



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Der Bundesrat

Bern, 21. Juni 2017

---

# **Multifunktionale Nationalstrassen zur Entlastung der Landschaft**

Bericht des Bundesrates in Erfüllung des Postulats  
08.3017, Rudolf Rechsteiner, vom 4. März 2008

---

Referenznummer: COO.2093.100.5.369017

## **Impressum**

---

### **Herausgeber**

Schweizerischer Bundesrat

### **Projektleitung**

Bundesamt für Raumentwicklung ARE

### **Zitierweise**

Schweizerischer Bundesrat (2017): Multifunktionale Nationalstrassen zur Entlastung der Landschaft. Bericht vom 21. Juni 2017, Bern.

### **Bezugsquelle**

In elektronischer Form auf [www.are.admin.ch](http://www.are.admin.ch) erhältlich.

*Aus Gründen der besseren Lesbarkeit haben wir auf die Nennung der männlichen und weiblichen Form verzichtet. Es sind selbstverständlich immer beide Geschlechter gemeint.*

# Index

|  |            |
|--|------------|
| <b>Zusammenfassung</b> .....   | <b>1</b>   |
| <b>1. Einleitung</b> .....   | <b>2</b>   |
| 1.1. Präzisierung der Fragestellung .....  | 2          |
| 1.2. Vorgehen.....   | 4          |
| <b>2. Die Auswirkung einer multifunktionalen Nutzung beziehungsweise der Bündelung von linearen Infrastrukturen auf die Umwelt</b> .....                 | <b>5</b>   |
| 2.1. Verkehrs- und Energieinfrastrukturen: Überblick über die aktuelle Situation und räumliche Herausforderungen.....                                    | 5          |
| 2.2. Auswirkungen auf die Landschaft .....   | 6          |
| 2.3. Nichtionisierende Strahlung und Auswirkungen auf die Gesundheit .....   | 7          |
| <b>3. Rechtlicher und planerischer Kontext</b> .....   | <b>9</b>   |
| 3.1. Multifunktionalität und rechtliche Grundlagen.....  | 9          |
| 3.2. Berücksichtigung der multifunktionalen Nutzung und der Bündelung von Infrastrukturen in den aktuellen Raumplanungsinstrumenten auf Bundesebene .... | 11         |
| 3.3. Organisation und Koordination.....  | 12         |
| 3.4. Erste geografische Analyse einer möglichen multifunktionalen Nutzung.....   | 14         |
| <b>4. Technische, betriebliche und finanzielle Aspekte einer multifunktionalen Nutzung</b> .....   | <b>16</b>  |
| 4.1. Bautechnische Aspekte .....   | 16         |
| 4.2. Betriebliche Aspekte.....   | 18         |
| 4.3. Finanzielle Aspekte.....  | 18         |
| 4.4. Exkurs Gleichstromtechnik .....   | 19         |
| <b>5. Theoretisches Potenzial für eine multifunktionale Nutzung der Verkehrsinfrastrukturen in der Schweiz</b> .....                                     | <b>21</b>  |
| <b>6. Erfahrungen im In- und Ausland mit der multifunktionalen Nutzung bzw. der Bündelung von Infrastrukturen</b> .....                                  | <b>23</b>  |
| 6.1. Aktuelle Beispiele aus der Schweiz.....   | 23         |
| 6.2. Situation im Ausland .....  | 24         |
| <b>7. Schlussfolgerungen</b> .....   | <b>26</b>  |
| <b>Liste der Abkürzungen</b> .....   | <b>I</b>   |
| <b>Glossar</b> .....   | <b>II</b>  |
| <b>Literatur</b> .....   | <b>III</b> |
| <b>Anhänge</b> .....   | <b>VI</b>  |

## Zusammenfassung

Das Postulat 08.3017 Rechsteiner vom 4. März 2008 wirft die Frage nach der multifunktionalen Nutzung der linearen Hauptverkehrsinfrastrukturen, insbesondere der Nationalstrassen, in der Schweiz auf. Es fordert, dass die technischen und rechtlichen Aspekte der multifunktionalen Nutzung von Infrastrukturen untersucht werden, und stellt die Frage, welche Rolle die Gleichstromtechnologie in diesem Zusammenhang spielen könnte. Gemäss Nationalrat Rudolf Rechsteiner, der das Postulat eingereicht hat, sind die Landschaften in der Umgebung dieser Verkehrsachsen bereits stark belastet, unter anderem mit Anlagen wie Parkflächen, Lärmschutzwände oder Stützmauern. Diese Achsen könnten somit als Träger für andere grosse nationale Infrastrukturen, insbesondere für Hoch- und Höchstspannungsleitungen, herangezogen werden.

