Anpassungen der Unterhaltszyklen notwendig werden, um ein Eintakten der Unterhaltsarbeiten zu erreichen (mit u.U. kürzeren oder längeren Unterhaltsintervallen für einzelne Bauteile oder Ausrüstungsgegenständen). Für die Aufnahme von kurz- oder mittelfristigen Unterhaltsbedürfnisse, die sich aus einer periodischen Zustandsbeurteilung ergeben, muss im gemeinsamen Unterhaltsprogramm ausreichend Flexibilität offengelassen werden.

Es ist zu empfehlen, dass für das Arbeiten in der Nähe der Höchstspannungskabel ein projektspezifisches Arbeitssicherheitskonzept erstellt wird. Darin ist u.a. zu regeln, unter welchen Bedingungen der Betreiber der Trägerinfrastruktur an den eigenen ausgeschalteten Energie- / Prozesskabel arbeiten darf, wenn parallel dazu die Höchstspannungsleitung eingeschaltet ist (siehe Kapitel 4.7).

Das Erstellen eines projektspezifischen Entscheidungsschemas zum Arbeiten an parallelen Leitungen bzw. zum Abschalten ist analog dem Beispiel in der Abbildung 12 zu empfehlen.

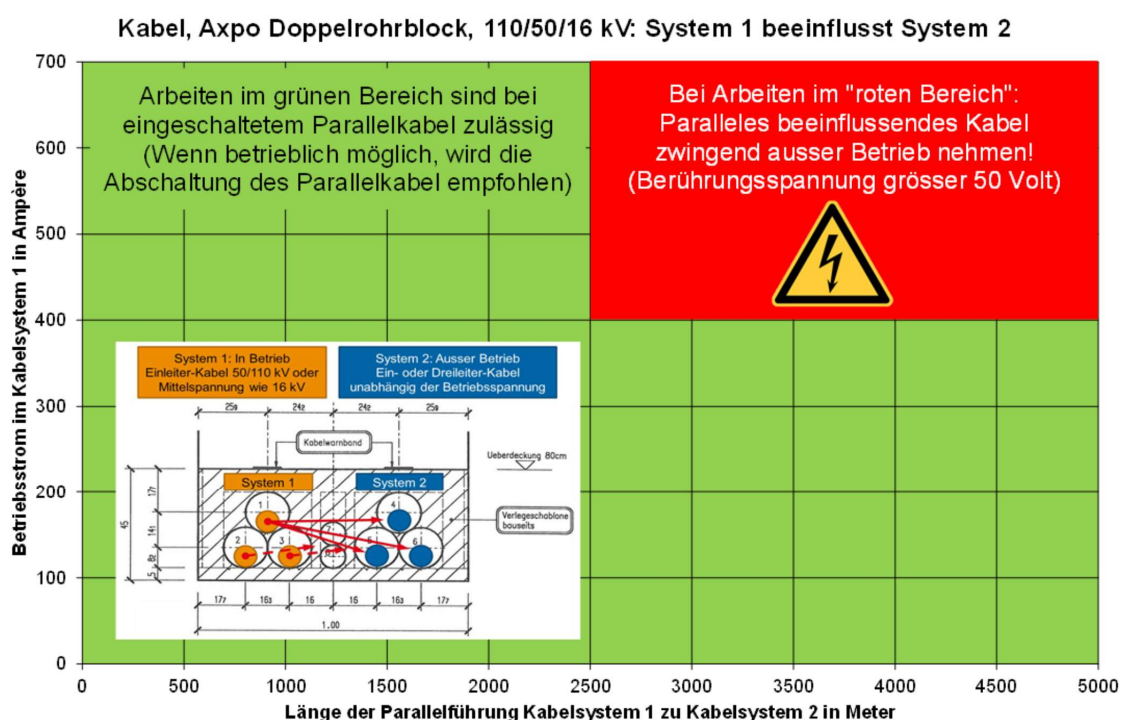


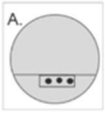
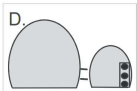
Abbildung 12: Schema zu Kabelarbeiten an parallel verlaufenden Kabeln (Quelle: Axpo Grid AG)

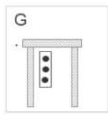
6 Folgerungen zur Realisierbarkeit der Bündelung

6.1 Machbarkeit der Bündelung

Unter Einhaltung der in dieser Studie ermittelten Anforderungen ist die Bündelung von Bahn- und Strasseninfrastrukturbauten mit 380 kV-Hochspannungskabeln technisch machbar. Für die heute üblichen baulichen Randbedingungen der Trägerinfrastrukturen sollte sich der in der NISV festgelegte Immissionsgrenzwert für die magnetische Flussdichte von 100 μ T für die meisten Anordnungen im Normalbetrieb einhalten lassen.

Es ist jedoch zu differenzieren. Nicht alle Anordnungen weisen dieselbe Eignung für eine Bündelung bzw. multifunktionale Nutzung auf, zumindest für Höchstspannungen bis 380/220 kV. Zudem ist, von der Anordnung F abgesehen, die Realisierung nur denkbar, wenn beide Infrastrukturen gleichzeitig neu gebaut werden oder wenn die Trägerinfrastruktur einer Gesamtsanierung unterzogen wird. Der letztere Fall gilt dabei eher für die Nationalstrasse als für Eisenbahnstrecken, Tunnelsanierungen eingeschlossen.

Tunnel 	– Eine gute Voraussetzung bietet in diesem Sinne die Anordnung A bei Strassenprojekten. Bei dieser Anordnung stehen mehrere Varianten offen. Vorzugsweise ist aber die Anordnung WELK zu nennen. Aus Sicht der Studienverfasser ist eine Bündelung in einem einzigen WELK kaum machbar, sofern den üblich geforderten Übertragungsleistungen Rechnung getragen werden soll. Die Anordnung der Stromleitung in einem von den Einrichtungen des Betreibers der Trägerinfrastruktur baulich abgetrennten WELK ist hingegen sehr wohl machbar.
Tunnel 	– Eine gute Voraussetzung bietet auch die Anordnung D, Strasse oder Bahn, wenn der Querschnitt in einer frühen Planungsphase mitgestaltet werden kann.
Tunnel 	– Die Anordnung B, Bahn, muss im Einzelfall geprüft werden, hängt der nutzbare Raum doch sehr stark vom Profil und vom Querschnitt ab. Eher kritisch sind hierbei Doppelspurtunnels zu betrachten, da die räumliche Nähe der Kabelanlage mit den beidseitigen Gehwegen / Fluchtwegen die Einhaltung des in der NISV festgelegten Immissionsgrenzwertes für die magnetische Flussdichte ohne weitergehende Abschirmmassnahmen schwierig macht. Die Anordnung B, Bahn, hat eher das Potential, Leitungen der tieferen Netzebene zu bündeln, wie dies mit der bahneigenen 132 kV-Bahnstromleitungen, soweit im Rahmen der Resonanzproblematik möglich, bereits Usanz ist.
Offene Strecke 	– Die Anordnung E erscheint, technisch gesehen, verhältnismässig einfach umsetzbar. Das Trasse der Nationalstrasse hat als Band, das den Raum mit rund 25 m Breite durchschneidet, generell ein hohes Bündelungspotential. Die Hindernisse liegen vielmehr in der Vereinbarkeit mit den Anforderungen der Nationalstrassen. Es zeigt sich aber, dass die Realisierung eines durchgängigen Kabelstrangs mehrere Jahrzehnte in Anspruch nehmen wird, da sie auf die Erneuerungsabschnitte der Autobahnen (UPLaNS) angewiesen ist.

	Mittelfristig müsste darum mit Teilverkabelungen von einzelnen Abschnitten vorliebgenommen werden (siehe Kapitel 4.3.2).
Offene Strecke 	– Mit der Anordnung F können die oben genannten Hindernisse umgangen werden. Der bauliche Aufwand steigt jedoch stark an, wenn der Kabelrohrblock in eine Böschung zu liegen kommt (Dämme, Einschnitte). Nahezu ideal liesse sich die Anordnung F beispielsweise auf dem Autobahn- und Stromkorridor Benken SG / Reichenburg – Sils i.D. / Thusis umsetzen, bei welchem mögliche Synergien bestehen und auf langen Distanzen flache und unbebaute Verhältnisse vorliegen.
Brücken 	– Die Anordnung G, Bahn oder Strasse, muss im Einzelfall geprüft, sind doch Brückenvielfalt und Anordnungsvarianten gross. Die Voraussetzungen sind grundsätzlich vorhanden.

Das Ziel der haushälterischen Bodennutzung lässt sich allerdings nur erreichen, wenn eine schon vorhandene Trägerinfrastruktur mehrfach genutzt werden kann (wie bei der multifunktionalen Nutzung). Wird die Kabelleitung stattdessen parallel, jedoch ausserhalb des Nationalstrassen- oder Eisenbahnbereichs geführt, so wird die Zielerfüllung abgeschwächt. Eine solche Situation tritt bei der Anordnung F ein, wenn der Platz innerhalb dieses Bereichs nicht ausreicht oder es gilt, Böschungen und Dämme auszuweichen. Wie bei einer ungebündelten Verkabelung muss in diesem Fall Land Dritter beansprucht werden und es sind Durchleitungsrechte zu erwerben. Immerhin wird das zu beanspruchende Land nur am Rande und neben einer Verkehrsachse beansprucht und nicht zentral zerschnitten. Eine raumordnerische Massnahme wäre in diesem Fall, mittels Landerwerb den «Infrastrukturkorridor» um die permanent nötige Breite der Kabelanlage zu verbreitern.

Nicht ausser Acht gelassen werden darf die Tatsache, dass das Übergangsbauwerk an die Freileitung einen Flächenbedarf von rund 1'000 m² aufweist und dieser Bodenbedarf ausserhalb der Trägerinfrastruktur zu finden ist. Dieser Zustand ist ein temporärer, der aber u.U. bis zu 30 Jahre dauern kann.

Die Risiken nehmen durch die Bündelung leicht zu, bleiben aber auf einem tiefen Niveau. Sie gehen hauptsächlich von den Trägerinfrastrukturen und nicht von der Übertragungsleitung aus (Anprall / Kollision und Brand in Strassentunneln). Aus Sicht der Sicherheit sind die Anordnung A mit einem WELK und die Anordnungen D und F günstiger zu beurteilen als die anderen.

6.2 Koordination der Planung und der Ausführung

Im Rahmen der Studienerarbeitung wurde in der Arbeitsgruppe UVEK festgestellt, dass eine frühzeitige Abstimmung der Planungsprozesse zwischen der Trägerinfrastruktur und der Übertragungsleitung ein zentrales Element für die erfolgreiche Realisierung einer Bündelung ist.

Für die Erarbeitung von Bündelungsprojekten gehen wir davon aus, dass die Projektbearbeitung für die Verkehrsinfrastruktur und die Stromleitung separat, aber gleichzeitig erfolgt. Zwischen der Sachplanung, welche Bündelungspotentiale erkennt und dem Plangenehmigungsverfahren, welches die konkreten Projekte bewilligt, braucht es eine aufeinander abgestimmte Planung beider Infrastrukturen, dies



insbesondere bei multifunktionaler Nutzung (vgl. Tabelle 28). Damit die Bündelungsprojekte erfolgreich realisiert werden können, braucht es je nach Grad der gesetzlichen Verpflichtung gegenseitige Absichtserklärungen und gemeinsame Strategien der Infrastrukturbetreiber, insbesondere hinsichtlich der zeitlichen Abstimmung der Projekte. Bündelungsprojekte sollten durch die beiden betroffenen Infrastrukturbetreiber zeitlich abgestimmt, d.h. möglichst parallel bearbeitet werden. Der Detaillierungsgrad in der Bearbeitung sollte für das Projekt der Verkehrsinfrastruktur möglichst gleich sein wie für das Stromprojekt.

Tabelle 28: Empfohlener Planungsablauf bei multifunktionaler Nutzung

Projektphase	Zentrale Leistungen ³⁴	Zuständigkeit	
		Trägerinfrastruktur	Swissgrid
Studie	– Variantenstudium zur Technologie der Stromübertragung		X
Vorprojekt³⁵	– Definition der Systemanforderungen der Stromübertragung		X
	– Vordimensionierung Bauwerksprofil / bauliche Elemente	X	X
	– Erstellen von generellen Konzepten zur Lüftung / Kühlung, Erdung und Potentialausgleich, Sicherheit / Brandschutz, Kabellogistik	X	X
	– Anschluss an das Freileitungsnetz	X	X
Bau- und Auflageprojekt³⁶	– Elektrotechnische Dimensionierungen		X
	– Bauliche Dimensionierungen	X	
	– Koordination an Schnittstellen, wie Kabellogistik, Lüftung	X	X
	– Lüftungsauslegung allgemein	X	
	– Lüftungsauslegung für WELK der Stromübertragung bzw. Kühlung von Kabelleitungen		X
	– Berechnungen und Nachweise betreffend Erdung- und Potentialausgleich	X	X
	– Baulegistik inkl. der Kabellogistik	X	X

³⁴ Bei einer Parallelführung ausserhalb des Nationalstrassen- oder Eisenbahnareals kann die Zuständigkeit auch ausschliesslich bei Swissgrid liegen, mit Koordination zur Trägerinfrastruktur so weit wie nötig.

³⁵ Bei Nationalstrassen entspricht das Vorprojekt dem Generellen Projekt bzw. Massnahmenkonzept.

³⁶ Bei Nationalstrassen entspricht das Bau- und Auflageprojekt dem Ausführungs- und Detailprojekt bzw. Massnahmenprojekt.



Bei dem Ablauf gemäss Tabelle 28 sind auch die Nutzungsvereinbarungen für die Trägerinfrastruktur und die Übertragungsleitung mitsamt den Schnittstellen auf einander abzustimmen.

Für die baubegleitenden Prüfungen und Abnahmen in der Ausführungsphase ist festzulegen, welcher Partner hierfür verantwortlich ist (z.B. bei den Erdungsmassnahmen).

Soll eine Bündelung innert absehbarer Zeitspanne realisiert werden und nicht zu einem Stückwerk verkommen (siehe Beurteilung zur Anordnung E in Kapitel 6.1), ist auch darüber nachzudenken, bestehende Unterhaltsphilosophien anzupassen. Es ist absehbar, dass dadurch Zielkonflikte aufbrechen werden, da der Verkehr dadurch häufiger und auf längeren Strecken durch Baustellen behindert wird. Diese Diskussion ist allenfalls auf der Ebene des UVEK zu führen.

6.3 Bündelung bei Netzebene 3 und 5

Eine Bündelung von Hochspannungsleitungen der NE 3 oder von Mittelspannungsleitungen der NE 5 mit Nationalstrassen oder Eisenbahnstrecken wurde im Rahmen dieser Studie nicht untersucht. Solche Bündelungen scheinen aber grundsätzlich ebenfalls machbar und unter bestimmten Umständen auch zweckmässig zu sein. Aufgrund der niedrigeren Spannung und der tieferen Stromstärken der Leitungen der Verteilnetze (z.B. max. Stromstärke auf NE 5 ca. 630 – 800 A, NE 3 ca. 800 A gegenüber ca. 1'900 A auf NE 1) ist davon auszugehen, dass sich verschiedene Zielkonflikte, z.B. in den Themenbereichen Platzbedarf, nichtionisierende Strahlung, elektromagnetische Verträglichkeit, Arbeitssicherheit, Wärmeabfuhr, Kabel- und Reparaturlogistik entschärfen.

Als konkretes Beispiel einer möglichen Bündelung einer Stromleitung der NE 3 mit einer Nationalstrasse kann die Realisierung der Lückenschliessung der Zürcher Oberlandautobahn zwischen dem Anschluss Uster Ost und dem Kreisel Betzholz genannt werden, bei welcher im kantonalen Richtplan ein Auftrag zur Prüfung einer Integration der Hochspannungsleitung Heusberg-Betzholz in das neu zu erstellende Autobahntrasse eingetragen wurde. Eine Bündelung könnte aus Sicht des Landschaftsschutzes und zur Vermeidung eines Eingriffs in eine Moorlandschaft von nationaler Bedeutung eine erhebliche Verbesserung darstellen.

Abschliessend sei erwähnt, dass ab Inkraftsetzung des neuen Bundesgesetzes über den Um- und Ausbau der Stromnetze («Strategie Stromnetze»), welche für das 2. Quartal 2019 geplant ist, für die NE 3 und die NE 5 ein Mehrkostenfaktor zur Anwendung kommen wird. Unter anderem aufgrund dieses Faktors wird zu entscheiden sein, in welchen Fällen eine Leitung als Freileitung gebaut werden kann und in welchen Fällen eine Kabellösung zu realisieren ist. Hingegen wird der Technologieentscheid «Kabel oder Freileitung» auf der Stufe der NE 1 nach wie vor auf der Basis einer Interessenabwägung zwischen den Aspekten Raumentwicklung, Umweltschonung, Technik und Wirtschaftlichkeit gefällt werden. Welche Auswirkungen die Einführung des Mehrkostenfaktors auf die Realisierung von Bündelungsvorhaben auf den Netzebenen 3 und 5 haben wird, ist derzeit noch offen.



7 Regulatorische Handlungsmöglichkeiten

7.1 Anpassungsbedarf bei Gesetzen / Verordnungen

7.1.1 Ausgangslage

Nach Art. 75 Bundesverfassung (BV; SR 101) hat der Bund die Grundsätze der Raumplanung festzulegen, welche einer zweckmässigen und haushälterischen Nutzung des Bodens dienen. Gemäss Art. 1 bis 3 Raumplanungsgesetz (RPG; SR 700) hat der Bund dafür zu sorgen, dass der Boden haushälterisch genutzt wird und er trifft Massnahmen zum Schutz der natürlichen Lebensgrundlagen wie Boden, Wald und Landschaft. Bauten und Anlagen sollen sich in die Landschaft einordnen und naturnahe Landschaften und Erholungsräume erhalten bleiben. Im Hinblick auf die anzustrebende räumliche Entwicklung prüfen die Behörden bei der Planung raumwirksamer Tätigkeiten insbesondere, wie viel Raum für die Tätigkeit benötigt wird, welche Alternativen und Varianten in Betracht fallen und welche Möglichkeiten bestehen, den Boden haushälterisch und umweltschonend zu nutzen (siehe Art. 2 Abs. 1 Raumplanungsverordnung [RPV; SR 700.1]). Zudem haben die Behörden das heimatliche Landschafts- und Ortsbild zu schonen (siehe Art. 3 Bundesgesetz über den Natur- und Heimatschutz [NHG; SR 451]).

7.1.2 Erwägungen

Die Prüfpflichten bei der Planung aus der BV, dem RPG, der RPV und dem NHG werden in Bezug auf die Bündelung in den Fachgesetzgebungen (u.a. StromVG, EleG, EBG, NSG) nicht ergänzt. Eine direkte gesetzliche Verpflichtung für die Infrastrukturbetreiber von Bahn, Strasse und Strom, ihre Infrastruktur mit anderen Infrastrukturen zu bündeln bzw. entsprechende Projekt zu entwickeln, gibt es nicht. Bei der Beurteilung, ob ein Leitungsbauvorhaben mit einer anderen Infrastruktur gebündelt werden soll, werden im Sachplanprozess als auch in den Plangenehmigungsverfahren verschiedene Aspekte geprüft und gegeneinander abgewogen. In den Verfahren für den Sachplan Übertragungsleitungen (SÜL) sind dies die Aspekte «Raumplanung», «Umweltschonung», «Technik» und «Wirtschaftlichkeit». Eine Bündelung wird sich allenfalls dann durchsetzen, wenn eine Gesamtbetrachtung dieser vier Aspekte für eine Bündelung spricht. Zudem muss ein Bündelungspotential vorgängig erkannt werden und die Planungen müssen rechtzeitig erfolgen können («window of opportunity»). Dementsprechend setzen sich in der Praxis nur jene Bündelungsprojekte durch, welche durch mindestens einen Infrastrukturbetreiber unterstützt bzw. gefördert oder planerisch bzw. politisch gefordert werden.

Der Bedarf, und damit verbunden der angestrebte Zeitpunkt der Realisierung für Ausbau oder Erneuerung (Gesamtsanierung) der Infrastrukturen, ist für jede Infrastruktur unterschiedlich. Aufgrund der Komplexität und der gegenseitigen Beeinflussungen der Vorhaben muss im «Bündelungsfall» jedoch - bis zu einem gewissen Grad der Detailierung - das Projekt der Übertragungsleitung parallel zum Projekt der Verkehrsinfrastruktur (Strasse, Bahn) bearbeitet und entwickelt werden. Dies erfordert eine Abstimmung und Koordination der Planungen der involvierten Infrastrukturbetreiber zu einem frühen Zeitpunkt und eine Verpflichtung seitens der Infrastrukturbetreiber gewisse zwingend erforderliche Planungsarbeiten zeitlich vorzuziehen.



Aufgrund der (in vielen Fällen) zeitlichen Differenz des Bedarfs seitens Stromnetzinfrastuktur und der Realisierung der Verkehrsinfrastruktur muss die vorzeitige Erneuerung des Übertragungsnetzes wie auch die Finanzierung von vorgezogenen baulichen Massnahmen (z.B. Werkleitungskanäle oder Kabelrohrblöcke) geregelt werden. Ein konkretes Beispiel hierzu liefert die 2. Röhre des Gotthard-Strasentunnels, wo die bautechnische Realisierung des WELK-380-kV zu Kosten führen wird, welche einige Jahre vor der geplanten Nutzung der Infrastruktur durch Swissgrid anfallen. Dies wirft die Frage auf, nach welchen Bestimmungen eine Anrechenbarkeit dieser Kosten sichergestellt ist und ob der heutige Regulierungsrahmen eine solche Vorfinanzierung zulässt. Nach Art. 15 Abs. 1 StromVG sind die Betriebs- und Kapitalkosten eines sicheren, leistungsfähigen und effizienten Netzes anrechenbar und nach Art. 10 Abs. 1 StromVG sind Quersubventionierungen zwischen dem Netzbetrieb und den übrigen Tätigkeitsbereichen untersagt. Zudem ist absehbar, dass die multifunktionale Nutzung von Infrastrukturen - wenn auch sicher und leistungsfähig - nicht in jedem Fall kosteneffizient ist, sondern gegebenenfalls zu erheblichen Mehrkosten führen kann. Dies etwa auch in Fällen, in denen eine Bündelung der Infrastrukturen nur zu realisieren ist, wenn die Übertragungsleitung anstelle einer Ausführung als Freileitung bei einer Bündelung als Kabellösung ausgeführt wird und/oder die erhöhten Anforderungen bei einer Bündelung zu kostspieligen Massnahmen führen.

Bezüglich Betrieb, Unterhalt und Störungsbehebung muss sich heute nach den derzeit geltenden Bestimmungen (siehe u.a. Art. 30 Nationalstrassenverordnung [NSV; SR 725.111] die «Strominfrastruktur» bei einer Bündelung mit einer Nationalstrasse den Bau- und Betriebsabläufen der Nationalstrasse unterordnen. Diese Regelung kann für den Betrieb der Übertragungsanlagen in multifunktionalen Infrastrukturen (z.B. Tunnel in einer Nationalstrasse) für Swissgrid nachteilig sein, da auch die Swissgrid verantwortlich ist für eine Infrastruktur von nationalem Interesse und damit beispielsweise im Falle einer ausserordentlichen Störung auf eine rasche Behebung der Störung angewiesen ist.

7.1.3 Handlungsmöglichkeiten

Eine Verpflichtung der Infrastrukturbetreiber (Strasse, Bahn und Strom) ihre Infrastrukturen bündeln zu müssen («Bündelungspflicht»), ist nicht zielführend und teilweise (u.a. bezüglich Technik, Mehrkosten, Risiken) auch gar nicht sinnvoll.

Aus Sicht der Arbeitsgruppe UVEK besteht aber bei den folgenden Handlungsfeldern die Möglichkeit, mittels einer regulatorischen Anpassung die Bündelung zu fördern (siehe Beilage 1):

- Regelung der Zuständigkeiten und Pflicht zur Untersuchung des geografischen Bündelungspotentials
- Verpflichtung der Infrastrukturbetreiber zur Prüfung einer Bündelung bei den Projekten
- Verpflichtung zur Koordination der Planung der Infrastrukturbetreiber
- Verpflichtung zu Vorarbeiten bei nicht zeitgleicher Realisierung von Bündelungsvorhaben
- Regelung der Kostenträgerschaft und Anrechenbarkeit der Kosten bei Bündelungsvorhaben wie etwa: vorzeitige Erneuerung von Infrastrukturen, Vorfinanzierung von Teilen der Infrastruktur (z.B. Werkleitungskanal), Mehrkosten von Vorhaben usw.



7.2 Anpassungsbedarf bei technischen Regelwerken

7.2.1 Ausgangslage

Für jede Infrastruktur, also für die Nationalstrasse, die Eisenbahn und die Übertragungsleitung bestehen technische Regelwerke, welche hierfür in sich schlüssig die Randbedingungen und Anforderungen definieren.

7.2.2 Erwägungen

Mit der Bündelung wird auf technischer Ebene kein Neuland betreten. Neuartig ist höchstens, dass sie kumulativ anzuwenden sind, dass sich die Infrastrukturbetreiber zu koordinieren haben und dass die beauftragten Fachspezialisten interdisziplinär zusammenarbeiten müssen. Bei der Nationalstrasse und der Eisenbahn ist diese Interdisziplinarität bereits häufiger Usanz, wenn Kabelleitungen bis zu einer Spannung von 50 kV bzw. 132 kV in Bauwerke zu integrieren sind. Für die Strominfrastruktur sind dagegen Kabelleitungen in geschlossenen Bauwerken noch eher Spezialfälle, und falls sie vorkommen, dann eher in Bauteilen, in welche Verkehrsteilnehmer keinen Zugang haben.

Dennoch wurde im Rahmen der Studierenerarbeitung festgestellt, dass einige Regelwerke je nach Hintergrund ihrer Erstellung in den Überlappungsbereichen nicht gänzlich kompatibel sind. In diesen Bereichen ergeben sich teilweise Widersprüche bzw. Fragen nach dem Geltungsbereich der einzelnen Richtlinien. Bisher fiel diesem Umstand keine Bedeutung zu, weil noch kaum multifunktionale Nutzungen zwischen Übertragungsleitungen und Nationalstrassen oder Eisenbahnstrecken in die Realität umgesetzt wurden. Dazu ist zu verzeichnen, dass sich die Regelungen in den ASTRA-Fachhandbüchern und den Ausführungsbestimmungen zur EBV bisher einzig auf die strassen- oder bahneigenen Kabelanwendungen fokussieren.

7.2.3 Handlungsmöglichkeiten

Folgende Handlungsfelder wurden geortet, bei denen sich auch in der Diskussion im Rahmen der Arbeitsgruppe UVEK gezeigt hat, dass eine klarere Regelung der Geltungs- und Anwendungsbereiche der einzelnen Regelwerke bzw. eine Präzisierung der Anforderungen hilfreich wäre.

- Gegenseitige Abgrenzung bzw. Klärung des Geltungsbereichs der ArGV 4 und zugehöriger Wegleitung sowie der Norm SIA 197/2: Aus Sicht der Studienverfasser wird aus Gründen der Verhältnismässigkeit (Kostenfolgen) von einer Anwendung der ArGV 4 und insbesondere der zugehörigen Wegleitung auf Verkehrstunnel abgeraten. Der Anwendungsbereich der Wegleitung zur ArGV 3 und 4 sollte hinsichtlich Verkehrstunnels präzisiert werden.
- Abgrenzung des Anwendungsbereiches der Norm SIA 205 bei Verkehrstunneln: Aus Sicht der Studienverfasser darf die Norm SIA 205 nicht für Verkehrstunnel im Allgemeinen beigezogen werden. Verkehrstunnel werden in den Normen SIA 197, 197/1 und 197/2 abgehandelt.
- Abgrenzung des Anwendungsbereiches der Norm SIA 197/2 und Anhang 1 der Starkstromverordnung (Innenraumanlagen) bezüglich Lichtraumprofile von Montagegängen / Fluchtwegen und Notausgängen.



- Abgrenzung des Anwendungsbereiches der Norm SIA 197/2 und der Leitungsverordnung bezüglich Brandschutz, d.h. hinsichtlich Unterteilung in Brandabschnitte.
- Äquivalenz der Prüfanforderungen an das Brandverhalten von Kabeln: Mangels jüngst umgesetzter Praxisfälle oder im Plangenehmigungsverfahren befindlichen Projekten zur multifunktionalen Nutzung ist noch nicht rechtskräftig geklärt, ob Kabel der Übertragungsleitungen künftig auch die neue Klassifizierung gemäss der SN EN 13501-6 zu erfüllen haben, wenn sie in Tunnels, WELK bzw. SiSto eingebaut werden. Denkbar ist aber auch, dass die Konformität der Merkmale der schweren Entflammbarkeit, der verminderten Brandfortleitung, der geringen Rauchdichte und der geringen Toxizität weiterhin mit herkömmlichen Prüfanforderungen nachgewiesen werden darf, wie dies die AB-EBV zulässt.

7.2.1 Empfohlenes Vorgehen zur Verringerung der Unsicherheiten

Diese Studie liefert eine Aussage zum Präzisierungsbedarf der technischen Regelwerke, kann selbst in den Handlungsfeldern aber keine Rechtssicherheit vermitteln. Den Entscheid über die Auslegung von widersprüchlichen Regelwerken muss letztendlich die Bewilligungsbehörde in einem konkreten Bündelungsprojekt treffen, nach dem dort alle betroffenen Parteien ausreichend angehört wurden.

Um aus heutiger Sicht solche Unsicherheiten zu verringern – die erkannten Widersprüche sind exemplarisch, möglicherweise aber nicht abschliessend – und um die Verfahrensrisiken zu minimieren, empfiehlt es sich bei grossen oder komplexen Projekten mit den Bewilligungsbehörden frühzeitig das Gespräch zu suchen und abzuklären, welche Bedingungen und Nachweise zu erfüllen sind, damit die Bewilligungsfähigkeit in Aussicht gestellt werden kann. Der Gesuchsteller hat dabei einen Vorgehensvorschlag zu unterbereiten, welcher mit Begründungen belegt ist. Gegebenenfalls kann auch mit Ausnahmegewilligungen gearbeitet werden, u.a. sieht die LeV in Art. 2 Ausnahmegewilligungen vor.

Es ist aber auch denkbar, dass sich mittel- bis längerfristig eine Klärung ergibt, indem Verordnungen und Normen aufeinander abgestimmt werden. Bei der nächsten Revision ist gegebenenfalls die LeV (SR 734.31), im Speziellen der Art. 70 „Verlegung in Tunnels und Stollen“ zu überarbeiten. Aktuell befindet sich die Starkstromverordnung (SR 734.2) in der Überarbeitung. Hier ist im Speziellen der 2. Abschnitt «Innenraumanlagen» von Bedeutung, der sich zum Brandschutz äussert. Als Stand der Technik wird weiter u.a. die SN EN 61 936-1 «Starkstromanlagen mit Nennwechselspannung über 1 kV, Teil 1» zur Anwendung kommen.



Abkürzungsverzeichnis

ARE	Bundesamt für Raumentwicklung
ASTRA	Bundesamt für Strassen
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BAG	Bundesamt für Gesundheit
BAV	Bundesamt für Verkehr
BFE	Bundesamt für Energie
BSA	Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen
DTV	durchschnittlicher täglicher Verkehr
EICom	Eidgenössische Elektrizitätskommission
EMV	elektromagnetische Verträglichkeit
ESTI	Eidgenössisches Starkstrominspektorat
EVU	Energieversorgungsunternehmen oder Eisenbahnverkehrsunternehmen
GIL	gasisolierte Leitung
HS	Hochspannung
HTSL	Hochtemperatursupraleiter
KSR	Kabelschutzrohr(e)
LWL	Lichtwellenleiter
NE	Netzebene
NIS	nichtionisierende Strahlung
OKA	Ort für den kurzfristigen Aufenthalt
OMEN	Ort mit empfindlicher Nutzung
SBB	Schweizerische Bundesbahnen
SECO	Staatssekretariat für Wirtschaft
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
SIN	Sachplan Verkehr, Teil Infrastruktur Strasse
SIS	Sachplan Verkehr, Teil Infrastruktur Schiene
SiSto	Sicherheitsstollen
SR	Systematische Sammlung des Bundesrechts
SÜL	Sachplan Übertragungsleitungen
UPlaNS	Unterhaltsplanung Nationalstrassen
UVEK	Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
VPE	vernetztes Polyethylen
WBGt	wet-bulb globe temperature (Hitzestress-Index)
WELK	Werkleitungskanal



Literatur, Bundesrecht und technische Regelwerke

Literatur

[1]	Multifunktionale Nationalstrassen zur Entlastung der Landschaft, Bericht des Bundesrates in Erfüllung des Postulats 08.3017, Rudolf Rechsteiner, Bern, 21. Juni 2017
[2]	Resonanzproblematik im SBB Energienetz, SBB, Zollikofen, 24. September 2012
[3]	Cargo sous terrain: Bundesrat erteilt Auftrag für Vernehmlassungsvorlage, Medienmitteilung vom 28. September 2018
[4]	Unterhaltsplanung Nationalstrassen https://www.astra.admin.ch/astra/de/home/themen/nationalstrassen/baustellen/wissenswertes/unterhaltsplanung-nationalstrassen.html
[5]	Zusammenfassender Jahresbericht 2016 zur LV 2013–2016, SBB Infrastruktur, Bern, März 2017
[6]	Zwischenverkabelung der 380/132/65-kV-Leitungsverbindung Mörel – Ulrichen: Machbarkeitsstudie, Prof. Dr.-Ing. habil. H. Brakelmann, BCC Cable Consulting, Dipl.-Ing. Shuan Ghaderi, S&P Consult GmbH, September 2014
[7]	Gutachten zur Bewertung der 380 kV– Steiermark– Leitung aus energietechnischer Sicht: Univ.-Prof. em. Dr. -Ing. habil. Friedhelm Noack, 28. November 2005
[8]	IEC 62067-Publikation: Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltage above 150 kV (Um = 170 kV) up to 500 kV (Um = 550 kV) – Test methods and requirements, 2001
[9]	CIGRE-WG B1-10 Updating of service experience of HV underground and submarine cable systems CIGRE-WG B1-08, Cable systems in multipurpose or multi shared structures
[10]	Nichtionisierende Strahlung und Gesundheitsschutz in der Schweiz, Grundlagen, Bundesamt für Gesundheit (BAG), Bern, Januar 2006
[11]	Publikation 1903.d, Grenzwerte am Arbeitsplatz, Suva, Luzern, Januar 2018
[12]	Publikation 2869/26.d, Arbeitsmedizinische Prophylaxe bei Arbeiten im Untertagebau im feucht-warmen Klima, Suva, Luzern, 4. Auflage, März 2003
[13]	Eidgenössische Koordinationskommission für Arbeitssicherheit (EKAS): Mitteilungsblatt Nr. 83, EKAS, Luzern, November 2016
[14]	Publikation 66089.d, Gefahrenermittlung und Massnahmenplanung in Kleinbetrieben, Suva, Luzern, November 2004



Gesetze und Verordnungen

Bundesverfassung:	
BV	Bundesverfassung der Schweizerischen Eidgenossenschaft vom 18. April 1999 (BV; SR 101)
Raumplanung:	
RPG	Bundesgesetz über die Raumplanung vom 22. Juni 1979 (Raumplanungsgesetz, RPG; SR 700)
RPV	Raumplanungsverordnung vom 28. Juni 2000 (RPV; SR 700.1)
Umwelt:	
USG	Bundesgesetz über den Umweltschutz vom 7. Oktober 1983 (Umweltschutzgesetz, USG; SR 814.01)
NISV	Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung vom 23. Dezember 1999 (NISV; SR 814.710)
Strasse:	
NSG	Bundesgesetz über die Nationalstrassen vom 8. März 1960 (NSG; SR 725.11)
NSV	Nationalstrassenverordnung vom 7. November 2007 (NSV; SR 725.111)
VRV	Verkehrsregelnverordnung vom 13. November 1962 (VRV; SR 741.11)
Bahn:	
EBG	Eisenbahngesetz vom 20. Dezember 1957 (EBG; SR 742.101)
EBV	Verordnung über Bau und Betrieb der Eisenbahnen vom 23. November 1983 (Eisenbahnverordnung, EBV; SR 742.141.1) sowie deren Ausführungsbestimmungen (AB-EBV)
Strom:	
EleG	Bundesgesetz betreffend die elektrischen Schwach- und Starkstromanlagen vom 24. Juni 1902 (Elektrizitätsgesetz, EleG; SR 734.0)
StromVG	Bundesgesetz über die Stromversorgung vom 23. März 2007 (Stromversorgungsgesetz, StromVG; SR 734.7)
StromVV	Verordnung vom 14. März 2008 (Stromversorgungsverordnung, StromVV; SR 734.71)
Starkstromverordnung	Verordnung über elektrische Starkstromanlagen vom 30. März 1994 (Starkstromverordnung; SR 734.2)
LeV	Verordnung über elektrische Leitungen vom 30. März 1994 (Leitungsverordnung, LeV; SR 734.31)
VEMV	Verordnung über die elektromagnetische Verträglichkeit vom 25. November 2015 (VEMV; SR 734.5)
Gesundheit / Arbeitnehmerschutz:	
ArG	Bundesgesetz über die Arbeit in Industrie, Gewerbe und Handel vom 13. März 1964 (Arbeitsgesetz, ArG; SR 822.11)



ArGV 3	Verordnung 3 zum Arbeitsgesetz vom 18. August 1993 (Gesundheitsschutz, ArGV 3; SR 822.113)
ArGV 4	Verordnung 4 zum Arbeitsgesetz vom 18. August 1993 (Industrielle Betriebe, Plangenehmigung und Betriebsbewilligung, ArGV 4; SR 822.114)
VSE/SVGW	VSE/SVGW Sicherheitshandbuch SiHaBu – Version 2018
Übriges:	
BauPV	Verordnung über Bauprodukte vom 27. August 2014 (Bauprodukteverordnung, BauPV; SR 933.01)

Normen, Richtlinien und Fachhandbücher

Normen:	
SIA 197	Norm SIA 197 (2004), Projektierung Tunnel – Grundlagen, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
SIA 197//1	Norm SIA 197/1 (2004), Projektierung Tunnel – Bahntunnel, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
SIA 197/2	Norm SIA 197/2 (2004), Projektierung Tunnel – Strassentunnel, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
SIA 205	Norm SIA 205 (2003), Verlegung von unterirdischen Leitungen – Räumliche Koordination und technische Grundlagen, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
SIA 260	Norm SIA 260 (2013), Grundlagen der Projektierung von Tragwerken, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
SIA 261	Norm SIA 261 (2014), Einwirkungen auf Tragwerke, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
DIN IEC 60183	Leitlinie zur Auswahl von AC-Hochspannungskabelsystemen (IEC 60183:2015)
IEC 60287-1-1	Electric cables - Calculation of the current rating - Part 1-1: Current rating equations (100 % load factor) and calculation of losses – General, 2006 (zulässiger Strom bei Dauerlast gemäss Anhang 1 Ziff. 13 Abs. 2 Bst. b NISV)
IEC 60288	Tube and valve shields (Leiter für isolierte Kabel)
IEC 60853	Calculation of the cyclic and emergency current rating of cables (zulässiger Strom bei zyklischer Last)
IEC 60949	Calculation of thermally permissible short-circuit currents, taking into account non-adiabatic heating effects (zulässige Kurzschlussströme)
EN 50110-1	EN 50110-1:2013, Betrieb von elektrischen Anlagen - Teil 1: Allgemeine Anforderungen
SN EN 61936	EN 61936-1+A1:2014-12, Starkstromanlagen mit Nennwechselspannungen über 1 kV - Teil 1: Allgemeine Bestimmungen



SN EN 13501-6	SN EN 13501-6, Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten - Teil 6: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von elektrischen Kabeln; 2014
SN EN 50122-2	Bahnanwendungen - Ortsfeste Anlagen - Elektrische Sicherheit, Erdung und Rückleitung - Teil 2: Schutzmaßnahmen gegen Streustromwirkungen durch Gleichstrom-Zugförderungssysteme
SN EN 50522	SN EN 50522:2010-11, Erdung von Starkstromanlagen mit Nennwechselspannungen über 1 kV
SN EN 50575	SN EN 50575:2014, Starkstromkabel und -leitungen, Steuer- und Kommunikationskabel – Kabel und Leitungen für allgemeine Anwendungen in Bauwerken in Bezug auf die Anforderungen an das Brandverhalten
SN EN 60332-3-24	SN EN 60332-3-24: Prüfungen an Kabeln, isolierten Leitungen und Glasfaserkabeln im Brandfall (Prüfart C)
SN EN 61034-1 SN EN 61034-2	SN EN 61034-1 und SN EN 61034-2, Messung der Rauchdichte von Kabeln, Prüfeinrichtung (Teil 1) + Prüfverfahren und Anforderungen (Teil 2)
SN EN 60754-1 SN EN 60754-2	SN EN 60754-1 und SN EN 60754-2, Prüfung der bei der Verbrennung der Werkstoffe von Kabeln und isolierten Leitungen entstehenden Gase: Teil 1: Bestimmung des Gehaltes an Halogenwasserstoffsäure Teil 2: Bestimmung der Azidität (durch Messung des pH-Wertes) und Leitfähigkeit
SNG 483755	Erden als Schutzmassnahme in elektrischen Starkstromanlagen; Erläuterungen zu den Artikeln 53 - 61 der Starkstromverordnung
SN EN 61000	Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)
VKF	Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen (VKF) Brandschutznorm, 01.01.2015 / 1-15de
Richtlinien / Merkblätter ASTRA:	
ASTRA 11001	Richtlinie ASTRA 11001, Normalprofile, Nationalstrassen 1. und 2. Klasse mit Richtungstrennung (2017, V1.10), Bundesamt für Strassen, Bern
ASTRA 13002	Richtlinie ASTRA 13002, Lüftung der Sicherheitsstollen von Strassentunneln (2008, V1.06), Bundesamt für Strassen, Bern
ASTRA 2B010	ASTRA 2B010, Fachhandbuch Erhaltungsplanung, Arbeitsprozesse und Produkte (2016, V1.00), Bundesamt für Strassen, Bern
ASTRA 21001	ASTRA 21001, Fachhandbuch Trasse / Umwelt (FHB T/U) (2018), Bundesamt für Strassen, Bern
ASTRA 22001	ASTRA 22001, Fachhandbuch Kunstbauten (FHB K) (2018), Bundesamt für Strassen, Bern
ASTRA 23001	ASTRA 23001, Fachhandbuch Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen (FHB BSA) (2018), Bundesamt für Strassen, Bern, namentlich: – Technisches Merkblatt 23 001-11350 SISTO-Lüftung (V1.10), 1.01.2018 – Technisches Merkblatt 23 001-12130 Kabel (V1.20), 1.01.2018 – Technisches Merkblatt 23 001-14200 Kabelrohrblock (V1.20), 1.01.2016



	– Technisches Merkblatt 23 001-14201 Hierarchie der Infrastruktur (V1.10), 31.12.2012 – Technisches Merkblatt 23 001-14202 Rohrdisposition (V1.00), 14.07.2011 – Technisches Merkblatt 23 001-14203 Rohrblockkonfiguration (V1.00), 14.07.2011 – Technisches Merkblatt 23 001-14204 Rohrblocklage (V1.00), 14.07.2017 – Technisches Merkblatt 23 001-12130 Kabel (V1.20), 1.01.2018 – Technisches Merkblatt 23 001-12220 EMV (V1.00), 14.05.2010 – Technisches Merkblatt 23 001-11710 Erdungsanlage und Blitzschutz (V2.10), 01.01.2018 – Technisches Merkblatt 23 001-11711 Erdungsanlage auf offener Strecke (V2.00), 07.12.2012 – Technisches Merkblatt 23 001-11712 Erdungsanlage in Tunneln (V2.00), 07.12.2012
ASTRA 24001	ASTRA 24001, Fachhandbuch Tunnel / Geotechnik (FHB T/G) (2018), Bundesamt für Strassen, Bern, namentlich: – Technisches Merkblatt 24 001-10404 Werkleitungskanal (V2.03), 1.01.2015 – Technisches Merkblatt 24 001-10405 Kabelrohrblöcke und Kabelzugschächte (V2.210), 1.07.2017 – Technisches Merkblatt 24 001-10706 Begehbare Querverbindungen (V2.03), 1.01.2015 – Technisches Merkblatt 24 001-10707 Sicherheitsstollen, Fluchtstollen (V2.03), 1.01.2015
Richtlinien SBB:	
SBB I-20036	Regelwerk I-20036, Selbstrettungsmassnahmen in Tunnel - Infrastrukturmassnahmen zur Erleichterung der Selbstrettung in Tunnel, SBB, Bern, 1. Mai 2015
SBB I-ET 10003	Regelwerk I-ET 10003, Erdungshandbuch SBB, SBB, Bern, 1. November 2010
SBB I-AT-FS 3003.05	Regelwerk I-AT-FS 3003.05, Kabelschutz - Projektierung, Bau, SBB, Bern, 2. Mai 2011
SBB I-PS 3003.07	Regelwerk I-PS 3003.07, Richtlinien für Arbeiten an Hochspannungskabeln (>1 kV), SBB, Bern, 15. Januar 2007
SBB G-3521	Regelwerk: Verladerichtlinie Grundsätze Band 1, SBB, Bern, 1. September 2018



Richtlinien Tiefbauämter:	
TBA Kanton Zürich	Tiefbauamt, Verkehrsmanagement: Richtlinie EMV, Erdung, Blitzschutz für Hochleistungsstrassennetz, Teile 1-4, 26. Juni 2016
Verband öffentlicher Verkehr:	
VöV R RTE 20012	Regelwerk Technik Eisenbahn R RTE 20012, Lichtraumprofil Normalspur, VöV, Bern, 10. Dezember 2012
VöV D RTE 27900	Regelwerk Technik Eisenbahn D RTE 27900, Rückleitungs- und Erdungshandbuch, VöV, Bern, 1. Juli 2014
Richtlinien ESTI:	
ESTI 248	Richtlinie Nr. 248, Version 0415 d, Erdbebensicherheit der elektrischen Energieverteilung in der Schweiz, ESTI, Fehraltorf, 1. April 2015
ESTI_240_1199.d	Erläuterungen zur Leitungsverordnung (LeV) vom 30.03.1994, ESTI, Fehraltorf, 1. September 1999
Publikationen Suva:	
Suva 1903	Publikation Grenzwerte am Arbeitsplatz, Suva, Luzern, Januar 2018
Diverse:	
SN EN 50575	Starkstromkabel und -leitungen, Steuer- und Kommunikationskabel - Kabel und Leitungen für allgemeine Anwendungen in Bauwerken in Bezug auf die Anforderungen an das Brandverhalten, 2017
Vollzugshilfen / Wegleitungen / Handbücher:	
Vollzug NISV	Hochspannungsleitungen, Vollzugshilfe zur NISV, BAFU, Bern, 2007
Wegleitung ArGV 3+4	Wegleitung zu den Verordnungen 3 und 4 zum Arbeitsgesetz (Gesundheitsschutz, Plangenehmigung), SECO, Bern, Dezember 2018
Bewertungsschema BFE	BFE, Arbeitsgruppe Überarbeitung Bewertungsschema (SÜL-Verfahren): Bewertungsschema für Übertragungsleitungen, 28. Februar 2013



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Energie BFE

Anhang 1: Merkblätter zu den Bündelungsanordnungen

Gültig für alle Anordnungen und Trägerinfrastrukturen

Allgemeine Randbedingungen Strom

Technische Bestimmungen seitens Stromleitung	Quelle: [Allg-1] Verordnung über elektrische Starkstromanlagen vom 30. März 1994 (Starkstromverordnung; SR 734.2) [Allg-2] Verordnung über elektrische Leitungen vom 30. März 1994 (Leitungsverordnung, LeV; SR 734.31) [Allg-3] SN EN 13501-6, Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten - Teil 6: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von elektrischen Kabeln [Allg-4] SN EN 60332-3-24: Prüfungen an Kabeln, isolierten Leitungen und Glasfaserkabeln im Brandfall (Prüfart C) [Allg-5] SN EN 61034-1 und SN EN 61034-2: Messung der Rauchdichte von Kabeln, Prüfeinrichtung (Teil 1) + Prüfverfahren und Anforderungen (Teil 2) [Allg-6] SN EN 60754-1 und SN EN 60754-2: Prüfung der bei der Verbrennung der Werkstoffe von Kabeln und isolierten Leitungen entstehenden Gase: Teil 1: Bestimmung des Gehaltes an Halogenwasserstoffsäure, Teil 2: Bestimmung der Azidität (durch Messung des pH-Wertes) und Leitfähigkeit [Allg-7] Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung vom 23. Dezember 1999 (NISV; SR 814.710) [Allg-8] Hochspannungsleitungen: Vollzugshilfe zur NISV, BAFU 2007 [Allg-9] Suva-Publikation 1903.d, Grenzwerte am Arbeitsplatz
Einsatz von Hochspannungskabeln	Bei Hochspannungskabel > 50 kV im Aussenbereich wird heute wegen der rauen Anforderung meistens HDPE (High Density Polyethylen) als Aussenmantel verwendet, welche hohe mechanische Eigenschaften hat und kein Wasser aufnimmt. Für Hochspannungskabel > 50 kV mit Anwendungen im Innenbereich werden Mäntel mit FRNC-Eigenschaften gemäss IEC 60332-3 eingesetzt („Flame Retardant Non Chlorid“ oder „Flame Retardant Non Corrosive“).