Der vorliegende Bericht gibt einen Überblick über diese verschiedenen Aspekte. Er stützt sich auf einen technischen Expertenbericht, der im Rahmen des Postulats in Auftrag gegeben wurde. Weiter wurden die Ergebnisse mehrerer Workshops und des Austauschs mit den betroffenen Akteuren mit einbezogen.

Die räumliche Konzentration von Infrastrukturen ist kein neues Thema. Allerdings hatte sich der Bund bisher noch nicht systematisch mit der Möglichkeit befasst, Autobahnen als Leistungsträger für andere Infrastrukturen von nationaler Bedeutung zu nutzen.

Jeder Abschnitt des Strassen- oder Eisenbahnnetzes weist spezifische Eigenschaften auf. Die bautechnischen, geografischen und finanziellen Aspekte unterscheiden sich je nach Typologie des betrachteten Abschnitts. Deshalb muss jede Situation einzeln beurteilt werden. Dennoch lassen sich einige allgemeine Schlussfolgerungen ziehen, die für das gesamte Verkehrsinfrastrukturnetz Gültigkeit haben:

- Die multifunktionale Nutzung der Infrastrukturen ist technisch möglich. Es wurden keine grösseren Hindernisse für ihre Umsetzung festgestellt. In bestimmten Fällen kann sie eine Lösung zur Entlastung der Landschaft oder für die Verlegung von Leitungen in dicht besiedelten Gebieten darstellen. Allerdings ist die multifunktionale Nutzung komplex, und zahlreiche Faktoren verhindern eine systematische und breite Umsetzung.
- Das Potenzial für eine multifunktionale Nutzung in den einzelnen Regionen hängt von verschiedenen Faktoren ab: Typologie der betroffenen Gebiete, Existenz bestehender Werke, verfügbarer Raum und Netzkompatibilität. Das grösste Potenzial für eine gemeinsame Planung der Infrastrukturen bietet sich bei umfangreichen Unterhaltsarbeiten und beim Bau neuer Abschnitte oder neuer grosser Bauwerke (z. B. Tunnel oder Umfahrung von Ortschaften). Die Verlegung von Stromleitungen in bestehenden Infrastrukturen, die keine Sanierung benötigen, ist zwar machbar, aber sehr schwierig und wird in der Regel nicht empfohlen.
- Das Eisenbahnnetz eignet sich insgesamt weniger gut für eine multifunktionale Nutzung als das Strassennetz. Dies liegt insbesondere daran, dass seine Trassen deutlich schmaler sind als jene der Nationalstrassen. Auch bautechnische Fragen spielen eine Rolle.
- Mit einer strikt sektoriellen Planung der drei Netze (Strom-, Strassen- und Bahnnetz) ist keine Gesamtsicht möglich. Ausserdem erschwert sie die Analyse der für eine multifunktionale Nutzung vorhandenen Synergien.

Damit die Umsetzung von multifunktionalen Infrastrukturen möglichst grosse Chancen hat, müssen die Synergien, die sich bei umfangreichen Unterhaltsarbeiten oder beim Bau neuer Abschnitte oder grosser Bauwerke bieten, erkannt und genutzt werden. Dabei handelt es sich um ein multisektorielles Vorgehen, das einer verstärkten Abstimmung zwischen mehreren Bundesbehörden – und zwar bereits in den ersten Planungsphasen – bedarf. Der Bundesrat unterstützt dieses Vorgehen und beauftragt das UVEK, einmal jährlich eine prospektive Übersicht über die Projekte der drei Netze (Strom-, Strassen- und Bahnnetz) zu erstellen und ihr Potenzial für eine Bündelung und multifunktionale Nutzung systematisch zu analysieren.

# 1. Einleitung

Das Postulat 08.3017 Rechsteiner vom 4. März 2008 fordert den Bund auf, die multifunktionale Nutzung von Nationalstrassen auf wissenschaftlichem Niveau zu klären, um die Landschaft zu entlasten und Bodenverluste zu minimieren. Der Bundesrat hat am 21. Mai 2008 die Annahme des Postulates beantragt. Das Postulat wurde am 8. März 2010 vom Nationalrat angenommen.

## **Postulat 08.3017 Rechsteiner**

### *Mitunterzeichnende:*

Daguet André, Fehr Hans-Jürg, Fässler-Osterwalder Hildegard, Galladé Chantal, Heim Bea, Hofmann Urs, Lumengo Ricardo, Marra Ada, Stöckli Hans, Widmer Hans (10)

### *Eingereichter Text:*

Der Bundesrat wird beauftragt, einen Bericht zu erstellen, der die multifunktionale Nutzung von Nationalstrassen auf wissenschaftlichem Niveau klärt:

1. Inwiefern können die Nationalstrassen als Leistungsträger für Infrastrukturen von nationaler Bedeutung herangezogen werden, insbesondere
  - a. Als Trassen für erdverlegte oder allenfalls auch oberirdische Stromnetze mittlerer und hoher Spannung?
  - b. Als Träger weiterer Infrastrukturen wie Netze, Rohrleitungen, Mobilfunkantennen, Energiegewinnung usw.?
2. Welche rechtlichen Modelle sind geeignet, eine sachgerechte Multifunktionalität unter Verrechnung der Kosten nach dem Nutzerprinzip herbeizuführen?
3. Welche Möglichkeiten bestehen, Bewilligungsverfahren für erdverlegte Netze zu beschleunigen?
4. Kann der Bericht unparteiisch darlegen, inwiefern erdverlegte Stromnetze Energieverluste und Elektromog reduzieren, und welche Rahmenbedingungen gelten müssen, damit dies tatsächlich stattfindet? Kann der Bericht auch darlegen, inwiefern Gleichstromtechnologie helfen könnte, Energieverluste zu senken und Netzkapazitäten auszuweiten?
5. Könnte die von ABB entwickelte Gleichstromtechnik («HVDC light») in der Schweiz zur Beseitigung von Engpässen und Elektromog beitragen?
6. Wie wird das Problem der Multifunktionalität von Autobahnen in anderen Ländern gelöst?
7. Welche weiteren Rahmenbedingungen sind nötig, um an sensiblen Stellen eine Entlastung der Landschaft und der Anwohner zu erreichen?

## **1.1. Präzisierung der Fragestellung**

Wie der Bundesrat in seiner Stellungnahme vom 21. Mai 2008 klargestellt hat, unterstützt er den Grundsatz der Bündelung von Infrastrukturanlagen, weil auf diese Weise eine haushälterische Bodennutzung erzielt werden kann.

Der vorliegende Bericht soll sich in erster Linie auf bestehende Wissenslücken konzentrieren (Ziff. 1, Ziff. 2, Ziff. 6 und Ziff. 7). Insbesondere werden die Entlastung der Landschaft durch die Umsetzung der multifunktionalen Nutzung der linearen Verkehrsinfrastrukturen sowie die damit verbundenen technischen und rechtlichen Bedingungen einer Bündelung eingehend untersucht. Zu den Themen Bewilligungsverfahren (Ziff. 3), Senkung der Energieverluste und Verminderung des Elektromogs durch erdverlegte Stromnetze (Ziff. 4) und Gleichstromtechnik (Ziff. 4 und 5) liegen bereits zahlreiche

Untersuchungen vor. Da der Bund sich bereits mit diesen drei Themen befasst und Berichte<sup>1</sup> dazu verfasst hat, behandelt der vorliegende Bericht diese nur punktuell.

Hauptsächlich zielt das Postulat darauf ab, die Entlastung der Landschaft mittels der Bündelung von Energieübertragungsinfrastrukturen von nationaler Bedeutung mit den Hauptverkehrsachsen in Form einer multifunktionalen Nutzung zu fördern. Das im Postulat vorgezeichnete Schwergewicht auf die Stromnetze wird mit Blick auf die nationale Bedeutung so präzisiert, dass der Bericht auf die Hochspannungsleitungen der Netzebene 1 (NE1; Höchstspannung; Spannung  $\geq 220$  kV) fokussiert, obwohl die Resultate auch für die Leitungen der Netzebene 3 (NE3; Höchstspannung; Spannung von 36 bis 150 kV) gelten können. Die tieferen Netzebenen 5 (NE5; Mittelspannung; Spannung von 1 bis 36 kV) und 7 (NE7; Niederspannung; Spannung von 0,1 bis 1 kV) dienen der Feinverteilung und werden heutzutage in der Regel bereits als Kabelleitungen realisiert (zukünftig wird wohl auch die NE3 in der Regel verkabelt werden)<sup>2</sup>. Weitere lineare Infrastrukturen wie Erdgashochdruckleitungen, Ölleitungen und das Glasfasernetz werden insbesondere aufgrund ihrer begrenzten Auswirkungen auf Landschaft und Anwohner (vgl. Ziffer 7 des eingereichten Postulatstexts) im Rahmen dieses Berichts nicht untersucht. Dasselbe gilt für Mobilfunkantennen und Anlagen zur Energiegewinnung (Photovoltaik), die heute bereits standardmässig mit anderen Bauten und Infrastrukturen kombiniert werden.