Allgemeine bauliche Randbedingungen

Technische Bestimmungen seitens Trägerinfrastruktur	Quelle: [Allg-10] ASTRA-Merkblatt 23 001-12130 Kabel (V1.20), 1.01.2018 [Allg-11] ASTRA-Merkblatt 23 001-12220 EMV (V1.00), 14.05.2010 [Allg-12] ASTRA-Merkblatt 23 001-11710 Erdungsanlage und Blitzschutz (V2.10), 01.01.2018 [Allg-13] ASTRA-Merkblatt 23 001-11711 Erdungsanlage auf offener Strecke (V2.00), 07.12.2012 [Allg-14] ASTRA-Merkblatt 23 001-11712 Erdungsanlage in Tunneln (V2.00), 07.12.2012 [Allg-15] AB-EBV, zu Art. 16 – 33 EBV und Art. 42 – 46 EBV, insbesondere Art 44b zu Art. 44 EBV
---	---

Bauliche und technische Anforderungen

Brandverhalten der Kabel	- Für Kabelanlagen, die auf allen Nationalstrassen eingesetzt werden (d.h. bis 50 kV) gelten folgende Anforderungen [A-10]: - Offene Strecke: flammhemmend und halogenfrei (Fca) - In Tunnel > 100 m, WELK, SiSto und Kabelblöcken werden Kabel der Klasse Cca-s1,d1,a1 - Dient ein WELK gleichzeitig als Fluchtstollen oder ein Fluchtstollen als WELK müssen Kabel der Klasse B2ca-s1,d1,a1 eingesetzt werden. - Bei Kabelanlagen im Bereich der Eisenbahninfrastruktur sind die Ausführungsbestimmungen zur Eisenbahnverordnung AB-EBV zu Art. 44, Art 44b, Ziffer 4 für das Brandverhalten der Kabel anzuwenden. Kabel in Tunneln sowie an besonderen Orten müssen folgende Merkmale aufweisen [Allg-15]: - schwere Entflammbarkeit - verminderte Brandfortleitung - geringe Rauchdichte - geringe Toxizität
--------------------------	---

Gültig für alle Anordnungen und Trägerinfrastrukturen

	Die Kabel erfüllen diese Voraussetzungen, wenn sie eine der in Art. 44b Ziffer 4.1 dargelegten Anforderungen einhalten [siehe Allg-15]. Die geforderte Klasse der verminderten Brandfortleitung kann auch durch eine geeignete Verlegung oder durch einen geeigneten Kabelschutz erreicht werden. Das Flame Retardant Non Corrosive (FRNC)-Mantelmaterial bei Hochspannungskabel erfüllt im Minimum die Brandschutzklasse E. Da der Einsatz von Höchstspannungskabel 380/220 kV bisher in Bahnbetrieb und bei ASTRA-Anlagen nicht vorgesehen waren, sind im konkreten Projekt die Detailanforderungen an das Brandverhalten mit dem Betreiber der Trägerinfrastruktur zu klären.
Verlegung von Kabelleitungen	Für die Verlegung der Kabelleitung sind die Vorschriften der Leitungsverordnung vollumfänglich einzuhalten. Im Wesentlichen sind dies die Verlegevorschriften, die Abstandsvorschriften bei Parallelführung von Kabelleitungen unter sich oder anderen Anlagen, der Störschutz, das Vermeiden von Beeinflussungen durch Leitungen sowie der Brandschutz.
Erdung und Potentialausgleich	- Die Erdung ist so zu planen, dass die Anforderungen an den Personen- und Sachschutz sowie die einwandfreie Funktion einer elektrischen Anlage im Normal- und Fehlerfall sichergestellt werden. Zur Abstimmung aller Bedürfnisse und Anforderungen der einzelnen Bündelungspartner ist ein gesamtheitliches Erdungskonzept notwendig. - Mit der Bauwerks-, der Anlagen- und der Bahnerdung bei der Bahn treffen bei der Bündelung verschiedene Systeme zusammen. Insbesondere bei der Bündelung mit der Bahn ist eine parallel verlaufende Kabelanlage auch der elektromagnetischen Kopplung durch die Traktionsrückleitung ausgesetzt, was ein optimales Bahnrückstromkonzept erfordert. Die Erdung und der Potenzialausgleich der Erdungssysteme müssen jeweils im Einzelfall geprüft werden. - Bahn: Die Erstellung ein gesamtheitlichen Erdungskonzepts bedingt eine sorgfältige Koordination zwischen allen Betreibern von elektrischen Anlagen. - Strasse: Für die Sicherstellung der Elektromagnetischen Verträglichkeit der umfangreichen Elektromechnik im Umfeld von Hochleistungsstrassen inkl. Erdung und dem Potenzialausgleich ist ein integrales Schutzkonzept zu erstellen.
Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)	- Elektrische Leitungen müssen, soweit dies ohne ausserordentlichen Aufwand möglich ist, so erstellt, geändert und instandgehalten werden, dass sie in allen Betriebszuständen den bestimmungsgemässen Betrieb anderer Stark- oder Schwachstromanlagen und anderer elektrotechnischer Einrichtungen nicht in unzumutbarer Weise stören. - Gemäss dem Beeinflussungsmodell sind Massnahmen zur Verringerung der elektromagnetischen Beeinflussung auf folgende Art und Weise möglich: - Unterdrückung der Entstehung von Störgrößen durch Vorkehrungen direkt an der Störquelle - Unterdrückung / Abschwächung der Störgrößen-Ausbreitung durch Maßnahmen am Übertragungsweg - Erhöhung der Stör- und Zerstörfestigkeit der Senke (soweit beeinflussbar) - Entkopplung zwischen Quell- und Senkensystem durch Partitionierung in unterschiedliche elektromagnetische Zonen - Durch Organisatorische Massnahmen (Vermeiden von Schaltoperationen), wenn bekannt ist, dass Schaltheftungen bewusst ausgelöst werden. - Bei der Bündelung von Infrastrukturen tritt die Höchstspannungsleitung als neue EMV-Störquelle hinzu. Es sind folgende Koppelmechanismen von einer EMV-Störquelle (Kabelanlage der Übertragungsleitung) auf die Störsenken zu untersuchen und es ist nachzuweisen, dass die folgenden EMV-Mechanismen in einer gebündelten Infrastrukturanlage beherrscht werden (zu unterscheiden ist jeweils zwischen dem Normalbetrieb und dem Fehlerfall, insbesondere dem Erdschluss): - Galvanische Kopplung - Kapazitive Kopplung - Induktive Kopplung
Nichtionisierende Strahlung Verkehrsteilnehmer und Arbeitspersonal	- Der Aufenthalt auf der Strasse als Verkehrsteilnehmer ist nach der Vollzugshilfe zur NISV bei Hochspannungsleitungen unter dem Begriff «Ort für den kurzfristigen Aufenthalt» (OKA) geregelt [Allg-8]. Für 50 Hertz-Übertragungsleitungen ist der Immissionsgrenzwert von 100 µT einzuhalten [Allg-7]. Fluchtwege für Verkehrsteilnehmer gelten laut Auslegung des BAFU nicht als OKA. - Die Mitarbeiter der nationalen Netzgesellschaft (Swissgrid) – sowie deren Beauftragte - gelten als Betriebspersonal und unterstehen nicht der NISV (Art. 2 Abs. 2 Bst. a NISV). Bei Arbeiten in der Nähe der Übertragungsleitung von Kabelanlagen ist für diese Berufsgruppe der Grenzwert von 500 µT der Suva [Allg-9] einzuhalten. - Für anderweitiges Arbeitspersonal, wie jene des Betreibers der Trägerinfrastruktur, ist der strengere Immissionsgrenzwert der NISV von 100 µT einzuhalten [Allg-7].

Gültig für alle Anordnungen und Trägerinfrastrukturen

Anforderungen an den Betrieb

Betriebliche Regelungen	- Zwischen dem Betreiber der Trägerinfrastruktur und der Swissgrid als Mitbenützer ist eine partnerschaftliche Betriebsvereinbarung abzuschliessen, in welcher der Betrieb, die Wartung und der Unterhalt auf derselben Augenhöhe geregelt wird. - Swissgrid als Betriebsinhaber muss in der Lage sein, ihre Starkstromanlagen dauernd instandzuhalten und periodisch reinigen und kontrollieren oder diese Arbeiten durch Dritte ausführen zu lassen. Dies gilt umgekehrt auch für den Betreiber der Trägerinfrastruktur. Dazu sind zusätzliche Schutzmassnahmen treffen, die sich aus der Bündelung ergeben.
-------------------------	---

Anforderungen an Wartung und Unterhalt

Planung und Koordination zwischen Betreiber Trägerinfrastruktur und Swissgrid	- Die Planung der Wartungs- und Unterhaltsarbeiten innerhalb des Bündelungsabschnitts müssen gemeinsam und mit Ausrichtung auf die einzelnen Substanzerhaltungs- und Instandhaltungsprogramme erfolgen, wobei den unterschiedlichen Unterhaltszyklen Rechnung zu tragen ist. Gegenseitige Anpassungen der Unterhaltszyklen sind vorzunehmen, um ein Eintakten der Unterhaltsarbeiten zu erreichen. - Es sind die Vorlaufzeiten zu beachten, die einzuhalten sind, wie im Hinblick auf die Jahresabschaltplanung der Swissgrid oder die Anmeldung von Streckensperrungen, wenn der Zugang ausschliesslich mit der Bahn möglich ist.
Arbeiten in der Nähe der Hochspannungskabeln	Für das Arbeiten in der Nähe der Höchstspannungskabel ein projektspezifisches Arbeitssicherheitskonzept zu erstellen. Darin ist u.a. zu regeln, unter welchen Bedingungen der Betreiber der Trägerinfrastruktur an den eigenen ausgeschalteten Energie- / Prozesskabel arbeiten darf, wenn bei parallel dazu die Höchstspannungsleitung eingeschaltet ist.
Regelungen zum Ablauf	- Die Zuständigkeiten und Schnittstellen bei der Zustandsbeurteilung und bei der Durchführung der Wartungs- und Unterhaltsarbeiten der jeweiligen Infrastrukturen. - Die Serviceleistungen, die vom Betreiber der Trägerinfrastruktur u.U. übernommen werden, inkl. der entsprechenden Abgeltungen, z.B.: - die schienengebundene Erschliessung, das Vorhalten und Bereitstellen von geeigneten Erhaltungs- und Traktionsfahrzeugen bei der Anordnung B, Bahn - Unterhaltsarbeiten an der Sekundärtechnik der Übertragungsleitung, wie an Lüftungsanlagen, Beleuchtungen usw.
Aufbau übergeordnete Sicherheitsorganisation	Es sind Pläne zur Ereignisbewältigung vorzubereiten, was bei einem Pannenfall/Schadenfall / grossem Ereignis in der einen oder anderen Infrastruktur zu tun ist.

Mögliche Massnahmen

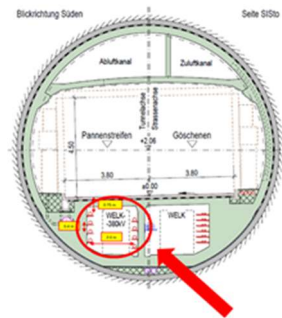
strukturell	Elektromagnetische Verträglichkeit: - Trennung Störaussendung / Störfestigkeit durch physikalische Räume (Abstände) und/oder andere elektro-magnetische Abhilfeverfahren (Abschirmungen). - Festlegen von zulässigen EMV-Grenzwerten in Form eines EMV-Zonenplans, welcher z.B. wie folgt gegliedert werden kann: - Zone 0: äusserer Blitzschutz, Erdungs-Elektroden-System - Zone 1: Schirmung der Bewehrung - Zone 2: Schirmung des Raums - Zone 3: Schirmung des Gerätes der Einrichtung - Zone 4: empfindliche Einrichtungen - Galvanische Kopplung: Der Erdausgleichsleiter wird typischerweise in der Mitte der Kabelanlage gekreuzt (geometrische Anordnung je nach Verlegeart der Kabelanlage). Querschnitt im Minimum des äquivalenten Kabelschirmquerschnittes)
---	---

Gültig für alle Anordnungen und Trägerinfrastrukturen

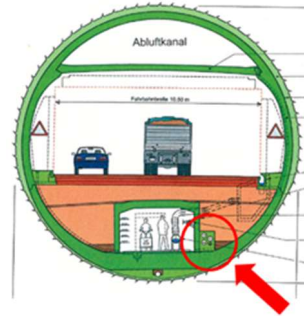
Prozessual	Elektromagnetische Verträglichkeit: - Kapazitive Kopplung: Simulation der Fehlerfälle In einer Überspannungsstudie zum Nachweis, dass gültige Schritt- und Berührungsspannungen wie die Störpegel der möglichen Empfänger nach der CE-Normung eingehalten werden. - Ganzheitliche EMV-Studie, u.a. mit Blitz- und Überspannungsstudie unter Berücksichtigung der max. Kurzschlussströme: Simulation der Fehlerfälle zum Nachweis, dass die gültigen Schritt- und Berührungsspannungen und die gültigen Störpegel nicht überschritten werden. Erdung und Potentialausgleich Strasse: - Notwendige Massnahmen gegen unzulässige gegenseitige Beeinflussung der Erdungssysteme im Sinne von Art. 8 LeV sind zwischen Infrastrukturbetreibern der Übertragungsleitung und dem ASTRA abzusprechen. - Ergänzend zu den Erdungsvorschriften für elektrische Anlagen gemäss Starkstromverordnung und Leitungsverordnung gelten für die Bauten und Anlagen der Nationalstrassen jene gemäss Fachhandbuch ASTRA Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen. Erdung und Potentialausgleich Bahn: - Notwendige Massnahmen gegen unzulässige gegenseitige Beeinflussung der Erdungssysteme im Sinne von Art. 8 LeV und Art. AB 44.d der AB-EBV sind zwischen den Infrastrukturbetreibern der Übertragungsleitung und der betroffenen Bahn abzusprechen. Für Bahnanlagen gelten die Erdungsvorschriften gemäss AB-EBV.
Organisatorisch	Empfohlene betriebliche Regelungen zwischen Betreiber Trägerinfrastruktur / Swissgrid: - Verantwortlichkeiten und Pflichten beider Parteien und die Abgeltungen - Informationsfluss und -austausch - Zugang zum Anlagenteil des Netzbetreibers der Hochspannungsleitung über den Verkehrsraum oder mit besonderen Verkehrsmitteln (Bahn) - Zutritt zum Anlagenteil des Netzbetreibers der Hochspannungsleitung, wenn dieser nicht offen begehbar ist (eigener WELK) - Regelungen zum Ablauf von Wartung und Unterhalt - Regelungen zur Überwachung im Normalbetrieb - Regelungen zur Alarmweiterleitung - Massnahmenpläne zur Ereignisbewältigung - Massnahmenpläne zur Wiederinbetriebnahme
Projektspezifische Nachweise und Abklärungen	
Verlegung von Kabelleitungen	Im Bündelungsperimeter sind folgende Nachweise zu erbringen: - Vorschriften werden eingehalten gemäss Leitungsverordnung (LeV), namentlich zu Art. 7, Art. 8 und Art. 9 in allen Betriebszuständen und Fehlerfällen der Kabelleitung. - Massnahmen werden gemäss Art. 95 LeV getroffen, wodurch eine gegenseitige Gefährdung von Personen oder Sachen bei Parallelführung oder Kreuzung der Übertragungsleitung mit anderen Kabelleitungen verhindert wird
Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)	- Sämtliche EMV-Phänomene, welche durch die möglichen Betriebszustände und Fehlerfälle der Kabelanlage der Übertragungsleitung verursacht werden und auf die Infrastruktur der Nationalstrasse oder der Bahn unzulässig einwirken können sowie allfällige EMV-Phänomene, welche die Übertragungsleitung von aussen in die Infrastrukturen verschleppen könnte, sind zu ermitteln. - Zulässige EMV-Grenzwerte im EMV-Einflussbereich der Übertragungsleitung sind festzulegen. - Massnahmen zur Einhaltung der EMV-Grenzwerte im Einflussbereich der Übertragungsleitung sind festzulegen. Es sind alle möglichen Betriebszustände und Fehlerfälle der Übertragungsleitung zu überprüfen.
Erdung und Potentialausgleich	Mit einem projektspezifischen, koordinierten Erdungskonzept ist aufzuzeigen und nachzuweisen: - Die Verfügbarkeit und Sicherheit aller elektrischen Anlagen ist zu jedem Zeitpunkt und in jedem Betriebs- und Störfall gewährleistet und auch die elektromagnetische Verträglichkeit entspricht den einschlägigen gesetzlichen Vorschriften. - die Erdungsvorschriften für elektrische Anlagen werden gemäss Starkstromverordnung eingehalten.