Die vom Postulat vorgeschlagene multifunktionale Nutzung der Nationalstrassen<sup>3</sup> im Sinne einer Optimierung und einer Entlastung der Landschaft entspricht dem Bedürfnis, Infrastrukturnetze – insbesondere vor dem Hintergrund eines zunehmenden Bedarfs nach neuen Infrastrukturen – integral zu betrachten und wenn immer möglich zu bündeln. Die Bündelung<sup>4</sup> und insbesondere die multifunktionale Nutzung, d. h. Verkabelung von Hochspannungsleitungen unterhalb von oder direkt neben Verkehrsinfrastrukturen, kann zu einer Verminderung von Bodenverlusten bzw. der tendenziell steigenden Zerstückelung der Lebensräume und zu einer direkten Aufwertung der Landschaft beitragen.

Das Thema der Bündelung von Infrastrukturen bzw. der multifunktionalen Nutzung betrifft nicht nur die Nationalstrassen, sondern auch die Eisenbahnlinien<sup>5</sup>. Da das schweizerische Strassen- und Schienennetz heute zu den dichtesten Verkehrsnetzen Europas gehört, ist es grundsätzlich sinnvoll, die bestehenden Hauptverkehrsinfrastrukturen als Leistungsträger für andere lineare Energieübertragungsinfrastrukturen von nationaler Bedeutung zu nutzen. Ob und wie das möglich ist, wird in diesem Bericht sowohl in technischer als auch in planerischer Hinsicht erörtert. Der Fokus liegt dabei auf der multifunktionalen Nutzung von Nationalstrassen.

Energieübertragungsinfrastrukturen entlang von Verkehrsachsen zu bündeln bedeutet allerdings nicht automatisch eine Verkabelung. Die Verkabelung kann zu hohen Kosten und ebenfalls zu einer Beeinträchtigung des Bodens führen<sup>6</sup>. Aufgrund dieser potenziellen Beeinträchtigungen resp. der rechtlichen Vorgaben ist z. B. der Bau von Erdkabeln in Moorbiotopen oder in bestimmten Grundwasserschutzzonen ausgeschlossen, ebenso im Wald (permanente Rodungen mit grossen Schneisen). Unbestritten ist, dass eine Verkabelung die Landschaft entlasten und sehr häufig auch wirtschaftlich sinnvoll sein kann (Vonwil R. 2014). Gemäss Botschaft zum Bundesgesetz über den Um- und Ausbau der Stromnetze (Schweizerischer Bundesrat. 2016a. Kapitel 1.2.4 und Kapitel 2.1) und dem entsprechenden Gesetzesentwurf (Bundesgesetz über den Um- und Ausbau der Stromnetze) soll für Stromleitungen der Netzebenen 3, 5 und 7 eine Verkabelungsvariante dann vorgezogen werden, wenn

<sup>1</sup> Z. B. Hürlimann B. et al. 2014 und BUWAL. 2005.

<sup>2</sup> Das Schweizer Stromnetz unterteilt sich in sieben Netzebenen. Für mehr Informationen: [www.swissgrid.ch](http://www.swissgrid.ch) > Netz > Übertragungsnetz > Netzebenen.

<sup>3</sup> Im Rahmen der Arbeiten wurden die Nationalstrassen der Klasse I und II betrachtet. Per Analogie könnten auch andere Strassenstrecken berücksichtigt werden, die nicht im Nationalstrassennetz sind, aber die über gleichwertige Eigenschaften verfügen.

<sup>4</sup> Im Rahmen der Arbeiten wird der Begriff «Multifunktionale Nutzung» wie auch der allgemeinere Begriff «Bündelung» verwendet: Unter Bündelung von Infrastrukturen wird in diesem Bericht eine räumliche Nähe von mehreren Verkehrs- oder Energieübertragungsinfrastrukturen verstanden. Unter einer multifunktionalen Nutzung von Nationalstrassen wird in diesem Bericht die Mehrfachnutzung des Nationalstrassenareals verstanden, d. h. das Nationalstrassenareal beherbergt mindestens einen anderen Infrastrukturstyp. Weil mit der Mehrfachnutzung von Grundstücken zusätzliche Herausforderungen verbunden sind, wird an verschiedenen Stellen zwischen Bündelung und Multifunktionalität unterschieden.

<sup>5</sup> Gemäss Postulatstext liegt das Schwergewicht auf dem Zusammenspiel von Nationalstrassen und Stromnetzen, d. h. von zwei linearen Infrastrukturen. Mit Blick auf die Bundeskompetenzen im Bereich linearer Verkehrsinfrastrukturen sollen auch die Eisenbahnlinien auf die Möglichkeiten einer Bündelung mit dem Stromnetz untersucht werden (entspricht der Einschätzung der Arbeitsgruppe). Die Bündelung von Nationalstrasse und Schiene bzw. von Hochspannungsleitungen untereinander soll hingegen nicht betrachtet werden.

<sup>6</sup> «Die AG LVS hat sich auch intensiv mit der Frage der erdverlegten Leitungen gegenüber Freileitungen auseinandergesetzt. Dazu wurden Experten aus Deutschland und Österreich eingeladen, welche die Vor- und Nachteile der Verkabelung gegenüber der Freileitung aus technischer, finanzieller und politischer Sicht darlegten. Die Schlussfolgerungen der AG LVS sind, dass sowohl erdverlegte Leitungen wie auch Freileitungen teilweise mit Nachteilen für die Umwelt verbunden sind. Es braucht in jedem konkreten Fall eine sorgfältige Umweltgüterabwägung» (BFE. 2007).

deren Bau und Betrieb die Gesamtkosten einer gleichwertigen Freileitungsvariante um einen bestimmten Faktor nicht überschreitet.

## 1.2. Vorgehen

Die Bündelung von Verkehrs- und Energieübertragungsinfrastrukturen betrifft mehrere Bundesämter und -stellen bzw. Infrastrukturbetreiber und wirft verschiedene technische, betriebliche, organisatorische und rechtliche Fragen auf. Zur Bearbeitung des Postulats hat das ARE 2015 eine Arbeitsgruppe eingesetzt, in der ASTRA, BAFU, BAV, BFE sowie ESTI, Swissgrid und EICom<sup>7</sup> vertreten waren.

In einem Expertenbericht wurden Grundlagen für die bautechnischen, betrieblichen, organisatorischen sowie juristischen Herausforderungen und Rahmenbedingungen für eine multifunktionale Nutzung von nationalen Verkehrsinfrastrukturen (mit Akzent auf die Nationalstrassen) zusammengestellt. Dabei wurde geklärt, ob die Nationalstrassen als Leistungsträger für Energieinfrastrukturen von nationaler Bedeutung unter Berücksichtigung ausgewählter Kriterien in Frage kommen<sup>8</sup>. Weitere Bereiche, wie etwa die Auswirkung und allfällige Einschränkungen bezüglich Biodiversität, Luft, Wasser, Wald, baukulturelle Erbe und Archäologie wurden nicht untersucht. Im Rahmen dieses Mandats wurden die mit einer multifunktionalen Nutzung der Infrastrukturen verbundenen Aspekte in sechs Hauptkategorien (bautechnische, geografische, organisatorische und zeitlich-koodinatorische, betriebliche, juristische und finanzielle Hindernisse) unterteilt, die bei der Umsetzung der multifunktionalen Nutzung von Bedeutung sind<sup>9</sup>.

---

<sup>7</sup> Nach der ersten Kick-off-Sitzung hat die EICom entschieden, auf weitere Teilnahmen in der Arbeitsgruppe zu verzichten, da sie von dieser Problematik nicht schwergewichtig betroffen ist.

<sup>8</sup> OPAN concept SA (2016): Rapport d'experts externes sur les enjeux technico-constructifs, d'exploitation, organisationnels et juridiques ainsi que les conditions cadres pour une utilisation multifonctionnelle des infrastructures de routes nationales et/ou des réseaux ferroviaires. Rapport final. Zur besseren Lesbarkeit wurde auf ein systematisches Zitieren der übernommenen Inhalte verzichtet.

<sup>9</sup> Die mit der Verlegung von Hochspannungsleitungen in einer linearen Verkehrsinfrastruktur verbundenen Aspekte gestalten sich je nach Situation sehr unterschiedlich. Diese Studie befasste sich deshalb mit drei spezifischen Fällen: 1. Verlegen von NE1-Kabeln in Neubauten, 2. Verlegen von NE1-Kabeln bei umfangreichen Unterhaltsarbeiten und 3. Verlegen von NE1-Kabeln in bestehenden Infrastrukturen.

Die Studie der OPAN concept SA (2016) behandelte jeden dieser drei Fälle vertieft. Der vorliegende Bericht beschränkt sich darauf, die wichtigsten Ergebnisse dieser Studie zu präsentieren.

## **2. Die Auswirkung einer multifunktionalen Nutzung beziehungsweise der Bündelung von linearen Infrastrukturen auf die Umwelt**

*Dieses Kapitel befasst sich hauptsächlich mit den Umweltbestandteilen «Landschaft» und «nichtionisierende Strahlung» (Elektrosmog). Zahlreiche Bereiche – beispielsweise Biodiversität, Luft, Gewässer, Wald sowie kulturelles und archäologisches Erbe – werden hier nicht berücksichtigt.*

### **2.1. Verkehrs- und Energieinfrastrukturen: Überblick über die aktuelle Situation und räumliche Herausforderungen**

Das Nationalstrassennetz wurde im Verlauf des vergangenen Jahrhunderts gebaut und ist heute im Wesentlichen erstellt. Die Verbesserung der Infrastrukturen in den letzten Jahrzehnten hat zu Überlastungseffekten geführt, die ihrerseits neue Infrastrukturanpassungen erforderlich machen. So ist im Rahmen der aktuellen Programme zur Infrastrukturverbesserung eine Engpassbeseitigung vorgesehen. Diese Arbeiten auf Ebene der Infrastrukturen und die periodisch geplanten, umfangreichen Sanierungen bieten neue Möglichkeiten für die Bündelung von Infrastrukturen.