Tunnel - Anordnung A: Varianten für die Trägerinfrastruktur Strasse

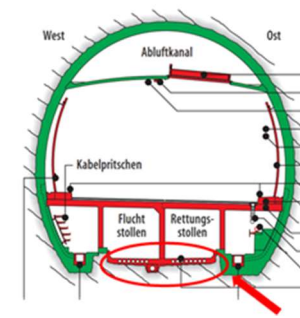
Varianten



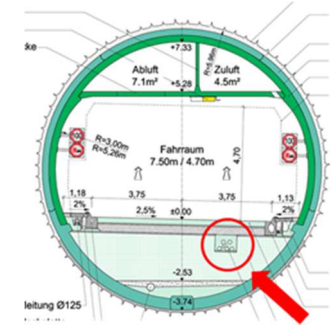
Variante 1



Variante 2



Variante 3



Variante 4

Gesetzte Rahmenbedingungen durch die Trägerinfrastruktur

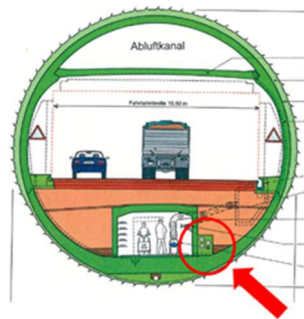
Integration der Kabelanlage im Bauwerk	Kabel offen verlegt in begehbarem Kanal (WELK)	Kabel im Kabelrohrblock, untergebracht unter der Fahrbahn, parallel zu einem begehbaren Kanal (WELK)	Kabel in Kabelrohrblock, untergebracht in der Sohle eines begehbaren Kanals (WELK)	Kabel im Kabelrohrblock, untergebracht unter der Fahrbahn
Ort der Muffenverbindungen	Im WELK offen an der Wand	Im WELK offen an der Wand	Im WELK mit Fluchtweg offen an der Wand	In Muffenschächten unter Ausstellbuchten
Merkmal der Anordnung	Verkehr und Stromtrasse sind räumlich getrennt			Verkehr und Stromtrasse sind räumlich nicht getrennt
Gegenseitige Beeinflussung durch Ereignisse	Beschädigung der Stromleitung bei Brand im Tunnel unwahrscheinlich (wenig exponiert auf thermische Einwirkung). Vorsorgliche Abschaltung aber wahrscheinlich. Bei Kurzschluss in Stromleitung mit Explosion (an Muffen) sind im schlimmsten Fall Schäden an Trägerinfrastruktur und elektrotechnischen Einrichtungen des WELK möglich. Fahrraum ist kaum betroffen. Ungeplante Instandsetzung beansprucht aber Platz im Tunnel. Mit Einschränkungen ist zurechnen.	Beschädigung der Stromleitung bei Brand im Tunnel unwahrscheinlich (wenig exponiert auf thermische Einwirkung). Abschaltung ist aber infolge Aufenthaltes von Flüchtenden zu veranlassen (NIS). Bei Kurzschluss in Stromleitung mit Explosion (an Muffen) sind im schlimmsten Fall Schäden an Trägerinfrastruktur und elektrotechnischen Einrichtungen des WELK möglich. Tunnel ist zu sperren, sobald Fluchtweg nicht mehr funktionstüchtig ist.	Beschädigung / Abschaltung der Stromleitung bei Brand im Tunnel über Temperaturmonitoring möglich (thermische Einwirkung) Bei Kurzschluss in Stromleitung mit Explosion (an Muffen) sind im schlimmsten Fall Schäden an Trägerinfrastruktur und elektrotechnischen Einrichtungen des Tunnels möglich.	
Gegenseitige Beeinflussung beim Unterhalt	Unterhaltsarbeiten an parallelen Leitungen: Möglicherweise Abschaltung der Übertragungsleitung aus Sicherheitsgründen nötig (ein anlagenspezifisches Entscheidungsschema ist zu erstellen und anzuwenden)			

Tunnel - Anordnung A: Varianten für die Trägerinfrastruktur Strasse

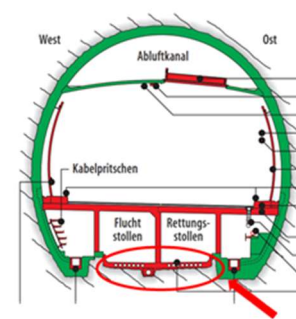
Varianten



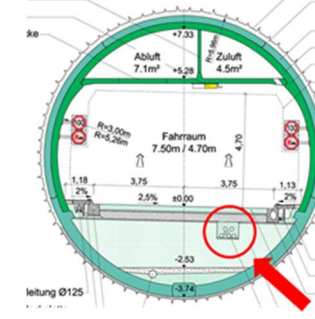
Variante 1



Variante 2



Variante 3



Variante 4

Bauliche Randbedingungen

Technische Bestimmungen seitens Trägerinfrastruktur

Quelle:

- [A-1] Norm SIA 197: Projektierung Tunnel, Grundlagen
- [A-2] Norm SIA 197/2: Projektierung Tunnel – Strassentunnel
- [A-3] ASTRA-Fachhandbuch 24 000 Tunnel Geotechnik, namentlich
 - o Technisches Merkblatt 24 001-10404 Werkleitungskanal (V2.03) vom 1.01.2015 [A-3a]
 - o Technisches Merkblatt 24 001-10706 Begehbare Querverbindungen (V2.03) vom 01.01.2015 [A-3b]
 - o Technisches Merkblatt 24 001-10707 Sicherheitsstollen, Fluchtstollen (V2.03) vom 01.01.2015 [A-3c]
- [A-4] ASTRA-Fachhandbuch_23000 Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen, namentlich
 - o Technisches Merkblatt 23 001-11350 SISTO-Lüftung (V1.10) vom 01.01.2018 [A4a]
- [A-5] ASTRA-Richtlinie 13002 „Lüftung der Sicherheitsstollen von Strassentunneln

Technische Bestimmungen seitens Stromleitung

Quelle:

- [A-6] Verordnung über elektrische Starkstromanlagen vom 30. März 1994 (Starkstromverordnung; SR 734.2)
- [A-7] Verordnung über elektrische Leitungen vom 30. März 1994 (Leitungsverordnung, LeV; SR 734.31)
- [A-8] Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung vom 23. Dezember 1999 (NISV; SR 814.710)
- [A-9] Hochspannungsleitungen: Vollzugshilfe zur NISV, BAFU 2007
- [A-10] SUVA-Publikation 1903.d, Grenzwerte am Arbeitsplatz

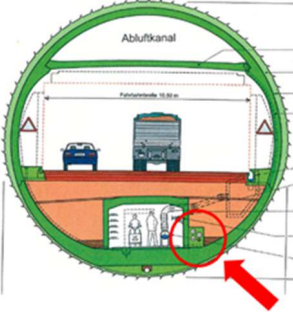
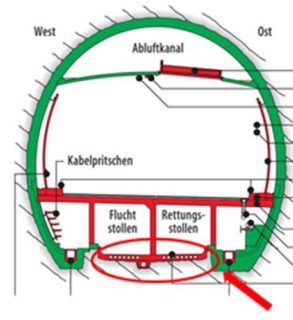
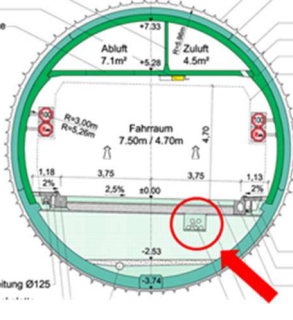
Tunnel-Einrichtungen für die Selbstrettung von Verkehrsteilnehmern

Selbstrettung bei 2-röhrigen Tunnels via Querverbindungen [A-2] - Übertragungsleitung liegt nicht im Fluchtwegbereich.

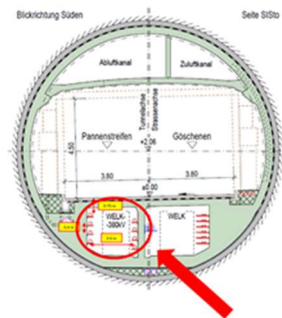
Selbstrettung bei 1-röhrigen Tunnels [A2]
 - in SiSto
 - oder in WELK
 Übertragungsleitung befindet sich im Fluchtwegbereich.

Selbstrettung bei 2-röhrigen Tunnels via Querverbindungen - Übertragungsleitung liegt nicht im Fluchtwegbereich.

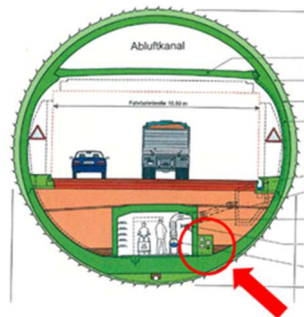
Tunnel - Anordnung A: Varianten für die Trägerinfrastruktur Strasse

Varianten				
	 Variante 1	 Variante 2	 Variante 3	 Variante 4
Bauliche Dimensionen	Lichte Höhe WELK durch Fahrbahnlage und Tunnelprofil bestimmt. Bei WELK nach ASTRA-Standard [A3a]: Normbauhöhe = 2.1 m Minimalmasse für Gänge und Zugänge in Innenraumanlagen [A-6]: - Bedienungsgänge bei Hochspannungsanlagen: 2.1 m			-
Zugänge zum WELK	Zugänge zum WELK über die Portale; Innerhalb des Tunnels über Bauwerke mit Treppenabgängen [A-2]: - bei Ausstellbuchten (alle 600 - 900m bei 1-röhrigen Tunnels) - bei Querverbindungen (alle 900 m bei 2-röhrigen Tunnels)		WELK als Fluchtweg: Bauwerke für Fluchtabgänge alle 300 – 500 m	-
Kabellogistik	Kabeleinzug in WELK von Ausstellbuchten im Tunnel aus	Kabeleinzug in Kabelrohrblock von den Portalen oder über Kabelzugschächte in Ausstellbuchten oder aus WELK.	Kabeleinzug in Kabelrohrblock von den Portalen oder aus WELK.	Kabeleinzug in Kabelrohrblock von Ausstellbuchten im Tunnel aus
Bauliche Anforderungen				
Lage und Anordnung der Kabel	Die Kabel im WELK für die Übertragungsleitung sind so zu verlegen, dass - der in der NISV festgelegte Immissionsgrenzwert für die magnetische Flussdichte im Fahrraum eingehalten wird. - der Grenzwert am Arbeitsplatz der Suva für die magnetische Flussdichte im Gang des WELK für die Übertragungsleitung eingehalten wird.	Die Kabel im WELK sind so zu verlegen, dass der in der NISV festgelegte Immissionsgrenzwert für die magnetische Flussdichte im Fahrraum und im Gang des WELK eingehalten wird (bei Unterhalt durch Arbeitspersonal der Trägerinfrastruktur).	Der Kabelrohrblock im WELK ist so zu verlegen, dass der in der NISV festgelegte Immissionsgrenzwert für die magnetische Flussdichte im Gang eingehalten wird (bei Unterhalt durch Arbeitspersonal der Trägerinfrastruktur). Bei offen an der Wand angeordneten Muffenverbindungen ist der Abstand zum Gang analog einzuhalten.	Der Kabelrohrblock ist genügend tief zu verlegen, damit - der in der NISV festgelegte Immissionsgrenzwert für die magnetische Flussdichte im Fahrraum eingehalten wird. - eine künftige Fahrbahnerneuerung nicht behindert wird.
Zugang und Fluchtwegabgänge WELK	Die gültigen Anforderungen ergeben sich aus den baulichen Randbedingungen gemäss dem heutigen Stand der Technik.			-
Brandabschnitte	Die Notwendigkeit von Brandabschottungen im WELK ist projektspezifisch auf der Basis einer Gefahrenermittlung zu beurteilen.			-

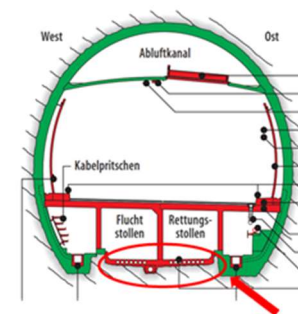
Varianten



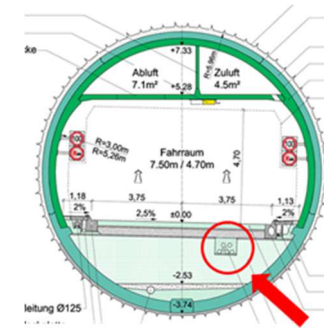
Variante 1



Variante 2



Variante 3



Variante 4

- Die allfällige Ausbildung von Brandschotts mit Brandschutztüren erfordert begleitende technische Massnahmen, wie
- Rauch-/Hitze-Detektion
 - Abschnittsweise Steuerung der Brandschutztüren

Muffenverbindungen sind möglichst dort anzuordnen, wo im Falle eines Ereignisses an der Muffe (Brand / Explosion) der geringste Schaden an der Trägerinfrastruktur und deren elektrischen Einrichtungen entstehen kann.

Wie links, darüber hinaus:
Muffenverbindungen sind zum begehbaren Bereich abzusichern. In einem WELK, der befahrbar ist, sind sie gegen Anprall zu schützen.

Wie links, darüber hinaus:
Muffenschächte müssen so gesichert werden, dass sich die Wirkung im Ereignisfall eindämmen lässt.

In befahrbaren Kanälen sind Rückhaltesystem vorzusehen, die zugleich den Sicherheitsabstand gewährleisten

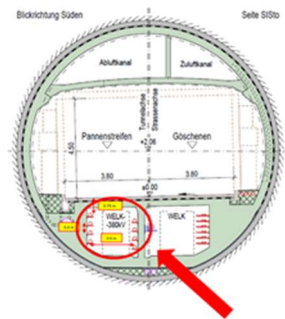
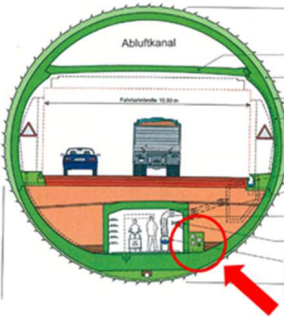
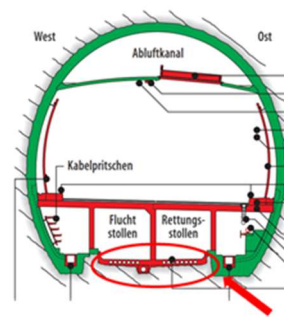
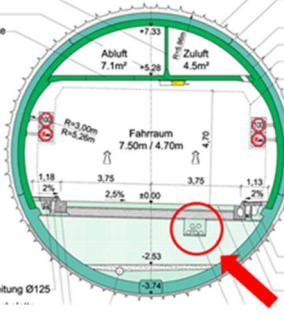
—

Im WELK definiert sich das Lichtraumprofil inkl. Integration der Kabelanlage wie folgt:

--	--

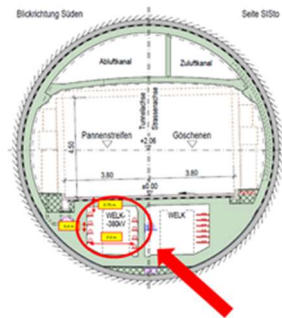
	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Lichte Höhe			
Lichtraumprofil des Gangs / Fluchtwegs	H = min. 2.0 m [A-3a], [A-2] ausserhalb von Leitungsqueren		H = min. 2.2 m [A-3b], [A-3c]
Lichte Breite			
(1) Lichtraumprofil des Gangs / Fluchtwegs	B = min. 1.0 m [A-2] bis 1.5 m [A-3a]		B = min. 1.5 m [A-3b/A3-c]
(2) Kabeltechnischer Nutz- raum (Kabel, Muffen- verbindungen)	Projektspezifisch festzulegen		
(3) Zusätzlicher Sicherheitsabstand	zur Einhaltung Grenzwertes am Arbeitsplatz der Suva für die magnetische Fluss- dichte	zur Einhaltung des in der NISV festgelegten Immissions- grenzwert für die magnetische Flussdichte	

Tunnel - Anordnung A: Varianten für die Trägerinfrastruktur Strasse

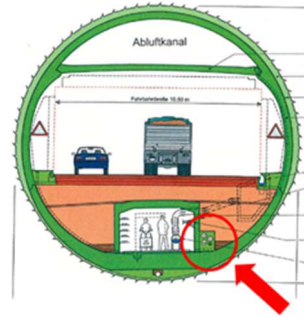
Varianten										
										
Variante 1		Variante 2		Variante 3		Variante 4				
		Der kabeltechnische Nutzraum (2) sollte nach Möglichkeit so dimensioniert sein, dass sich notfalls zusätzliche Muffenverbindungen zur Behebung von Kabelschäden einbauen lassen und dass sich Instandsetzungsarbeiten gefahrlos ausführen lassen (Einhaltung Sicherheitsabstand zu einem betriebenen Kabel, keine Gefahr von Beschädigungen). Bei seitlichen Zugängen sind die Kabel umzulegen. Bei zu kleinen vertikalen Sicherheitsabständen sind strukturelle Massnahmen zu treffen.								
Kabellogistik	- Für die Anlieferung der Kabeltrommeln ist eine dauerhafte, ausreichende Zugänglichkeit zu den Kabelzugsorten sicherzustellen. Sie ist auf die Befahrbarkeit mit Spezialfahrzeugen und deren Gewichte auszurichten. - Für die Kabelverlegung durch den WELK ist eine ausgeklügelte Logistik (Verfahren, Maschinen und Geräte) vorzusehen, welche auf die zulässigen Kabelzugkräfte abgestimmt ist. - Bei einem Einzug der Kabel vom Verkehrsraum aus, sind in den Ausstellbuchten Kabelzugschächte und Kabelzugrohre bis zum WELK zu erstellen. Unter Beachtung der Fahrzeugausmasse, der sich quer zur Fahrtrichtung abwickelnden Kabeltrommel für Kabellängen > 560 Meter und der einzuhaltenden Biegeradien von min. 3.5 Meter beim Kabelverlegen ist hierfür ausreichend Platz einzuplanen.						Wie links, darüber hinaus: Kabellänge, Abstand der Ausstellbuchten, in welchen Kabelzugschächte angeordnet werden und die Abmessungen der Ausstellbuchten sowie die Anordnung und Orientierung der Kabelzugschächte sind in der Planung aufeinander abzustimmen.			
Technische Anforderungen:										
Lüftung	Der WELK benötigt für folgende Fälle eine vom Verkehrsraum unabhängige Lüftung: a) Minimaler Überdruck gegenüber eindringenden Gasen/Stäube zur Vermeidung von Verschmutzungen (bei einem WELK ohne Dichtigkeitsanforderungen) b) Permanente Belüftung oder Spülung vor einer Begehung, um ein gesundheitsverträgliches Arbeitsklima (Temperatur) zu erzeugen. c) Wärmeabfuhr zur Gewährleistung der Stromtragfähigkeit bei maximaler Auslastung d) Wenn zugleich SiSto: Gewährleistung Rauch- und Schadstofffreiheit im Ereignisfall (Erhöhung des Überdrucks) Die Belüftungsanlage muss auf die maximale Anforderung dimensioniert werden.						Der WELK wird permanent belüftet: Die Auslegung der Lüftung erfolgt gemäss den Vorgaben in [A-5]		-	

Tunnel - Anordnung A: Varianten für die Trägerinfrastruktur Strasse

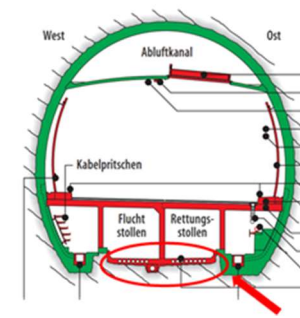
Varianten



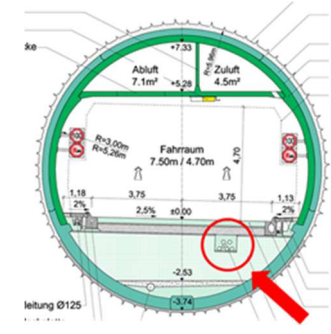
Variante 1



Variante 2



Variante 3



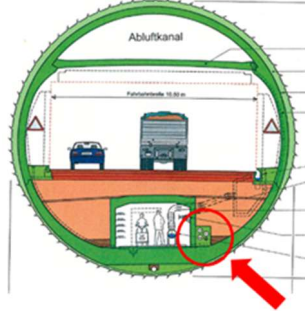
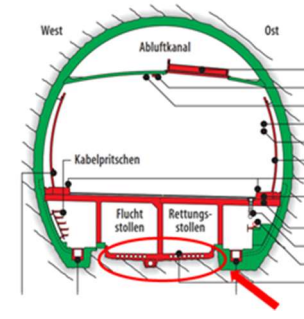
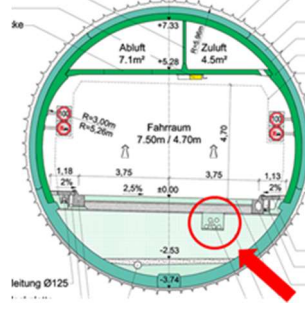
Variante 4

Die baulichen Anforderungen (z.B. Platzbedarf für Steuerschränke) und die Lüftungstechnischen Nahtstellen zur Lüftungsanlage des Verkehrsraumes sind frühzeitig im Zuge der Projektierung der Trägerinfrastruktur zu klären und zu definieren.

Mögliche Massnahmen

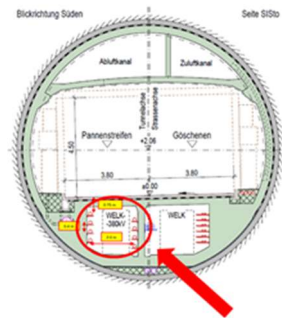
strukturell	Zur Einhaltung des in der NISV festgelegten Immissionsgrenzwertes für die magnetische Flussdichte oder des Grenzwertes am Arbeitsplatz der Suva:		
	- Magnetfeldreduktion oder Feldkompensation (Aktive Kompensation) - Passive Magnetfeld-Abschirmung (spezielle Aluminiumplatten) - Bodenmarkierungen oder Abschränkungen zur Einhaltung des erforderlichen Sicherheitsabstandes zu den Kabeln und Muffen		
	Verlegung Kabelanlage (Übertragungsleitung) in einem zweiten, parallel verlaufenden WELK, mit eigenen Brandabschnitt.	-	-
	Prüfung und Anordnung von zusätzlichen Zugängen und Fluchtwegabgängen nach Kosten-Wirksamkeits-Überlegungen	-	-
	Unterteilung in Brandabschnitte (soweit zielkonform möglich mit anderen Anforderungen).	-	-
	Leitungsumlegungen lassen sich vermeiden, in dem die seitlichen Zugänge nur auf einer Kanalseite angeordnet werden und die Kabeltrasse auf der gegenüberliegenden.	-	-
Einkapselung der Muffenverbindungen: - Muffenkammern / Muffennischen baulich abtrennen, mit einer Wand aus Beton oder Mauerwerk gegen den WELK verschliessen - Anprallschutz / Leitplanken vor Muffenverbindungen (wenn befahrbar) - Schächte mit gesicherten Schachtdeckel und Sandbefüllung sichern.			Schächte mit gesicherten Schachtdeckel und Sandbefüllung sichern.

Tunnel - Anordnung A: Varianten für die Trägerinfrastruktur Strasse

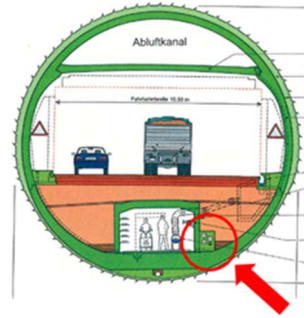
Varianten				
				
	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
prozessual	- Gefahrenermittlung und Massnahmenplanung bezüglich Unfallgefahren und Gesundheitsrisiken nach Wirksamkeit und Kosten - Erstellen Betriebs- und Rettungskonzept für WELK / SiSto - Erstellen Brandschutzkonzept			-
materiell	Mögliche Ausrüstung WELK mit Sicherheitseinrichtungen - Sprechfunk - Überwachungskameras - Alarmauslösung - Elektrounfall-Rettungsmaterial - Handfeuerlöscher - Brandlöschstationen			-
	WELK-Begehung mit persönlicher Ausrüstung - Messgeräte (O2, CO, Methan usw.) - Selbstretter (Atemschutzgerät) - lichtbogenfeste Schutzanzüge		Kanal ist dauerhaft belüftet	-
organisatorisch	WELK-Begehungen: - Begehungen nicht durch Einzelpersonen - Begehungen durch Betriebspersonal - Zutrittsanmeldung bei Kanalbegehung / Rückmeldung bei Austritt		Kanal ist dauerhaft einsatzbereit	-
	Volle oder teilweise Abschaltung des Leitungssystems zum Zeitpunkt der Begehung zur Reduzierung der NIS-Emissionen		-	-

Tunnel - Anordnung A: Varianten für die Trägerinfrastruktur Strasse

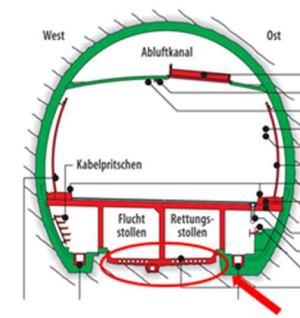
Varianten



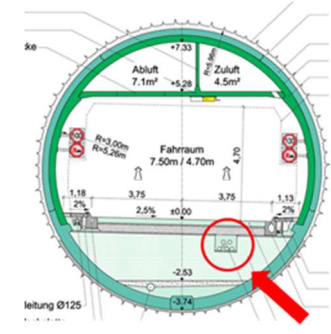
Variante 1



Variante 2



Variante 3



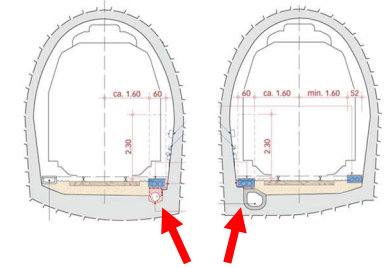
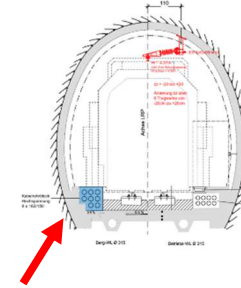
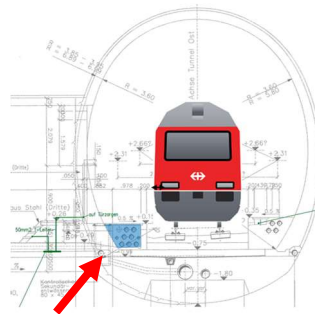
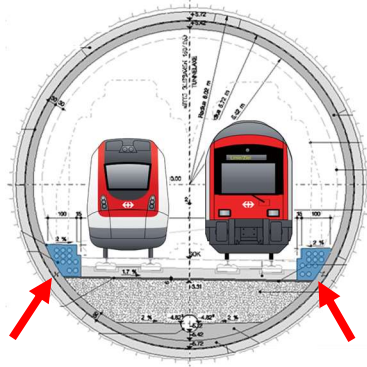
Variante 4

Projektspezifische Nachweise und Abklärungen

Lage und Anordnung der Kabel	Nachweis, dass der in der NISV festgelegte Immissionsgrenzwert für die magnetische Flussdichte von 100 μT für die Verkehrsteilnehmer eingehalten wird.
Lage und Anordnung der Kabel innerhalb WELK	- Nachweis, dass der Grenzwert der Suva für die magnetische Flussdichte für die magnetische Flussdichte von 500 μT an jenen Orten eingehalten wird, wo ausschliesslich das Betriebspersonal der nationalen Netzgesellschaft Zutritt hat. - Nachweis, dass der in der NISV festgelegte Immissionsgrenzwert für die magnetische Flussdichte von 100 μT an jenen Orten eingehalten wird, wo sich das Arbeitspersonal der Trägerinfrastruktur aufhalten kann. - Der Sicherheitsabstand ist durch Ermittlung der Magnetfelder für den thermischen Grenzstrom projektspezifisch zu bestimmen. - Die Leitungsführung bei seitlichen Fluchtwegabgängen ist im Rahmen des konkreten Projektes festzulegen.
Wärmeabfuhr	Nachweis, dass sich die Systemanforderungen der Kabelanlage (Stromtragfähigkeit) für die Anordnung erfüllen lassen.
Klima im WELK	Das Einhalten eines gesundheitsverträglichen Arbeitsklimas ist für den im Projekt vorgesehenen WELK nachzuweisen.
Anordnung und Schutz der Muffenverbindungen	Die baulichen Massnahmen zum Einhalten der Schutzziele zur Anlagen- und Personensicherheit sind unter Berücksichtigung von Kosten-Nutzen-Betrachtungen projektspezifisch festzulegen
Kabellogistik	Festlegung der Erschliessung und der nötigen Platzverhältnisse bezüglich der Kabellogistik unter Berücksichtigung von Kosten-Nutzen-Betrachtungen.

Tunnel - Anordnung B: Trägerinfrastruktur Bahn

Varianten

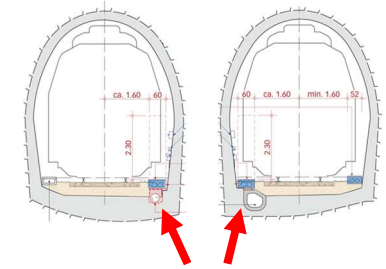
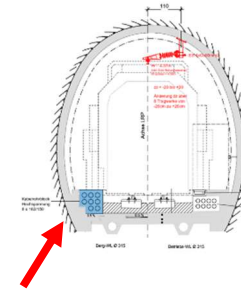
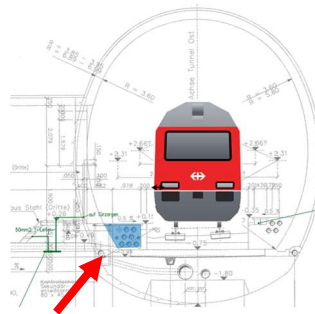
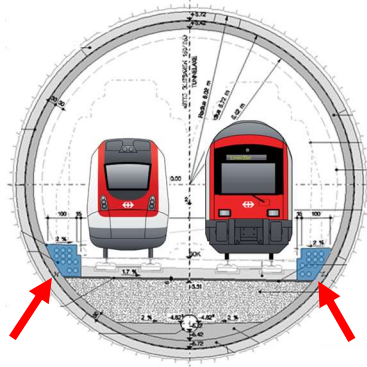


Gesetzte Rahmenbedingungen durch die Trägerinfrastruktur

Tunnelgrösse	Doppelspurtunnel	Einspurtunnel
Tunnelprofil (Ausbruchmethode)	Kreisprofil (Tunnelbohrmaschine) Hufeisenprofil (meist durch Bohr- und Sprengvortrieb) – mit oder ohne Sohlengewölbe, je nach geologischen Verhältnissen	
Fahrbahn der Bahninfrastruktur	Feste Fahrbahn aus Beton: meistens bei neuen, langen Tunneln Schotteroberbau (gilt auch für Doppelspurtunnel): meistens bei kurzen und älteren Tunneln, auch nach einer Tunnelanierung	
Integration der Kabelanlage im Bauwerk	Verlegung Kabel im Kabelrohrblock: Kabelrohrblöcke sind beidseits im Bankett untergebracht, monolithisch verbunden mit Tragschale und Fahrbahnplatte Verlegung Kabel im Kabelrohrblock: Kabelrohrblock liegt «schwimmend» im Schotterbett	
Kabelbelegung in den Banketten	Alle Spannungen im gleichen Bankett: Niederspannung oben Hochspannung unten	Bankette nach Spannungen getrennt: • Hochspannung auf einer Seite des Gleises • Niederspannung auf anderer Seite des Gleises
Ort der Muffenverbindungen	Muffenverbindungen müssen in Bahntunnelnischen untergebracht werden.	
Merkmal der Anordnung	Verkehr und Stromtrasse sind räumlich nicht getrennt.	
Gegenseitige Beeinflussung durch Ereignisse	Bei einem Bahnunfall (Anprall / Kollision) und Brand muss die Stromleitung während Bergungsarbeiten und Instandsetzung sicherheitshalber unterbrochen werden. Beschädigung der Stromleitung (mechanische und thermische Einwirkung) ist möglich. Bei Brand schaltet sich Stromleitung über das Temperaturmonitoring ab. Bei Kurzschluss in der Stromleitung sind im schlimmsten Fall lokale Schäden an der Trägerinfrastruktur (Bankett, benachbarte Kabel) möglich. Ein solider Kabelrohrblock wird aber nicht zerstört. Beim Versagen einer Muffe können Teile der Muffe durch die Luft geschleudert werden und die Muffennische beschädigen. Bei einwandfreier Kapselung bleiben die Wirkungen auf den Kabelblock / Muffennische beschränkt. Ev. kann eine Tür weggeschleudert werden.	

Tunnel - Anordnung B: Trägerinfrastruktur Bahn

Varianten



Gegenseitige Beeinflussung beim Unterhalt

Gleis- und Unterbauerneuerung:

- Abschaltung der Kabelanlage ist voraussichtlich nötig, muss fallweise geprüft werden.

Unterhaltsarbeiten an parallelen Leitungen:

- Abschaltung der Kabelanlage aus Sicherheitsgründen nötig (Anwendung projektspezifisches Entscheidungsschema)

Wie links:

Wenn Kabel im Schotterbett, dann voraussichtlich Abschaltung der Kabelanlage auch bei Gleisstopfungen nötig.

Bauliche Randbedingungen

Technische Bestimmungen seitens Trägerinfrastruktur

Quelle:

[B-1] Norm SIA 197: Projektierung Tunnel, Grundlagen

[B-2] Norm SIA 197/1: Projektierung Tunnel – Bahntunnel

[B-3] Ausführungsbestimmungen zur Eisenbahnverordnung (AB-EBV)

[B-4] SBB-Regelwerk I-20036: Selbstrettungsmassnahmen in Tunnel - Infrastrukturmassnahmen zur Erleichterung der Selbstrettung in Tunnel

Technische Bestimmungen seitens Stromleitung

Quelle:

[B-5] Verordnung über elektrische Starkstromanlagen vom 30. März 1994 (Starkstromverordnung; SR 734.2)

[B-6] Verordnung über elektrische Leitungen vom 30. März 1994 (Leitungsverordnung, LeV; SR 734.31)

[B-7] Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung vom 23. Dezember 1999 (NISV; SR 814.710)

[B-8] Hochspannungsleitungen: Vollzugshilfe zur NISV, BAFU 2007

Tunnel-Einrichtungen für die Selbstrettung von Verkehrsteilnehmern

Seitliche Gehwege auf beiden Seiten für die Flucht aus dem Tunnel bis zu einem Notausgang.

Seitlicher Gehweg auf einer Seite für die Flucht aus dem Tunnel bis zu einem Notausgang.
Bei neuartigen Tunneln Gehweg auf einem der Bankette.

Bauliche Dimensionen

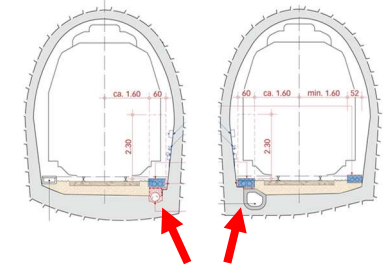
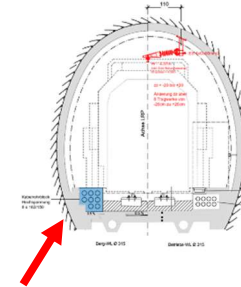
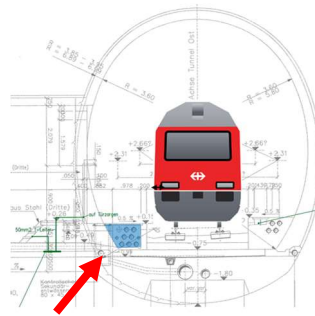
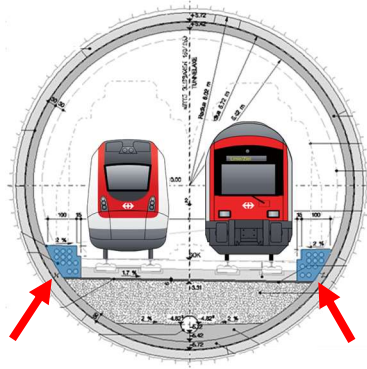
Einspurtunnel: Tunnel-Ø aussen = ca. 9 – 11 m: Gesamte Rohrblockfläche je Bankett: 1.2 m² bis 1.8 m²

Doppelspurtunnel: Tunnel-Ø aussen = ca. 12 – 14 m: Gesamte Rohrblockfläche je Bankett: 1.0 m² bis 1.2 m²
(Maximum bei Ausbaugeschwindigkeit von 250 km/h)

Bestandstunnel: Tunnelquerschnitt vorwiegend klein (Lichttraumprofil EBV4 / S3), wird auch bei Tunnelsanierungen meistens nicht viel grösser)
Rohrblockfläche ca. 0.2 m²

Tunnel - Anordnung B: Trägerinfrastruktur Bahn

Varianten



Kabellogistik

Einzugs- und Einbauorte (Muffenschächte) befinden sich im Tunnel:
Erstmontage im Rohbauzustand vom Planum aus: Zugang mit Pneufahrzeugen möglich, bevor Fahrbahnbeton und Schienen eingebaut werden.
Unterhaltsarbeiten: Zugang nur noch mit Gleisfahrzeugen möglich.

Bauliche Anforderungen

Lage und Anordnung der Kabel

- Die Hochspannungskabel sind im Kabelblock so anzuordnen, dass der Grenzwert für den kurzfristigen Aufenthalt (OKA) aus der NISV im Fahrraum eingehalten wird [B-7, B-8].
- Hochspannungskabel sind nach Möglichkeit von den Niederspannungskabeln sowie Steuer- und Schwachstromkabeln getrennt in verschiedenen Kabelblöcken zu verlegen [B-6].
- Sie müssen einen Abstand von 1.3 m zur äusseren Schiene aufweisen [B-6]. Ausnahmen sind möglich, wenn Bedingungen gemäss Art. 99 Abs. 5 in [B-6] erfüllt werden.

Wärmeabfuhr

- Die Wärmeabfuhr der Kabel bei maximaler Auslastung ist durch geeignetes Bettungsmaterial oder nötigenfalls durch Kühlleitungen sicherzustellen.

Anordnung und Schutz der Muffenverbindungen

- Die Muffenverbindungen sind in Muffenschächten in seitlichen Tunnelnischen anzuordnen.
- Sie sind möglichst dort anzuordnen, wo im Falle eines Ereignisses an der Muffe (Brand / Explosion) der geringste Schaden an der Trägerinfrastruktur und deren elektrischen Einrichtungen entstehen kann und keine Verkehrsteilnehmer betroffen werden.
- Die Muffenschächte und Tunnelnischen müssen so gesichert werden, dass sich die Wirkung im Ereignisfall eindämmen lässt.

Kabellogistik

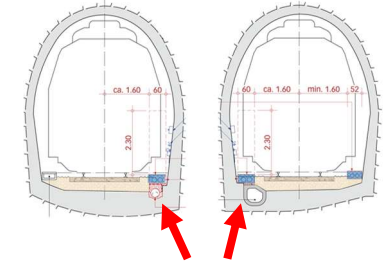
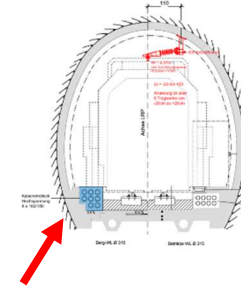
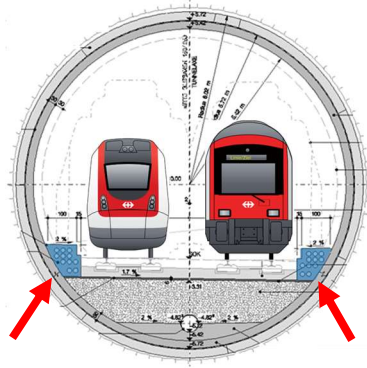
- Die Kabellängen, die Anordnung der Muffenverbindungen und die Verlegemöglichkeiten sind im Kontext der Zugänglichkeit bei Bahntunneln festzulegen (logistisch, zeitlich).

Schutz der Kabelleitungen vor Beschädigungen

- Kabelleitungen sind möglichst dort zu verlegen, wo sie gegen einen Anprall bei einer Entgleisung und seine Folgen weniger exponiert sind oder sie sind sonst mit besonderen Massnahmen zu schützen.

Tunnel - Anordnung B: Trägerinfrastruktur Bahn

Varianten



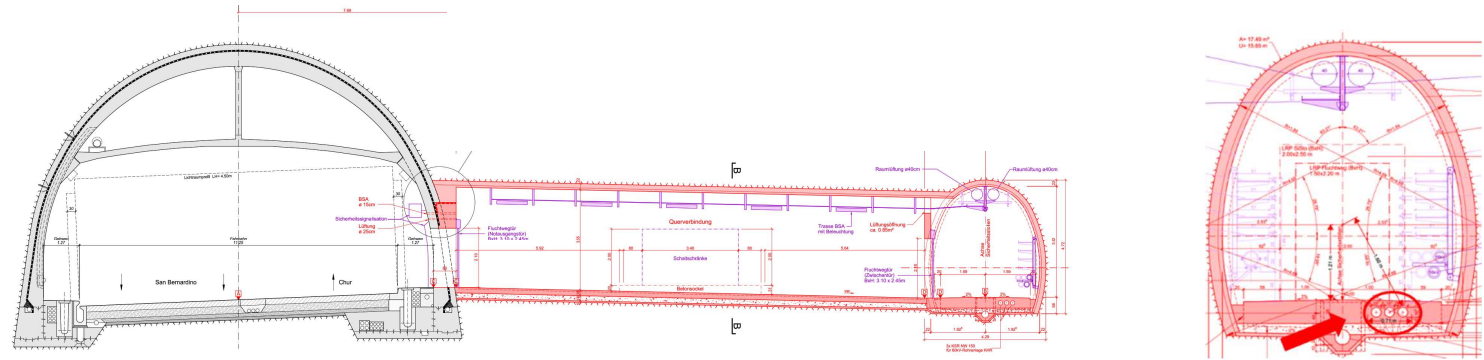
Mögliche Massnahmen

strukturell	Bettungsmaterial Bankett: Thermisch gut leitfähiger Beton (min 1 W/K*m, mit Spezialbeton bis 4 W/K*m möglich)	-
	Einlegen von Kühlleitungen in Kabelrohrblock, um die notwendige Stromtragfähigkeit zu gewährleisten.	-
	Anordnung der Kabelzugschächte und Zugrohre möglichst in der Abwicklungsrichtung der aufgestellten Kabeltrommel	
	Muffenkammern / Muffennischen baulich abtrennen, mit einer Wand aus Beton oder Mauerwerk gegen den Verkehrsraum verschliessen.	
	Muffenschächte mit gesicherten Schachtdeckel und Sandbefüllung.	
	Anordnung der Kabelanlage im unteren Bereich des Banketts.	-
	Mindestbetonüberdeckung der Kabelschutzrohre von 10 cm	
	Verlegung in widerstandsfähigen Leerrohren.	
	Bankett gegen Anprall durch verstärkte Armierung oder Schutzplatten härten (auf magnetischen Kurzschluss achten, siehe [B-2], Ziffer 8.5.3.4)	-
	Einbau Fangschiene, die verhindern, dass entgleiste Eisenbahnfahrzeuge erheblich vom Gleisbereich abkommen (jedoch nur geeignet für geringe und mittlere Geschwindigkeiten, siehe AB-EBV zu AB 26.2). Andere Massnahmen sind zu bevorzugen.	

Projektspezifische Nachweise und Abklärungen

Lage und Anordnung der Kabel	Nachweis, dass der in der NISV festgelegte Immissionsgrenzwert für die magnetische Flussdichte von 100 μ T für die Bahnpassagiere eingehalten wird. Dies ebenso an Orten, wo sich das Arbeitspersonal der Trägerinfrastruktur aufhalten kann (Gehwege).
Wärmeabfuhr	Nachweis, dass sich die Systemanforderungen der Kabelanlage (Stromtragfähigkeit) für die Anordnung erfüllen lassen.
Anordnung und Schutz der Muffenverbindungen	Festlegung der baulichen Massnahmen zur Einhaltung der Schutzziele bezüglich Anlagen- und Personensicherheit unter Berücksichtigung von Kosten-Nutzen-Betrachtungen.
Kabellogistik	Festlegung der Erschliessung und der nötigen Platzverhältnisse bezüglich der Kabellogistik unter Berücksichtigung von Kosten-Nutzen-Betrachtungen.
Schutz der Kabelleitungen vor Beschädigungen	Bemessung der Bankette für die aussergewöhnliche Einwirkung Q_{dy} gemäss den AB-EBV, Anhang Nr. 1 sowie Festlegung weiterer Schutzmassnahmen gegen Anprall unter Berücksichtigung von Kosten-Nutzen-Betrachtungen.

Tunnel - Anordnungsvariante D: Variationen für die Trägerinfrastruktur Strasse



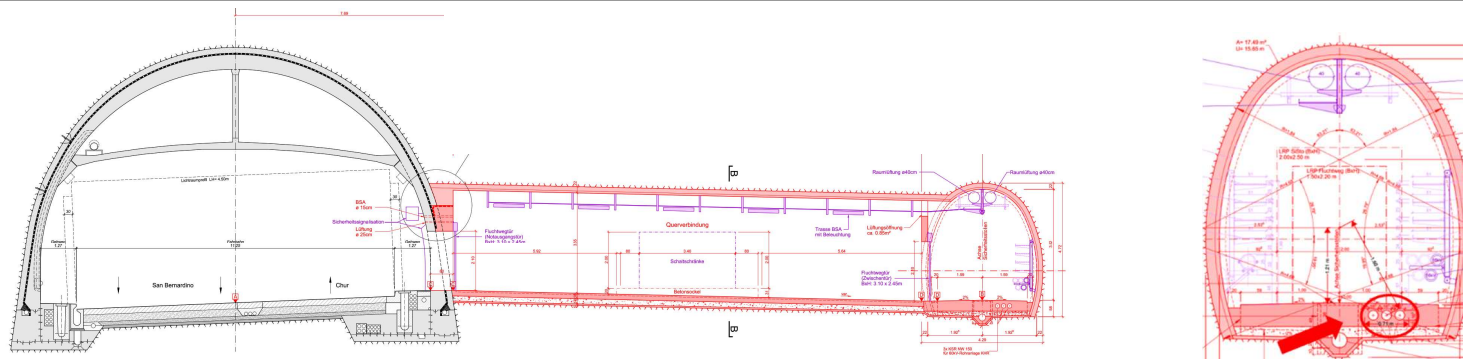
Gesetzte Rahmenbedingungen durch die Trägerinfrastruktur

Integration der Kabelanlage im Bauwerk	Varianten: - Kabel in Kabelrohrblock, untergebracht in der Sohle des Sicherheitssollens (SiSto) - Kabel offen verlegt an einer Wand im SiSto
Ort der Muffenverbindungen	Varianten: - Muffenverbindungen in Muffenschächten in der Sohle des SiSto - Muffenverbindungen offen an der Wand im SiSto
Merkmal der Anordnung	Verkehr und Stromtrasse sind räumlich getrennt
Gegenseitige Beeinflussung durch Ereignisse	Beschädigung der Stromleitung bei Brand im Tunnel nicht möglich (SiSto = sicherer Ort, Abtrennung vom Tunnel durch Barrieren in der Querverbindung). Abschaltung ist aber infolge Aufenthaltes von Flüchtenden zu veranlassen (NIS). Bei Kurzschluss in Stromleitung mit Explosion (an Muffen) sind im schlimmsten Fall Schäden an Trägerinfrastruktur und elektrotechnischen Einrichtungen des SiSto möglich. Teile der Infrastruktur können weggeschleudert werden und Dritte gefährden. Tunnel ist zu sperren, sobald Fluchtweg nicht mehr funktionstüchtig ist.
Gegenseitige Beeinflussung beim Unterhalt	Unterhaltsarbeiten an parallelen Leitungen: Abschaltung der Übertragungsleitung aus Sicherheitsgründen nötig, falls sich die parallele Leitung im SiSto befindet (ein anlagenspezifisches Entscheidungsschema ist zu erstellen und anzuwenden)

Bauliche Randbedingungen

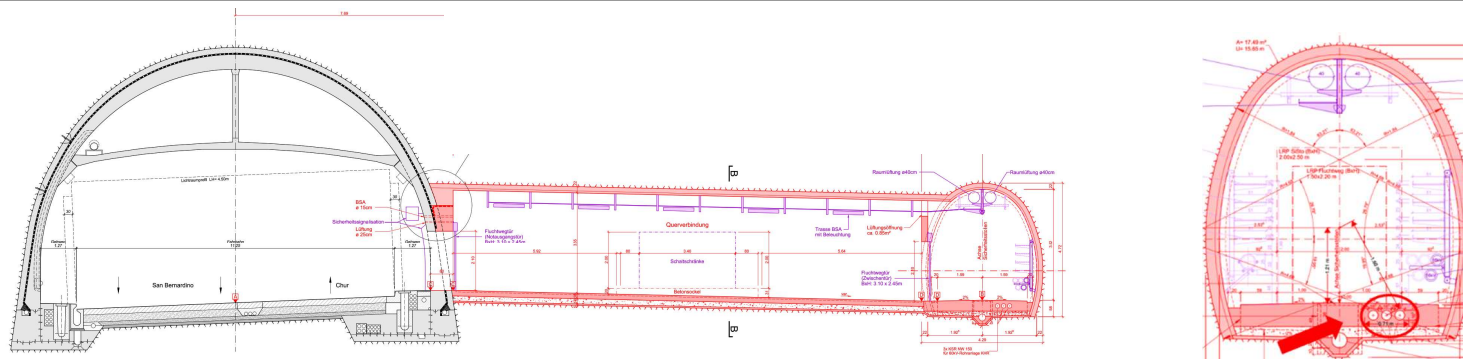
Technische Bestimmungen seitens Trägerinfrastruktur	Quelle: [D-1] Norm SIA 197: Projektierung Tunnel, Grundlagen [D-2] Norm SIA 197/2: Projektierung Tunnel – Strassentunnel [D-3] ASTRA-Fachhandbuch 24 000 Tunnel Geotechnik, namentlich - Technisches Merkblatt 24 001-10404 Werkleitungskanal (V2.03) vom 1.01.2015 [D-3a] - Technisches Merkblatt 24 001-10706 Begehbare Querverbindungen (V2.03) vom 01.01.2015 [D-3b] - Technisches Merkblatt 24 001-10707 Sicherheitsstollen, Fluchttollen (V2.03) vom 01.01.2015 [D-3c] [D-4] ASTRA-Fachhandbuch_23000 Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen, namentlich - Technisches Merkblatt 23 001-11350 SISTO-Lüftung (V1.10) vom 01.01.2018 [A4a] [D-5] ASTRA-Richtlinie 13002 „Lüftung der Sicherheitsstollen von Strassentunneln
---	--