Mit Blick auf die Zukunft hat der Bund 2010 den Sachplan Verkehr, Teil Infrastruktur Schiene (SIS), erarbeitet und stellt derzeit den Sachplan Verkehr, Teil Infrastruktur Strasse (SIN), fertig. Mit diesen Sachplänen soll die Infrastrukturplanung des Bundes optimal koordiniert werden. Der Teil Programm des Sachplans Verkehr, der gegenwärtig revidiert wird, soll eine Gesamtsicht der Verkehrsinfrastrukturen im Hinblick auf die anzustrebende räumliche Entwicklung präsentieren.

Bereits 2001 verfügte der Bund über den Sachplan Übertragungsleitungen (SÜL), das übergeordnete Planungs- und Koordinationsinstrument für den Aus- und Neubau der Hochspannungsleitungen der allgemeinen Stromversorgung (Spannungsebenen 220 kV und 380 kV). Die Infrastrukturen der Bahnstromversorgung (132 kV) werden im SIS festgelegt.

#### **Energieinfrastrukturen**

In einem sich wandelnden politischen Umfeld werden in der Schweiz in den kommenden zwanzig Jahren zahlreiche energiepolitische Herausforderungen zu bewältigen sein. In der Übergangszeit zwischen dem Atomausstieg, der im Rahmen der Energiestrategie 2050 vorgesehen ist, und der Ablösung der Kernenergie durch die erneuerbaren Energien werden sich grosse Veränderungen für das Stromübertragungsnetz ergeben<sup>10</sup>. Aufgrund der Veränderungen in der Energieproduktion werden sich auch die Anforderungen an das Netz entwickeln. Neben den routinemässigen Arbeiten zur Netzsanierung werden sich durch die Veränderungen auf Ebene der Energieübertragungsinfrastruktur neue Möglichkeiten für eine Bündelung von Infrastrukturen ergeben.

Zur langfristigen Sicherstellung der Versorgungssicherheit hat der Bundesrat 2013 im Rahmen der Energiestrategie 2050 das Detailkonzept zur Strategie Stromnetze verabschiedet. Dieses Instrument soll die Netzentwicklung besser strukturieren (BFE. 2016) und die Versorgungssicherheit gewährleisten (siehe auch Schweizerischer Bundesrat. 2016a). Diese Strategie ist ein zentrales Element der Umsetzung der Energiestrategie 2050 (ES2050).

---

<sup>10</sup> Dieses fast 7000 km lange Übertragungsnetz transportiert Hoch- und Höchstspannungsstrom über lange Strecken (BFE. 2016) und besteht fast ausschliesslich aus Freileitungen. Häufig ist es schwierig, diese Infrastruktur – wie es von verschiedenen politischen Akteuren gewünscht wird – besser in die Landschaft zu integrieren. Erdkabel sind für die Energieübertragung weit verbreitet, allerdings fast ausschliesslich in regionalen Verteilnetzen (Swissgrid. 2013).

## Fazit

Die Verkehrs- und Energieinfrastrukturen haben häufig besonders grosse räumliche Auswirkungen. Da es zunehmend schwieriger wird, Trassen für neue Infrastrukturen zu finden, müssen wir frühzeitig Korridore für ihre künftige Weiterentwicklung freihalten. Im Interesse einer haushälterischen Nutzung des verfügbaren Raums und der Verringerung der Raum- und Umweltauswirkungen muss die Bündelung von Infrastrukturen gefördert werden (GS-UVEK. 2010<sup>11</sup>).

## 2.2. Auswirkungen auf die Landschaft

Die Landschaften der Schweiz werden durch verschiedenste Akteure und Prozesse geprägt, was ihnen eine grosse Vielfalt und Dynamik verleiht. Sie bilden ein räumliches Mosaik von Natur- und Kulturelementen und weisen allgemein eine hohe Qualität auf.