Tunnel - Anordnungsvariante D: Variationen für die Trägerinfrastruktur Strasse



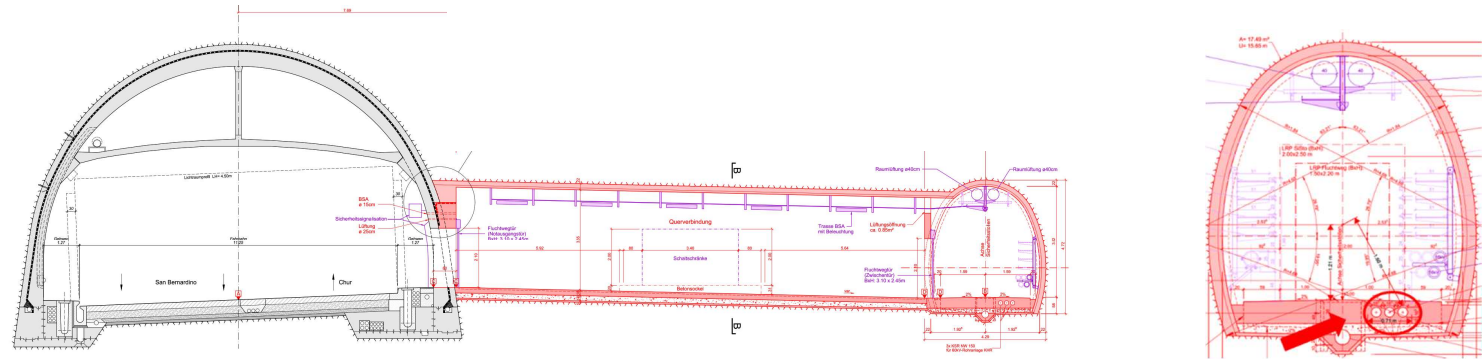
Technische Bestimmungen seitens Stromleitung	Quelle: [D-6] Verordnung über elektrische Starkstromanlagen vom 30. März 1994 (Starkstromverordnung; SR 734.2) [D-7] Verordnung über elektrische Leitungen vom 30. März 1994 (Leitungsverordnung, LeV; SR 734.31) [D-8] Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung vom 23. Dezember 1999 (NISV; SR 814.710) [D-9] Hochspannungsleitungen: Vollzugshilfe zur NISV, BAFU 2007
Tunnel-Einrichtungen für die Selbstrettung von Verkehrsteilnehmern	Selbstrettung bei 1-röhrigen Tunnels [D-2] - in SiSto Übertragungsleitung befindet sich neben Fluchtweg.
Bauliche Dimensionen	Lichte Höhe / lichte Breite des SiSto wird projektspezifisch bestimmt. Minimalmasse für Gänge und Zugänge in Innenraumanlagen [D-6]: - Bedienungsgänge bei Hochspannungsanlagen: 2.1 m - Montagegänge in gekapselte Anlagen: 2.0 m
Zugänge zum SiSto	SiSto = Fluchtweg: Bauwerke für Fluchtabgänge alle 300 – 500 m
Kabellogistik	Kabeleinzug in Kabelrohrblock von den Portalen des SiSto
Bauliche Anforderungen	
Lage und Anordnung der Kabel	• Der Kabelrohrblock im SiSto ist genügend tief zu verlegen, damit der in der NISV festgelegte Immissionsgrenzwert (IGW) für die magnetische Flussdichte im Gang eingehalten wird (bei Unterhalt durch Arbeitspersonal der Trägerinfrastruktur). • Bei offen an der Wand angeordneten Muffenverbindungen ist der Abstand zum Gang analog einzuhalten.
Zugang und Fluchtwegabgänge SiSto	Die gültigen Anforderungen ergeben sich aus den baulichen Randbedingungen gemäss dem heutigen Stand der Technik.
Brandabschnitte	Der SiSto ist ein Sicherheitselement der Tunnelsicherheit. Zur Erfüllung dieser Funktion muss auf der ganzen Länge ein Überdruck gegenüber dem Fahrraum gewährleistet werden. Brandabschnitte sind aus dieser Optik zu vermeiden.

Tunnel - Anordnungsvariante D: Variationen für die Trägerinfrastruktur Strasse



Anordnung und Schutz der Muffenverbindungen	- Muffenverbindungen sind möglichst dort anzuordnen, wo im Falle eines Ereignisses an der Muffe (Brand / Explosion) der geringste Schaden an der Trägerinfrastruktur und deren elektrischen Einrichtungen entstehen kann. - Muffenverbindungen sind zum begehbaren Bereich abzusichern. In einem SiSto, der befahrbar ist, sind sie gegen Anprall zu schützen. - Muffenschächte müssen so gesichert werden, dass sich die Wirkung im Ereignisfall eindämmen lässt.
Schutz der Kabelleitungen vor Beschädigungen	In befahrbaren Kanälen sind Rückhaltesystem vorzusehen, die zugleich den Sicherheitsabstand gewährleisten.
Lichtraumprofil SiSto	Im SiSto definiert sich das Lichtraumprofil inkl. Integration der Kabelanlage wie folgt: Lichte Höhe: - Fluchtweg: min. 2.2 m [D-3b/D-3c] Lichte Breite: - Lichtraumprofil für Fluchtweg Tunnelbenützer im Ereignisfall: Breite= min 1.5 m [D3b/D3c] - Kabeltechnischer Nutzraum (Kabel, Muffenverbindungen) - Zusätzlicher Sicherheitsabstand zur Einhaltung des in der NISV festgelegten IGW für die magnetische Flussdichte Der kabeltechnische Nutzraum (2) sollte nach Möglichkeit so dimensioniert sein, dass sich notfalls zusätzliche Muffenverbindungen zur Behebung von Kabelschäden einbauen lassen und dass sich Instandsetzungsarbeiten gefahrlos ausführen lassen (Einhaltung Sicherheitsabstand zu einem betriebenen Kabel, keine Gefahr von Beschädigungen). Bei seitlichen Zugängen sind die Kabel zu verlegen. Bei zu kleinen vertikalen Sicherheitsabständen sind strukturelle Massnahmen zu treffen.
Kabellogistik	- Für die Anlieferung der Kabeltrommeln ist eine dauerhafte, ausreichende Zugänglichkeit zu den Kabelzugsorten sicherzustellen. Sie ist auf die Befahrbarkeit mit Spezialfahrzeugen und deren Gewichte auszurichten. - Für die Kabelverlegung durch den SiSto ist eine ausgeklügelte Logistik (Verfahren, Maschinen und Geräte) vorzusehen, welche auf die zulässigen Kabelzugkräfte abgestimmt ist. - Bei einem Einzug der Kabel vom Verkehrsraum aus, sind in den Ausstellbuchten Kabelzugschächte und Kabelzugrohre bis zum SiSto zu erstellen.

Tunnel - Anordnungsvariante D: Variationen für die Trägerinfrastruktur Strasse



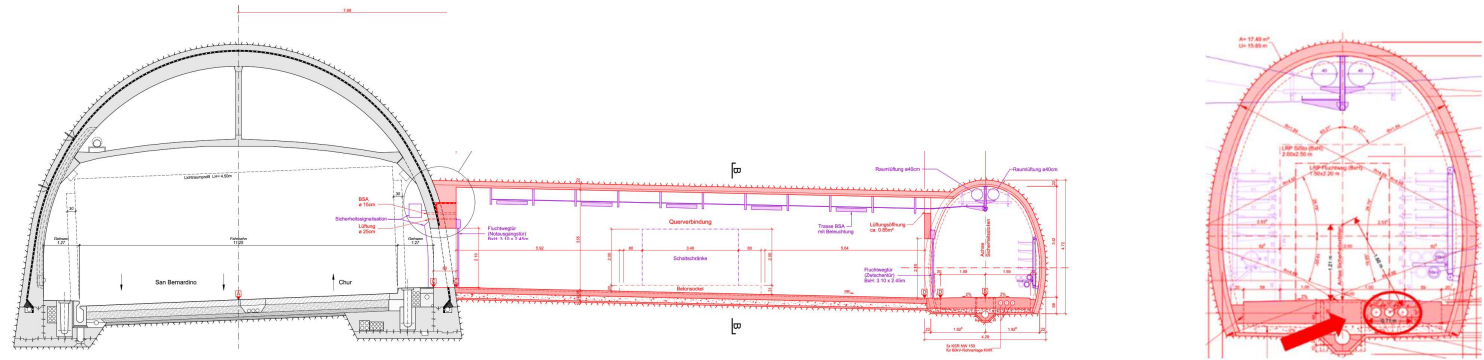
Technische Anforderungen:

Lüftung Der Sisto wird permanent belüftet: Die Auslegung der Lüftung erfolgt gemäss den Vorgaben in [D-5].

Mögliche Massnahmen

strukturell	Zur Einhaltung des in der NISV festgelegten IGW für die magnetische Flussdichte: - Feldkompensation durch Anpassungen (Aktive Kompensation) - Magnetische Abschirmung (spezielle Aluminiumplatten) - Bodenmarkierungen oder Abschränkungen zur Einhaltung des erforderlichen Sicherheitsabstandes zu den Kabeln und Muffen Einkapselung der Muffenverbindungen: - Muffenkammern / Muffennischen baulich abtrennen, mit einer Wand aus Beton oder Mauerwerk gegen den WELK verschliessen - Anprallschutz / Leitplanken vor Muffenverbindungen (wenn befahrbar) - Schächte mit gesicherten Schachtdeckel und Sandbefüllung sichern.
prozessual	- Gefahrenermittlung und Massnahmenplanung bezüglich Unfallgefahren und Gesundheitsrisiken nach Wirksamkeit und Kosten - Erstellen Betriebs- und Rettungskonzept für SiSto - Erstellen Brandschutzkonzept
materiell	Mögliche Ausrüstung SiSto mit Sicherheitseinrichtungen - Sprechfunk - Überwachungskameras - Alarmauslösung - Elektrounfal-Rettungsmaterial - Handfeuerlöscher - Brandlöschstationen
organisatorisch	SiSto-Begehungen: Der SiSto ist dauerbelüftet und dauerhaft einsatzbereit. Es sind nur minimale organisatorische Massnahmen zu treffen.

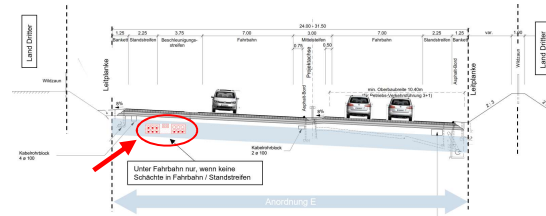
Tunnel - Anordnungsvariante D: Variationen für die Trägerinfrastruktur Strasse



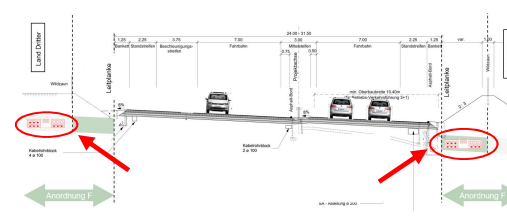
Projektspezifische Nachweise und Abklärungen

Lage und Anordnung der Kabel	- Nachweis, dass der in der NISV festgelegte Immissionsgrenzwertes für die magnetische Flussdichte von 100 μT an jenen Orten eingehalten wird, wo sich das Arbeitspersonal der Trägerinfrastruktur aufhalten kann. - Der Sicherheitsabstand ist durch Ermittlung der Magnetfelder für den thermischen Grenzstrom projektspezifisch zu bestimmen. - Die Leitungsführung bei seitlichen Fluchtwegabgängen ist im Rahmen des konkreten Projektes festzulegen.
Wärmeabfuhr	Nachweis, dass sich die Systemanforderungen der Kabelanlage (Stromtragfähigkeit) für die Anordnung erfüllen lassen.
Anordnung und Schutz der Muffenverbindungen	Die baulichen Massnahmen zum Einhalten der Schutzziele zur Anlagen- und Personensicherheit sind unter Berücksichtigung von Kosten-Nutzen-Betrachtungen projektspezifisch festzulegen.
Kabellogistik	Festlegung der Erschliessung und der nötigen Platzverhältnisse bezüglich der Kabellogistik unter Berücksichtigung von Kosten-Nutzen-Betrachtungen.

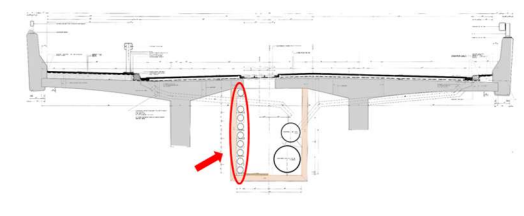
Offene Strecken und Kunstbauten – Anordnungsvarianten E / F / G: Trägerinfrastruktur Strasse



Anordnung E



Anordnung F

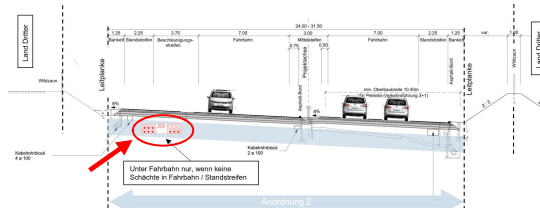
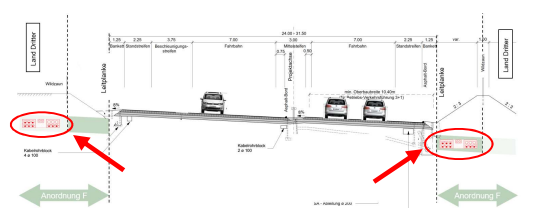
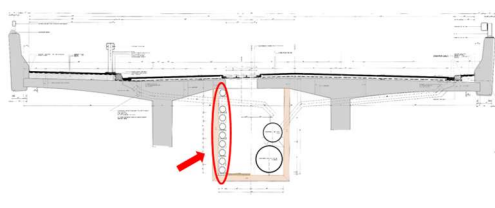


Anordnung G

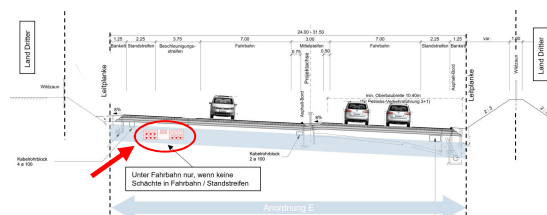
Gesetzte Rahmenbedingungen durch die Trägerinfrastruktur

Integration der Kabelanlage im Bauwerk	Kabel im Kabelrohrblock, untergebracht unter der Fahrbahn oder im Pannestreifen	Kabel im Kabelrohrblock, untergebracht ausserhalb der Leitplanke	Kabel in Kabelschutzrohren, montiert unter- oder innerhalb der Brücke, Varianten je nach Ausbildung der Brücke, z.B.: - im Hohlkasten der Brücke - seitlich an Brückenlängsträgern - unter der Brückenkragplatte mit oder ohne Lauf-/ Kontrollsteg
Ort der Muffenverbindungen	Muffenschächte sind ausserhalb der Fahrbahn und des Pannestreifens anzuordnen.		Muffenschächte sind ausserhalb der Brücke bei den Brückenwiderlagern anzuordnen, solange die Brücke kürzer ist als die einsetzbaren Kabellängen.
Merkmal der Anordnung	Verkehr und Stromtrasse sind räumlich nicht getrennt. Räumlich sind sie nur dann getrennt, wenn sich die Muffen- und Kabelzugschächte ausserhalb des Nationalstrassenareals befinden und von einer unabhängigen Unterhaltsstrasse erschlossen werden.		Verkehr und Stromtrasse sind räumlich getrennt, insbesondere beim Vorhandensein eines Kontrollstegs. Ausnahmen: - Kabelverlegung erfolgt über Schächte in der Brückenfahrbahn (wenn vom ASTRA bewilligt). - Für Wartungs- und Unterhaltsarbeiten ist ein Brückenuntersichtgerät (Spezialfahrzeug) aufzustellen, wofür eine Fahrspur bzw. der Pannestreifen gesperrt werden muss.
Gegenseitige Beeinflussung durch Ereignisse	Bei einem Unfall (Anprall / Kollision) und Brand muss die Stromleitung während der Bergung und Instandsetzung sicherheitshalber unterbrochen werden. Beschädigung der Stromleitung (mechanische oder thermische Einwirkung) unwahrscheinlich. Der Brand des Kabels kann auch andere Kabel beschädigen und die beim Kurzschluss verursachte Druckwelle kann Schäden an der anderen Infrastruktur verursachen (wenn in der Nähe der Muffe). Die ungeplante Instandsetzung beansprucht Platz auf der Strasse. Dadurch ist mit Einschränkungen zu rechnen (zeitweise Sperrung von Fahrbahnen).		Bei einem Unfall (Anprall / Kollision) und Brand muss die Stromleitung während der Bergung und Instandsetzung sicherheitshalber unterbrochen werden. Beschädigung der Stromleitung (mechanische oder thermische Einwirkung) möglich. Der Brand des Kabels kann auch andere Kabel beschädigen. Die ungeplante Instandsetzung beansprucht Platz auf der Strasse. Dadurch ist mit Einschränkungen zu rechnen (zeitweise Sperrung von Fahrbahnen).

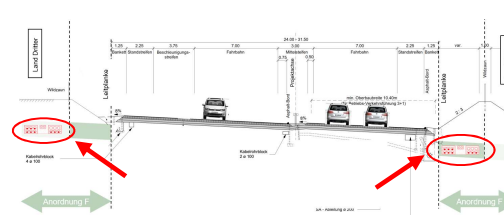
Offene Strecken und Kunstbauten – Anordnungsvarianten E / F / G: Trägerinfrastruktur Strasse

	 Anordnung E	 Anordnung F	 Anordnung G
Gegenseitige Beeinflussung beim Unterhalt	Unterbauerneuerung (Anordnung E) oder Instandsetzungsarbeiten an Kunstbauten (Anordnung G): - Abschaltung der Übertragungsleitung ist voraussichtlich nötig, muss fallweise geprüft werden. Unterhaltsarbeiten an parallelen Leitungen: - Abschaltung der Übertragungsleitung aus Sicherheitsgründen nötig (ein anlagenspezifisches Entscheidungsschema ist zu erstellen und anzuwenden).		
Bauliche Randbedingungen			
Technische Bestimmungen seitens Trägerinfrastruktur	Quelle: [EFG-1] ASTRA-Fachhandbuch 21001 Fachhandbuch Trasse Umwelt [EFG-2] ASTRA-Fachhandbuch 22001 Kunstbauten [EFG-3] ASTRA-Fachhandbuch 23001 Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen, namentlich: - Technisches Merkblatt 23 001-12130 Kabel (V1.20) vom 1. Januar 2018 - Technisches Merkblatt 23 001-14200 Kabelrohrblock (V1.20) vom 1. Januar 2016 - Technisches Merkblatt 23 001-14201 Hierarchie der Infrastruktur (V1.10) vom 31. Dezember 2012 - Technisches Merkblatt 23 001-14202 Rohrdisposition (V1.00) vom 14. Juli 2011 - Technisches Merkblatt 23 001-14203 Rohrblockkonfiguration (V1.00) vom 14. Juli 2011 - Technisches Merkblatt 23 001-14204 Rohrblocklage (V1.00) vom 14. Juli 2017		
Technische Bestimmungen seitens Stromleitung	Quelle: [EFG-4] Verordnung über elektrische Starkstromanlagen vom 30. März 1994 (Starkstromverordnung; SR 734.2) [EFG-5] Verordnung über elektrische Leitungen vom 30. März 1994 (Leitungsverordnung, LeV; SR 734.31) [EFG-6] Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung vom 23. Dezember 1999 (NISV; SR 814.710) [EFG-7] Hochspannungsleitungen: Vollzugshilfe zur NISV, BAFU 2007		
Regulatorische Randbedingungen			
Baustelleneinrichtung auf Autobahnen und Autostrassen	Einzelne Fahrspuren lassen sich als Baustelle von kurzer Dauer bis zu einer maximalen Dauer von 72 Stunden sperren. Das ASTRA oder der betroffene Kanton ordnen die Signalisation an.		

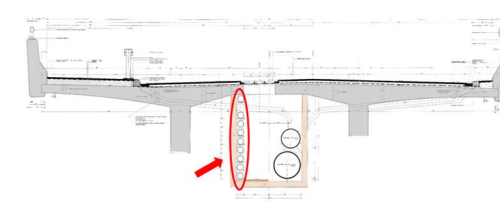
Offene Strecken und Kunstbauten – Anordnungsvarianten E / F / G: Trägerinfrastruktur Strasse



Anordnung E



Anordnung F

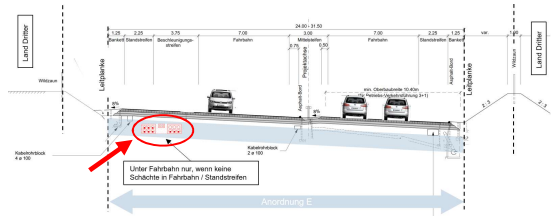
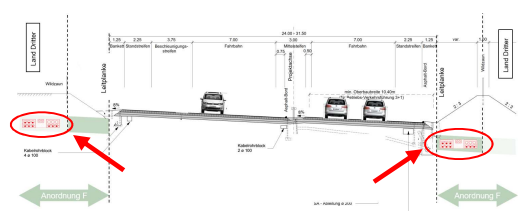
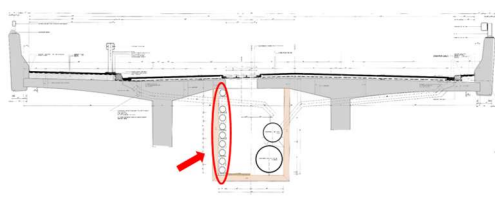


Anordnung G

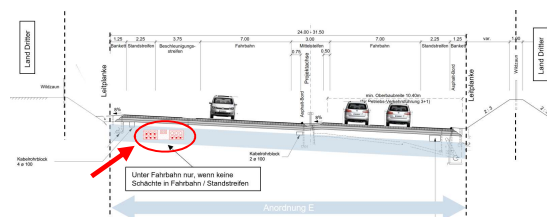
Bauliche Anforderungen

Lage und Anordnung der Kabel	- Die Hochspannungskabel sind im Kabelblock so anzuordnen, dass der in der NISV festgelegte Immissionsgrenzwert für die magnetische Flussdichte für die Verkehrsteilnehmer eingehalten wird [EFG-6/7]. - Ein in der Fahrbahn und Pannestreifen Kabelrohrblock muss genügend tief verlegt sein, um eine künftige Fahrbahnerneuerung nicht zu behindern. - Im Kabelrohrblock sind möglichst zusätzliche Leerrohre vorzusehen.	Die Hochspannungskabel sind so anzuordnen, dass folgende Grenzwerte eingehalten werden: - der in der NISV festgelegte Immissionsgrenzwert für die magnetische Flussdichte auf der Brücke - der Grenzwert am Arbeitsplatz der Suva für die magnetische Flussdichte bei Begehungen auf dem Kontrollsteg Die Belegung und Anordnung der Kabelanlage ist mit dem Betreiber der Trägerinfrastruktur und gegebenenfalls mit anderen Werken (Wasser, Entwässerung, lokaler Stromversorger) zu koordinieren. Die Kabel sind mit «Spiel» zu verlegen, um die Längenveränderungen des Bauwerkes mitzumachen.
Schutz der Kabelleitungen vor Beschädigungen	- Die Anordnung von Kabelanlagen in Rutschhängen ist grundsätzlich zu vermeiden. - Wenn Setzungen zu erwarten sind, müssen die Kabel mit «Spiel» verlegt werden, um die möglichen Längenveränderungen des Bauwerkes mitzumachen.	Kabelverbindungen und -befestigungen müssen für die geltenden Erdbebenzonen gemäss Norm SIA 261, Kapitel 16, bemessen werden.
Schutz der Brückeneinrichtungen vor Kabelbränden / Muffenexplosionen		- Die Muffenverbindungen sind möglichst in Muffenschächten vor den Widerlagern vorzusehen. - Muffenverbindungen unter der Brücke (im Hohlkasten oder an den Trägern) sind zu vermeiden
Anordnung der Muffenverbindungen	- Die Erschliessung von Muffenstellen ist, wenn immer möglich, von ausserhalb der Nationalstrasse über einen Feldweg bzw. eine Unterhaltsstrasse vorzusehen. In Fällen, wo dies nicht möglich ist, ist in Abstimmung mit dem ASTRA die Erschliessung über die Nationalstrasse projektspezifisch zu prüfen. - In Fällen, wo es unvermeidlich ist, Muffenschächte in der Fahrbahn oder im Pannestreifen anzuordnen, müssen die Schächte nach den Anforderungen des ASTRA befestigt werden.	Die Erschliessung von Muffenstellen, die sich beim Brückenwiderlager befinden, ist, wenn immer möglich, von ausserhalb der Nationalstrasse über einen Feldweg bzw. eine Unterhaltsstrasse vorzusehen.
Kabellogistik	Für die Anlieferung der Kabeltrommeln ist eine dauerhafte, ausreichende Zugänglichkeit zu den Kabelzugsorten sicherzustellen. Sie ist auf die Befahrbarkeit mit Spezialfahrzeugen und deren Gewichte auszurichten.	Wie links, darüber hinaus: Für die Kabelverlegung und die Montage von Kabeln an Brückenelementen ist eine ausgeklügelte

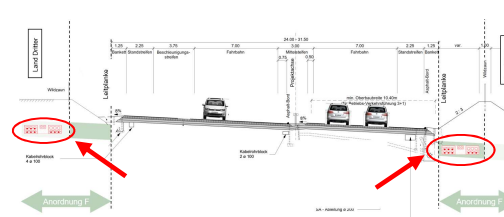
Offene Strecken und Kunstbauten – Anordnungsvarianten E / F / G: Trägerinfrastruktur Strasse

	 Anordnung E	 Anordnung F	 Anordnung G
	- In den Fällen, in denen die Kabellegung ab Nothaltebuchten der Nationalstrasse vorzunehmen ist, sind die Kabellänge und der Abstand der Nothaltebuchten frühzeitig in der Planung aufeinander abzustimmen. - Unter Beachtung der Fahrzeugausmasse, der quer aufliegenden Kabeltrommel für Kabellängen > 560 Meter und der einzuhaltenden Biegeradien von min. 3.5 Meter beim Kabelverlegen ist hierfür ausreichend Platz einzuplanen. - In den Fällen, in denen die Kabellegung von ausserhalb der Nationalstrasse über eine Unterhaltsstrasse vorzunehmen ist, ist die Kabellänge auf das Terrain, die Bebauung und die Erschliessungsmöglichkeiten auszurichten.	- Logistik (Verfahren, Maschinen und Geräte) vorzusehen, welche auf die zulässigen Kabel-Zugkräfte abgestimmt ist. - Bei einem Einzug der Kabel vom Verkehrsraum aus (Brückenwiderlager, sind Kabelzugschächte und Kabelzugrohre durch das Brückenwiderlager zu erstellen	
Mögliche Massnahmen			
strukturell	- Bei Gesamtanierungen an Autobahnen in Kabelrohrblöcke für künftige Übertragungsleitungen vorinvestieren. Kabelschutzrohre mit $\varnothing = 250$ mm, Anzahl Kabelschutzrohre je nach Bedürfnis Swissgrid und Platz, min. 2 x 3 Rohre - - -	- Kontrollsteg, je nach Art der Anordnung (z.B. im Hohlkasten, zwischen Brückenträgern). - Einsatz eines mobilen Brückenuntersichtsgeräts (Fahrzeug, das für die Inspektion von Brückenunterseiten eingesetzt wird). - Fest installierte Auflager / Sattelkonstruktionen für die Kabelförderung entlang Brückenträger / -platte - Installieren von temporären Gerüsten mit Auflager / Sattelkonstruktionen für das Ziehen der Kabel	
Projektspezifische Nachweise und Abklärungen			
Lage und Anordnung der Kabel	- Nachweis, dass der in der NISV festgelegte Immissionsgrenzwert für die magnetische Flussdichte von $100 \mu T$ für die Verkehrsteilnehmer eingehalten wird. - Nachweis, dass der in der NISV festgelegte Immissionsgrenzwert für die magnetische Flussdichte von $100 \mu T$ an jenen Orten eingehalten wird, wo sich das Arbeitspersonal der Trägerinfrastruktur aufhalten kann.	Wie links, darüber hinaus: Nachweis, dass der Grenzwert der Suva für die magnetische Flussdichte von $500 \mu T$ an jenen Orten eingehalten wird, wo ausschliesslich das Betriebspersonal der nationalen Netzgesellschaft Zutritt hat (z.B. wenn Kontrollsteg vorhanden).	
Einwirkung Kabeleigengewicht	-	Statischer Nachweis, dass die zusätzliche Last angebracht werden kann (insbesondere bei Anordnung unter einer Brückenkragplatte).	

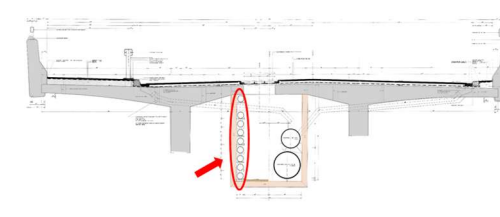
Offene Strecken und Kunstbauten – Anordnungsvarianten E / F / G: Trägerinfrastruktur Strasse



Anordnung E



Anordnung F



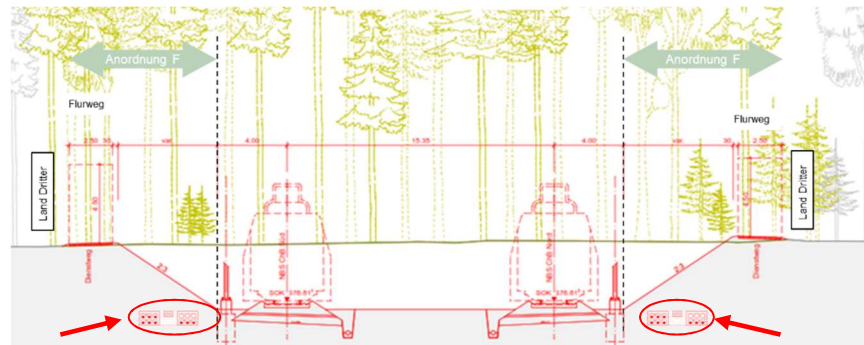
Anordnung G

Schutz der Kabelleitungen vor Beschädigungen

Festlegung der projektspezifischen Schutzmassnahmen gegen Anprall, soweit Anlagenteile über die Erdoberfläche ragen (z.B. Zugänge zu Muffenschächte)

- Projektspezifische Festlegung der Kabelverbindungen und -befestigungen und der Schutzmassnahmen gegen Längenänderungen und Naturgefahren.
- Bei Brücken über Gewässer und einer Befestigung der Kabelanlage unter der Brücke ist ein ausreichender Abstand zwischen dem höchsten Hochwasserstand und der Kabelanlage sicherzustellen.

Offene Strecken und Kunstbauten – Anordnungsvarianten F / G: Trägerinfrastruktur Bahn



Anordnung F

Anordnung G

Gesetzte Rahmenbedingungen durch die Trägerinfrastruktur

Integration der Kabelanlage im Bauwerk	Kabel im Kabelrohrblock, untergebracht ausserhalb der Fahrleitungsanlage.	Kabel in Kabelschutzrohren, montiert unter- oder innerhalb der Brücke, Varianten je nach Ausbildung der Brücke, z.B.: - im Hohlkasten der Brücke - seitlich an Brückenlängsträgern - unter der Brückenkragplatte mit oder ohne Lauf-/ Kontrollsteg
Ort der Muffenverbindungen	Muffenschächte sind ausserhalb der Fahrleitungsanlage anzuordnen.	Muffenschächte sind ausserhalb der Brücke bei den Brückenwiderlagern anzuordnen, solange die Brücke kürzer ist als die einsetzbaren Kabellängen.
Merkmal der Anordnung	Verkehr und Stromtrasse sind räumlich nicht getrennt, wenn der Zugang nur mit Gleisfahrzeugen möglich ist. Räumlich sind sie nur dann getrennt, wenn sich die Muffen- und Kabelzugschächte ausserhalb des Eisenbahnareals befinden und von einem parallelen Flur- und Interventionsweg erschlossen werden.	Verkehr und Stromtrasse sind räumlich getrennt, insbesondere beim Vorhandensein eines Kontrollstegs.
Gegenseitige Beeinflussung durch Ereignisse	Bei einem Bahnunfall (Anprall / Kollision) und Brand muss die Stromleitung während Bergungsarbeiten und Instandsetzung sicherheitshalber unterbrochen werden. Beschädigung der Stromleitung (mechanische oder thermische Einwirkung) unwahrscheinlich. Der Brand des Kabels kann auch andere Kabel beschädigen und die beim Kurzschluss verursachte Druckwelle kann Schäden an der anderen Infrastruktur verursachen (wenn in der Nähe der Muffe). Die ungeplante Instandsetzung beansprucht Platz neben der Bahntrasse. Dadurch ist mit Einschränkungen zu rechnen (zeitweise Sperrung der Strecke / von Gleisen).	Bei einem Bahnunfall (Anprall / Kollision) und Brand muss die Stromleitung während Bergungsarbeiten und Instandsetzung sicherheitshalber unterbrochen werden. Beschädigung der Stromleitung (mechanische oder thermische Einwirkung) möglich. Der Brand des Kabels kann auch andere Kabel beschädigen. Die ungeplante Instandsetzung beansprucht Platz neben der Bahntrasse. Dadurch ist mit Einschränkungen zu rechnen (zeitweise Sperrung der Strecke / von Gleisen).
Gegenseitige Beeinflussung beim Unterhalt	Unterbauerneuerung / Instandsetzungsarbeiten an Kunstbauten: Abschaltung der Übertragungsleitung ist voraussichtlich nötig, muss fallweise geprüft werden. Unterhaltsarbeiten an parallelen Leitungen:	

Offene Strecken und Kunstbauten – Anordnungsvarianten F / G: Trägerinfrastruktur Bahn



Anordnung F

Anordnung G

- Abschaltung der Übertragungsleitung aus Sicherheitsgründen nötig (ein anlagenspezifisches Entscheidungsschema ist zu erstellen und anzuwenden).

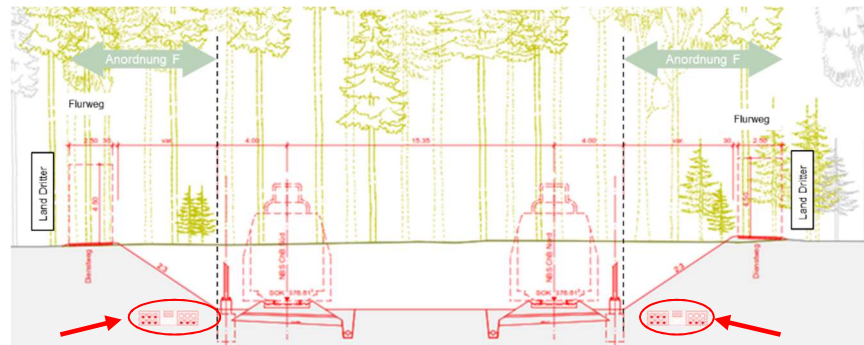
Bauliche Randbedingungen

Technische Bestimmungen seitens Trägerinfrastruktur	Quelle: [FG-1] Ausführungsbestimmungen zur Eisenbahnverordnung (AB-EBV)
Technische Bestimmungen seitens Stromleitung	Quelle: [FG-2] Verordnung über elektrische Starkstromanlagen vom 30. März 1994 (Starkstromverordnung; SR 734.2) [FG-3] Verordnung über elektrische Leitungen vom 30. März 1994 (Leitungsverordnung, LeV; SR 734.31) [FG-4] Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung vom 23. Dezember 1999 (NISV; SR 814.710) [FG-5] Hochspannungsleitungen: Vollzugshilfe zur NISV, BAFU 2007

Bauliche Anforderungen

Lage und Anordnung der Kabel	• Erdverlegte Kabelleitungen, die nicht dem Bahnbetrieb dienen, müssen ausserhalb der Gleisanlagen und den zugehörigen Leitungstragwerken für die Bahnstromversorgung verlegt werden und mindestens einen Abstand von 1.3 m zur äusseren Schiene aufweisen. Ausnahmen sind möglich, wenn das Einverständnis des Betriebsinhabers der Bahninfrastruktur gegeben ist). • Hochspannungskabel sind nach Möglichkeit von den Niederspannungskabeln sowie Steuer- und Schwachstromkabeln getrennt zu verlegen (in separaten Kabelblöcken). • Die Hochspannungskabel sind im Kabelblock so anzuordnen, dass der in der NISV festgelegte Immissionsgrenzwert für die magnetische Flussdichte für die Bahnpassagiere eingehalten wird [FG-4/5]. • Bei bestehenden Infrastrukturen ist die Kabeltrasse nicht innerhalb der Interessenslinie der SBB zu legen, um künftige Ausbauten zu ermöglichen (z.B. hinsichtlich zukünftiger / längerfristig geplanter Doppelspurausbauten).	Die Hochspannungskabel sind so anzuordnen, dass folgende Grenzwerte eingehalten werden: • der in der NISV festgelegte Immissionsgrenzwert für die magnetische Flussdichte auf der Brücke • der Grenzwert am Arbeitsplatz der Suva für die magnetische Flussdichte bei Begehungen auf dem Kontrollsteg Die Belegung und Anordnung der Kabelanlage ist mit dem Betreiber der Trägerinfrastruktur und gegebenenfalls mit anderen Werken (Wasser, Entwässerung, lokaler Stromversorger) zu koordinieren. Die Kabel sind mit «Spiel» zu verlegen, um die Längenveränderungen des Bauwerkes mitzumachen.
Schutz der Kabelleitungen vor Beschädigungen	• Die Anordnung von Kabelanlagen in Rutschhängen ist grundsätzlich zu vermeiden. • Wenn Setzungen zu erwarten sind, müssen die Kabel mit «Spiel» verlegt werden, um die möglichen Längenveränderungen des Bauwerkes mitzumachen.	• Kabelverbindungen und -befestigungen müssen für die geltenden Erdbebenzonen gemäss Norm SIA 261, Kapitel 16, bemessen werden.
Schutz der Brückeneinrichtungen vor Kabelbränden / Muffenexplosionen	-	• Die Muffenverbindungen sind möglichst in Muffenschächten vor den Widerlagern vorzusehen.

Offene Strecken und Kunstbauten – Anordnungsvarianten F / G: Trägerinfrastruktur Bahn



Anordnung F

Anordnung G

		Muffenverbindungen unter der Brücke (im Hohlkasten oder an den Trägern) sind zu vermeiden.
Anordnung der Muffenverbindungen	Die Erschliessung von Muffenstellen ist, wenn immer möglich, von ausserhalb der Eisenbahnareals über einen Unterhaltsstrasse oder – bei Neubaustrecken - über einen parallelen Flur- und Interventionsweg vorzusehen.	Die Erschliessung von Muffenstellen, die sich beim Brückenwiderlager befinden, ist über einen Feldweg bzw. eine Unterhaltsstrasse vorzusehen. Wenn dies aus topografischen oder anderen Gründen nicht möglich ist, so ist der Zugang nur noch mit Gleisfahrzeugen möglich und die Verlegemöglichkeiten sind analog der Zugänglichkeit bei Bahntunneln festzulegen (logistisch, zeitlich).
Kabellogistik	- Für die Anlieferung der Kabeltrommeln ist eine dauerhafte, ausreichende Zugänglichkeit zu den Kabelzugsorten sicherzustellen. Sie ist auf die Befahrbarkeit mit Spezialfahrzeugen und deren Gewichte auszurichten. - Die Kabellänge ist auf das Terrain, die Bebauung und die Erschliessungsmöglichkeiten auszurichten. - Unter Beachtung der Fahrzeugausmasse, der quer aufliegenden Kabeltrommel für Kabellängen > 560 Meter und der einzuhaltenden Biegeradien von min. 3.5 Meter beim Kabelverlegen ist hierfür ausreichend Platz einzuplanen.	Wie links, darüber hinaus: - Für die Kabelverlegung und die Montage von Kabeln an Brückenelementen ist eine ausgeklügelte Logistik (Verfahren, Maschinen und Geräte) vorzusehen, welche auf die zulässigen Kabel-Zugkräfte abgestimmt ist. - Bei einem Einzug der Kabel vom Verkehrsraum aus (Brückenwiderlager, sind Kabelzugschächte und Kabelzugrohre durch das Brückenwiderlager zu erstellen.

Offene Strecken und Kunstbauten – Anordnungsvarianten F / G: Trägerinfrastruktur Bahn



Anordnung F

Anordnung G

Mögliche Massnahmen

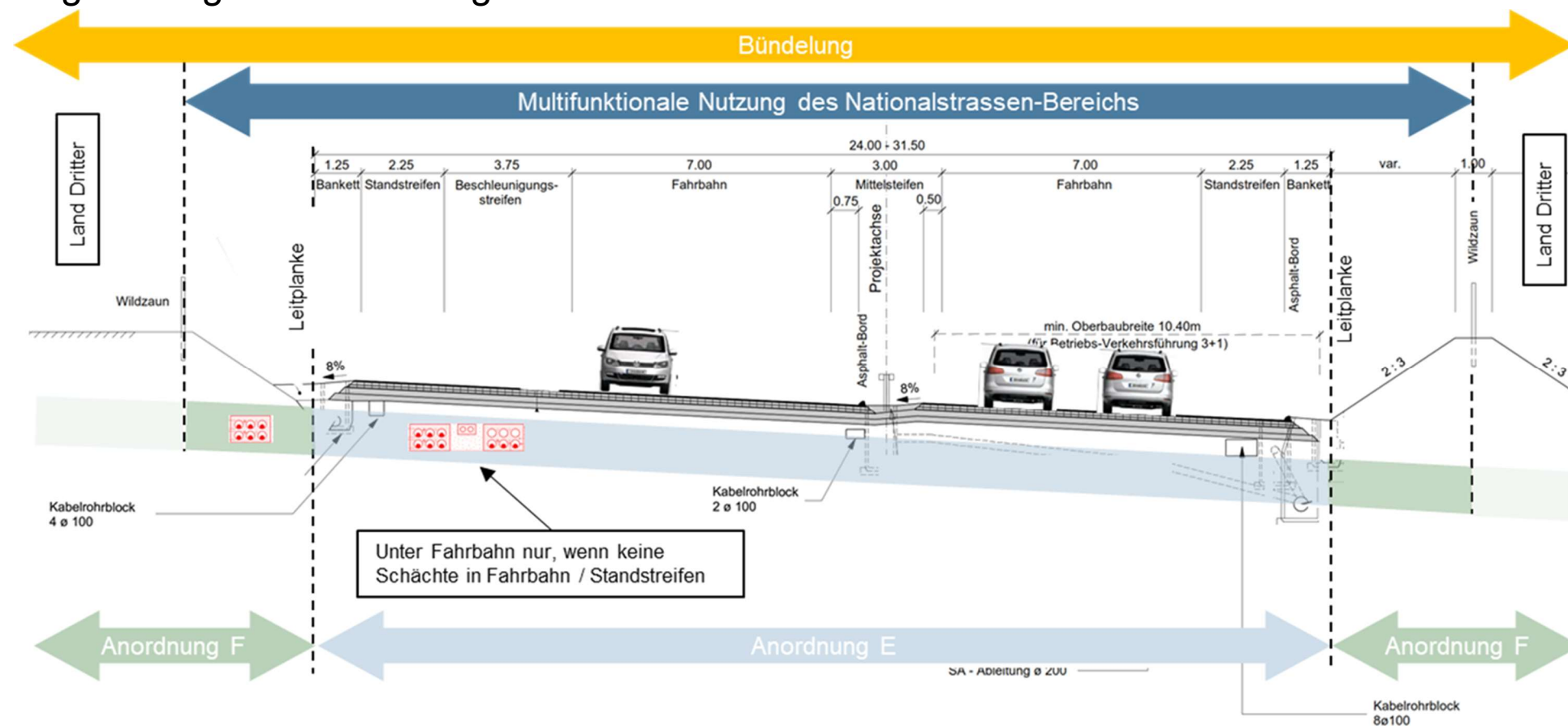
strukturell		Kontrollsteg, je nach Art der Anordnung (z.B. im Hohlkasten, zwischen Brückenträgern).
		Einsatz eines mobilen Brückenuntersichtsgeräts (Fahrzeug, das für die Inspektion von Brückenunterseiten eingesetzt wird).
	-	Fest installierte Auflager / Sattelkonstruktionen für die Kabelförderung entlang Brückenträger / -platte
	-	Installieren von temporären Gerüsten mit Auflager / Sattelkonstruktionen für das Ziehen der Kabel