Die Landschaft erbringt sehr wichtige Leistungen für die Gesellschaft und Umwelt, aber auch für die Wirtschaft. Der ökonomische Wert der Landschaft für den Tourismus wurde auf 68 bis 79 Milliarden Schweizer Franken geschätzt (SECO. 2002 und BAFU. 2015). Die Verkehrs- und Energieinfrastrukturen können die Landschaft schwerwiegend und grossräumig beeinträchtigen (Stuber. 2008). Diese Infrastrukturen verursachen auch externe Kosten in Form von Beeinträchtigungen der Landschafts- und Siedlungsqualität (Ecoplan, Infrac. 2014) sowie – bei Emission von nichtionisierender Strahlung – potenzielle Gesundheitsrisiken für die Bevölkerung<sup>12</sup>. Durch den ständig wachsenden Infrastrukturbedarf steigt der Druck auf die Landschaft, was sich direkt auf die Lebensqualität auswirkt. Der Landschaftsaspekt muss deshalb im Rahmen der Raumentwicklungspolitik unbedingt berücksichtigt werden.

Der Boden ist eine beschränkte Ressource, während der Raumbedarf (für Wohnen, Arbeiten, Freizeit, Mobilität usw.) ständig wächst. Aufgrund der Topografie der Schweiz und insbesondere der Alpenkette wurden die grossen Verkehrsinfrastrukturen vor allem im Flachland angelegt. In bestimmten Gebieten hat dies zu einer Überlastung einiger dieser Infrastrukturen geführt. Die hohe Siedlungsqualität und die guten Infrastrukturen – insbesondere auch im Verkehrsbereich – haben zu einer grossen Standortattraktivität beigetragen. Dies hat zu einem wachsenden Infrastrukturbedarf geführt (Schweizerischer Bundesrat, KdK, BPUK, SSV, SGV. 2012. S. 4, und GS-UVEK. 2010). Neben der Ausdehnung der Siedlungen beeinträchtigen vor allem die Energie- und Verkehrsinfrastrukturen die Landschaft. Die von der Entwicklung der grossen Verkehrs- und Energieinfrastrukturen besonders stark geprägten Gebiete verlieren an Qualität. Ihr Wert in Bezug auf Wohlbefinden, räumliche Identifikation und Attraktivität nimmt ab. Die Landschaft – deren Rolle für die Lebensqualität oft unterschätzt wird – steht somit unter Druck.

Die Grundsätze der Bündelung von Infrastrukturen (Bau von Hochspannungsleitungen entlang von linearen Verkehrsinfrastrukturen) und der multifunktionalen Nutzung der Verkehrsnetze (Verkabelung von Hochspannungsleitungen unterhalb von oder direkt neben linearen Verkehrsinfrastrukturen) ermöglichen es, die Landschaftsbeeinträchtigungen zu reduzieren und insbesondere die sensibelsten Stellen zu schützen<sup>13</sup>.

Die Landschaft entlang der Hauptverkehrsachsen wird bereits vielfach belastet (Lärm, Luft- und Lichtverschmutzung usw.). Wie auch ihre Ökosysteme ist sie stark fragmentiert und häufig topografisch verändert. Durch die Bündelung von Verkehrs- mit Energieinfrastrukturen können die Infrastrukturanlagen in Gebieten mit geringeren Landschaftsqualitäten konzentriert und so die noch intakten Landschaften erhalten werden.

---

<sup>11</sup> Dieser Bericht hält weiter fest, dass dabei «auch die vertikale Dimension mit einzubeziehen» ist; dieser Grundsatz entspricht den Vorschlägen des Postulats Rechsteiner voll und ganz.

<sup>12</sup> Die Energieinfrastrukturen, insbesondere die Leitungen der NE1, erzeugen nichtionisierende elektromagnetische Strahlung, vgl. Kapitel 2.3. Beim heutigen Stand der Wissenschaft ist unklar, ob und inwieweit die im Alltag vorhandene schwache nichtionisierende Strahlung langfristig gesundheitsschädlich ist. Es gibt wenige Studien zu den Risiken, und die Ergebnisse sind widersprüchlich. Im vorliegenden Bericht wird nicht näher auf dieses Thema eingegangen.

<sup>13</sup> Dieser in Frage 7 des Postulats erwähnte Begriff muss interpretiert werden. Im Sinne des Postulats Rechsteiner entsprechen diese sensiblen Stellen insbesondere den Wohngebieten, die durch Hochspannungsleitungen erzeugter nichtionisierender Strahlung ausgesetzt sind, sowie besonders schutzwürdigen Landschaften, die wichtige Erholungsräume für die Allgemeinheit darstellen.

## **Fazit**

Jede Verkehrs- und Energieinfrastruktur beeinträchtigt die Landschaft. Durch die Bündelung von Infrastrukturen und insbesondere die multifunktionale Nutzung der Verkehrsinfrastrukturen kann den landschaftsschützerischen Anforderungen Rechnung getragen werden<sup>14</sup>.