Projektspezifische Nachweise und Abklärungen

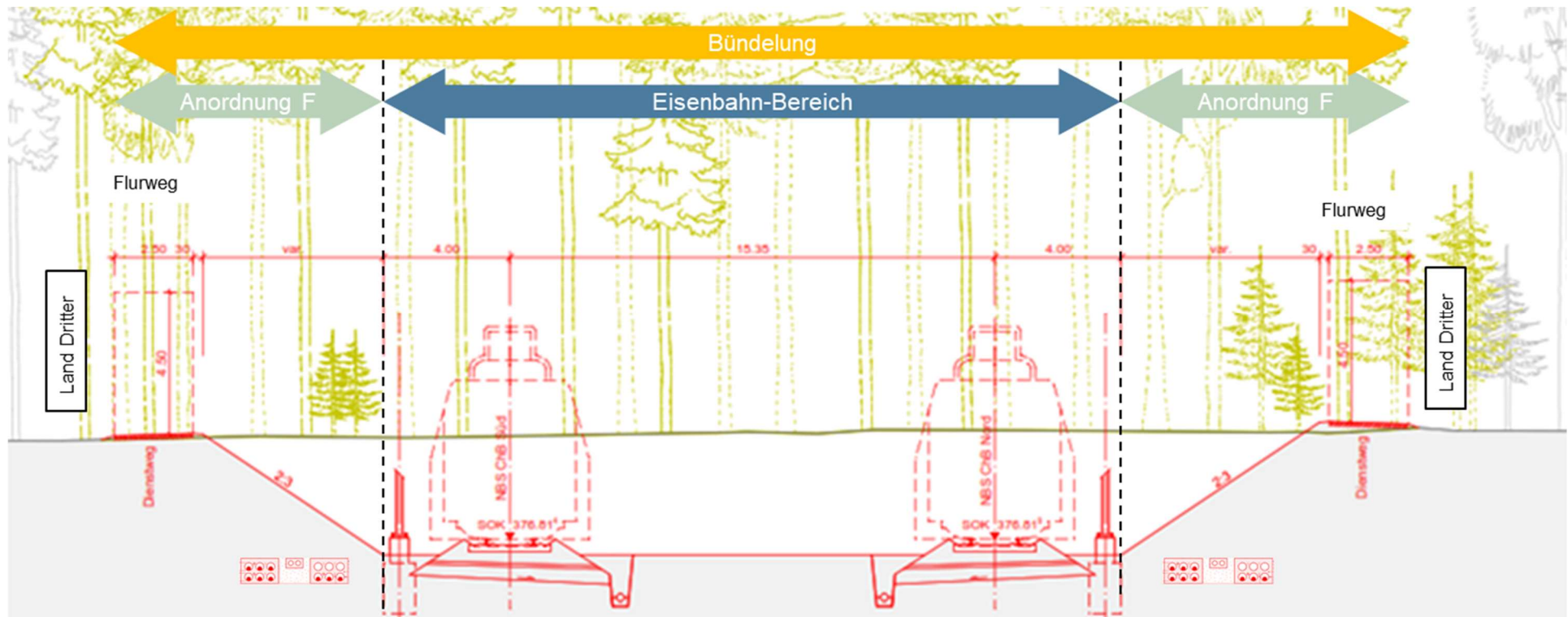
Lage und Anordnung der Kabel	- Nachweis, dass der in der NISV festgelegte Immissionsgrenzwert für die magnetische Flussdichte von 100 μT für die Bahnpassagiere eingehalten wird. - Nachweis, dass der in der NISV festgelegte Immissionsgrenzwert für die magnetische Flussdichte von 100 μT an jenen Orten eingehalten wird, wo sich das Arbeitspersonal der Trägerinfrastruktur aufhalten kann.	Wie links, darüber hinaus: Nachweis, dass der Grenzwert der Suva für die magnetische Flussdichte von 500 μT an jenen Orten eingehalten wird, wo ausschliesslich das Betriebspersonal der nationalen Netzgesellschaft Zutritt hat (wenn z.B. Kontrollsteg vorhanden).
Einwirkung Kabeleigengewicht	-	Statischer Nachweis, dass die zusätzliche Last angebracht werden kann (insbesondere bei Anordnung unter einer Brückenkragsplatte).
Schutz der Kabelleitungen vor Beschädigungen	-	- Projektspezifische Festlegung der Kabelverbindungen und -befestigungen und der Schutzmassnahmen gegen Längenänderungen und Naturgefahren. - Bei Brücken über Gewässer und einer Befestigung der Kabelanlage unter der Brücke ist ein ausreichender Abstand zwischen dem höchsten Hochwasserstand und der Kabelanlage sicherzustellen.



Anhang 2: Abgrenzung der Anordnungen E und F bei einer Nationalstrasse



Anordnung F bei einer Eisenbahnstrecke





Anhang 3: Lösungsansätze zur Kabelverlegung in Werkleitungskanälen (Anordnung A)

Randbedingungen WELK

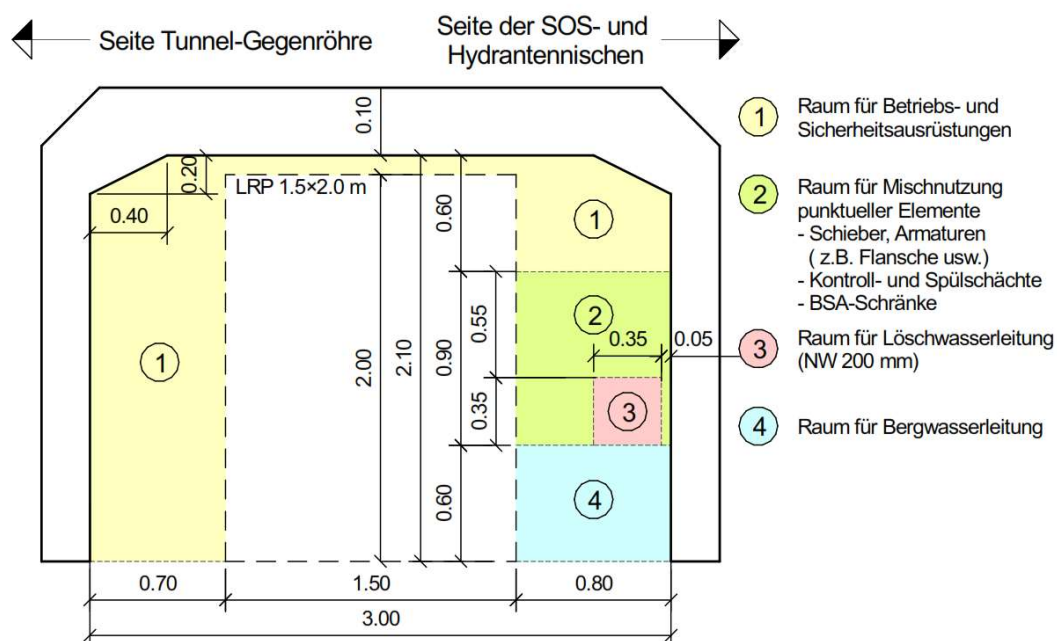
Ein Werkleitungskanal (WELK) ist ein begehbare, vom Fahrraum abgetrennter Kanal. Meistens ist er unter der Fahrbahn angeordnet. Er dient der Aufnahme von diversen Leitungen und ermöglicht dadurch zahlreiche Unterhaltsarbeiten unter Verkehr durchzuführen. Der verfügbare Raum ist beschränkt und soll daher möglichst günstig ausgenutzt werden, unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Leitungstypen, nämlich:

- die elektrischen Kabel zur Stromversorgung
- Übermittlungskabel (Kupfer, Glasfaser)
- Transitleitungen
- Bergwasserleitung
- Löschwasserleitung

Die Mitbenutzung des WELK für die Kabelanlage – als Übertragungsleitung – ist prinzipiell denkbar, bedingt aber eine Raumkoordination mit den Leitungen der Trägerinfrastruktur. Dazu ist der erforderliche Sicherheitsabstand zur Einhaltung des Grenzwertes am Arbeitsplatz der Suva für die magnetische Flussdichte (der in den Lichtraumprofilen für den Werkleitungskanal nach ASTRA-Fachhandbuch nicht berücksichtigt ist) und der Brandschutz zu garantieren.

Lichtraumprofile im WELK nach ASTRA Fachhandbuch Tunnel/Geotechnik

Merkblatt 24 001-10404, Werkleitungskanal V2.03 vom 01.01.2015:



Fazit: Die Mitnutzung eines vorfabrizierten WELK nach Merkblatt 24 001-10404 ist auf Grund der baulichen Dimensionen, der Leitungscoordination und des nicht vorhandenen Brandschutzes wenig geeignet. Es ist entweder eine Sonderbreite / -höhe oder ein separater WELK vorzuziehen.

Lösungsansatz separater WELK

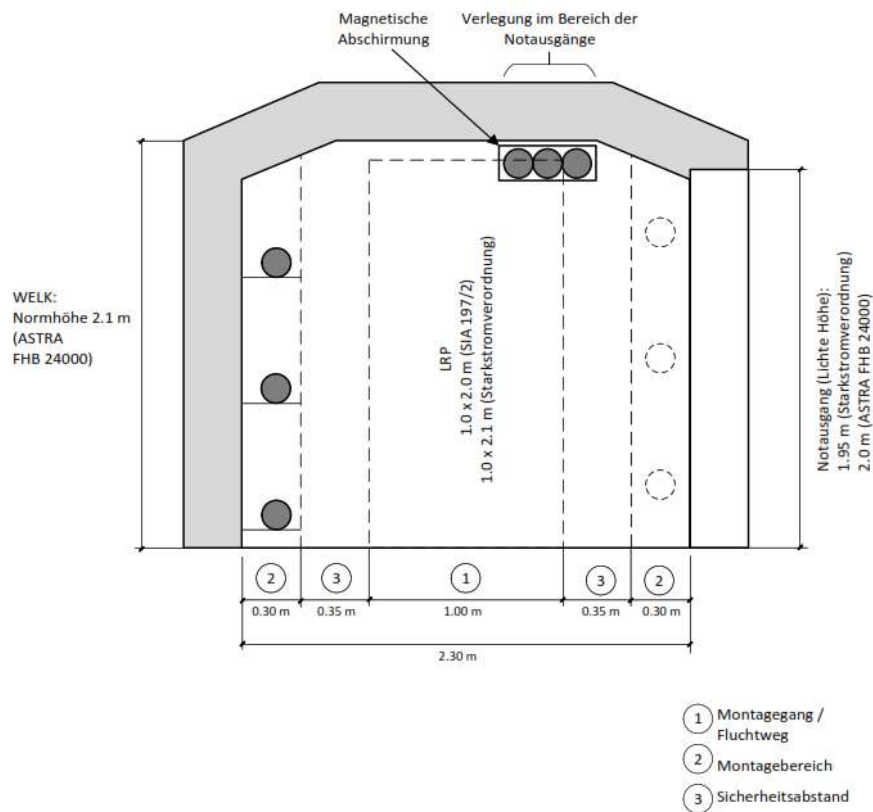
Eine mögliche Lösung ist ein durch eine Brandschutzmauer abgetrennter separater WELK für die Kabelanlage (Übertragungsleitung). Ein konkretes Beispiel hierzu ist die 2. Röhre des Gotthard-Strassentunnels, wo der WELK für die 380 kV-Leitung parallel zum betrieblichen WELK vorgesehen ist.

Eine im Endausbau als Doppelsystem vorgesehene Kabelanlage lässt sich im WELK beidseitig oder einseitig anordnen. Die Lösungsansätze sind unten schematisch dargestellt, die Vor- und Nachteile nachfolgend aufgeführt:

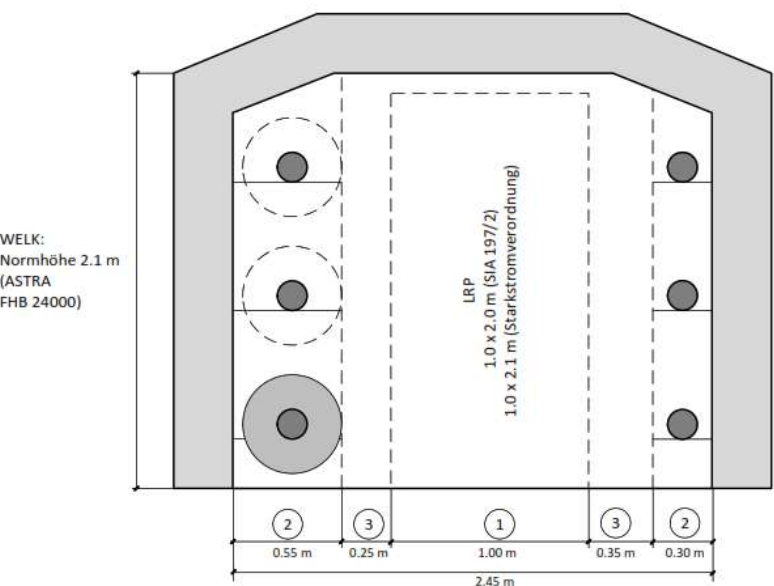
Anordnung der Kabelanlage im WELK Kabelanlage	Vorteile	Nachteile
beidseitig im Kanal	– thermisch günstig	– erfordert schwierige Leitungsumlegungen im Bereich der Fluchtwegabgänge – Lichtraumprofil des Gangs wird an dieser Stelle verletzt – erfordert ev. magnetische Abschirmung der Kabel nach innen, um den Grenzwert der Suva (500 μT) für die magnetische Flussdichte einzuhalten
einseitig im Kanal	– durchgehendes Leitungstrasse – ungehinderte seitliche Zugänge / Fluchtwegabgänge – Platzbedarf ist geringer	– thermisch ungünstiger – Anordnung der Fluchtwegabgänge ist nur auf einer Seite möglich

Leitungsanordnung beidseitig

WELK 380/220 kV
Querschnitt mit seitlichem Notausgang



WELK 380/220 KV
Querschnitt mit Muffenverbindungen



Beidseitig angeordnetes Doppelsystem

Informative Anhaltswerte zu den horizontalen Massen

Querschnitt	Breite Gang / Fluchtweg	Kabeltechnischer Nutzraum je System	Approximativer Sicherheitsabstand ¹	Lichte Breite WELK
Normalprofil	1.0 m ^{2,3} bis 1.5 m ⁴	ca. 30 cm (beidseits)	ca. 30-40 cm	2.3 – 2.8 m
Mit Muffenverbindungen	wie oben	ca. 55 cm (einseitig, andere Seite wie im Normalprofil)	ca. 20-30 cm	2.45 – 2.95 m

Informative Anhaltswerte zu den vertikalen Massen:

Querschnitt	Höhe Gang / Fluchtweg ⁵
Normalprofil	2.0 m ^{1,3} 2.1 m ²
Seitliche Fluchtwegabgänge	1.95 m ² 2.0 ³

¹ um den Grenzwert der Suva (500 µT) für die magnetische Flussdichte einzuhalten

² gemäss Norm SIA 197/2

³ gemäss Anhang 1 der Starkstromverordnung für Innenraumanlagen (Bedienungsgänge in Hochspannungsanlagen)

⁴ gemäss ASTRA-Merkblatt 24 001-10404 Werkleitungskanal (V2.03) vom 01.01.2015

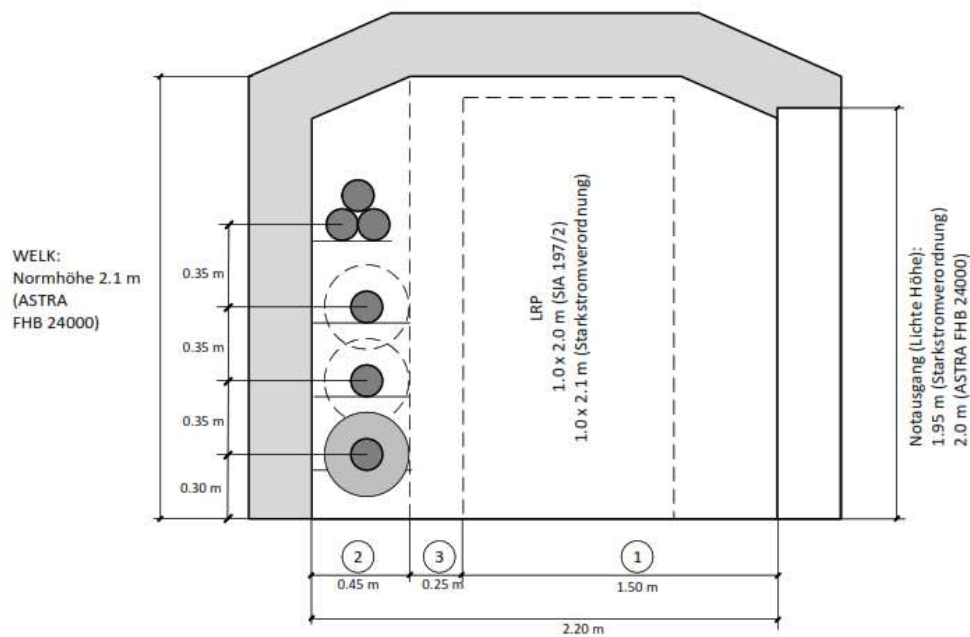
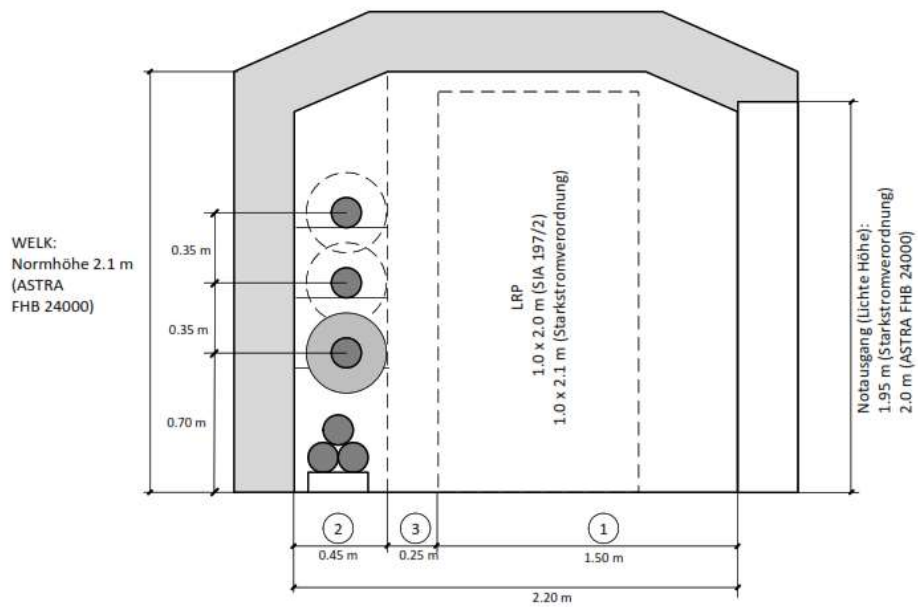
⁵ ausserhalb von Leitungsquerungen

Leitungsanordnung einseitig

WELK 380/220 kV

Querschnitt mit seitlichem Notausgang und
Muffenverbindungen

- Muffenverbindungen in Längsrichtung gestaffelt
- Muffendurchmesser 0.40 m



Einseitig angeordnetes Doppelsystem

Informative Anhaltswerte zu den horizontalen Massen:

Querschnitt	Breite Fluchtweg	Kabeltechnischer Nutzraum	Approximativer Sicherheits- abstand ¹	Lichte Breite WELK mit Kabelanlage
Normalprofil	1.5 m ⁴	ca. 40-50 cm	ca. 20-30 cm	bis 2.2 m
Mit Muffen- verbindungen	wie oben	wie oben	wie oben	wie oben

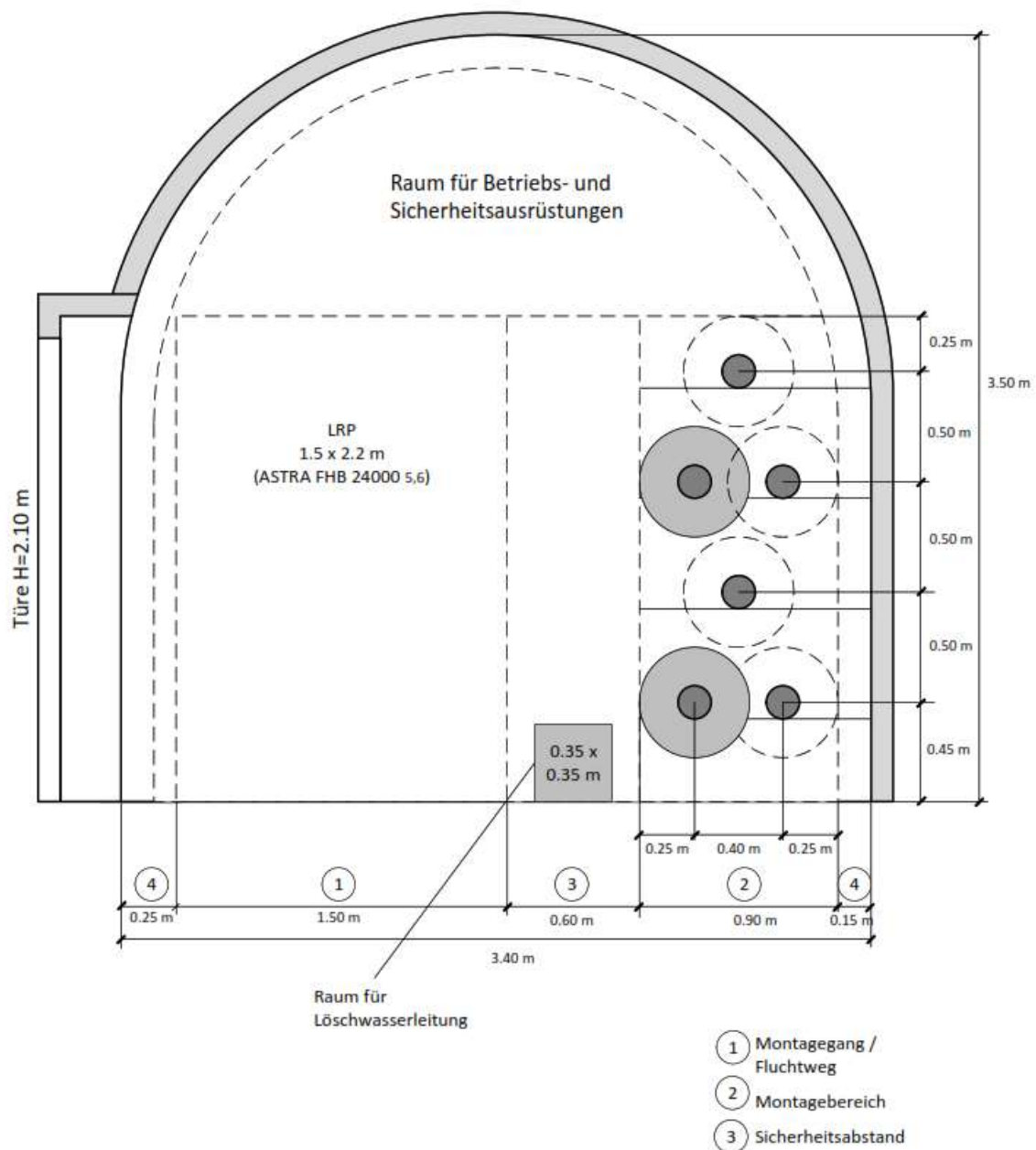
Informative Anhaltswerte zu den vertikalen Massen:

Querschnitt	Höhe Gang / Fluchtweg ⁴
Normalprofil	2.0 m ^{1, 3} 2.1 m ²
Seitliche Fluchtwegab- gänge	1.95 m ² 2.0 m ³



Anhang 4: Lösungsansatz zur Kabelverlegung in Sicherheitsstollen (Anordnung D)

380/220 kV in Sicherheitsstollen
Querschnitt mit seitlicher Querverbindung



⁶ gemäss ASTRA-Merkblatt 24 001-10706 Begehbare Querverbindungen (V2.03) vom 01.01.2015

⁷ gemäss ASTRA-Merkblatt 24 001-10707 Sicherheitsstollen, Fluchttollen (V2.03) vom 01.01.2015

380/220 kV in Sicherheitsstollen
Querschnitt mit seitlicher Querverbindung