## **2.3. Nichtionisierende Strahlung und Auswirkungen auf die Gesundheit**

In den 1990er-Jahren wurden die ersten internationalen Empfehlungen zum Schutz vor bekannten gesundheitsschädigenden Auswirkungen von nichtionisierender Strahlung (NIS) erarbeitet. In der Schweiz wurde am 1. Februar 2000 die auf dem Umweltschutzgesetz basierende Verordnung vom 23. Dezember 1999 über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV; SR 814.710) in Kraft gesetzt.

### **Schutz vor nichtionisierender Strahlung**

Elektrische Leitungen für die Übertragung von Wechselstrom erzeugen niederfrequente elektrische und magnetische Felder. Von beiden Feldtypen ist bekannt, dass sie im menschlichen Körper elektrische Ströme auslösen, welche bei ausreichender Stärke letal sein können. Gegen solche nachgewiesenen Risiken schützen die Immissionsgrenzwerte (IGW) der NISV. Diese sind überall und jederzeit einzuhalten, wo sich Menschen, auch nur kurzfristig, aufhalten können, so auch auf der Fahrbahn einer Nationalstrasse.

Da aus wissenschaftlicher Sicht Ungewissheit über allfällige unerwünschte Langzeitauswirkungen auch bei sehr schwachen Immissionen besteht, kommt zusätzlich das Vorsorgeprinzip des Umweltschutzgesetzes zur Anwendung. Demzufolge sind Emissionen grundsätzlich und unabhängig von ihrer Höhe so weit zu begrenzen, als dies technisch und betrieblich möglich und wirtschaftlich tragbar ist. Der Bundesrat hat diesen Grundsatz in der NISV in Form von technischen Anforderungen und sogenannten Anlagegrenzwerten (AGW) konkretisiert. Er hat sich dabei einerseits auf die Begrenzung des Magnetfelds fokussiert, weil Langzeitwirkungen in erster Linie mit diesem Feld in Verbindung gebracht werden, andererseits auf sogenannte Orte mit empfindlicher Nutzung (OMEN). Es sind dies diejenigen Orte, wo Menschen dauerhaft der Strahlung ausgesetzt sein können, z. B. Wohnräume, Arbeitsplätze in Gebäuden, Schulräume und Kinderspielplätze. An diesen Orten darf das Magnetfeld einer Hochspannungsleitung den Anlagegrenzwert von 1 Mikrottesla (1  $\mu\text{T}$ ) nicht überschreiten (Anhang 1 Ziffer 1 NISV). Der Perimeter einer Nationalstrasse oder einer Eisenbahnlinie gilt nicht als OMEN.

### **Freileitungen**

Freileitungen erzeugen in der zugänglichen Umwelt sowohl ein elektrisches als auch ein magnetisches Feld. Beide Felder sind unmittelbar unter der Leitung am stärksten und schwächen sich mit zunehmendem Abstand von der Leitungsachse ab. Um den IGW für das elektrische Feld einer Wechselstromfreileitung einzuhalten, ist eine Mindesthöhe der Leiterseile über Boden erforderlich. Diese hängt von der Spannung und der Anordnung der Leitung ab. Der IGW für das Magnetfeld (100  $\mu\text{T}$ ) wird unter und neben Freileitungen 1 m über Boden (wo Menschen sich aufhalten können) nie erreicht; es sind für dessen Einhaltung deshalb keine besonderen Massnahmen erforderlich. Bei Wechselstrom-Freileitungen ist an OMEN zusätzlich der AGW für das Magnetfeld einzuhalten. Abschirmungen sind in der Regel nicht möglich, so dass die wichtigste Massnahme eine ausreichende Distanz der Leitung zu diesen OMEN ist. Bei Freileitungen der NE1 beträgt dieser Abstand typischerweise 40 bis 80 m (BUWAL. 2005. S. 27)<sup>15</sup>.

### **Kabelleitungen**

Erdverlegte Kabelleitungen erzeugen an der Erdoberfläche nur ein magnetisches, jedoch kein elektrisches Feld, da Letzteres durch den Kabelschirm und das Erdreich vollständig abgeschirmt wird.

<sup>14</sup> Der Landschaftsschutz wird in verschiedenen gesetzlichen Grundlagen thematisiert: im Bundesgesetz vom 22. Juni 1979 über die Raumplanung (RPG; SR 700), in der Raumplanungsverordnung vom 28. Juni 2000 (RPV; SR 700.1), im Bundesgesetz vom 1. Juli 1966 über den Natur- und Heimatschutz (NHG; SR 451) sowie im Landschaftskonzept Schweiz (BUWAL et al. 1998). Nähere Informationen dazu finden sich in Kapitel 3.2.

<sup>15</sup> Die Technik zur Übertragung von elektrischer Energie mittels Gleichstrom wird separat im Kapitel 4.4 behandelt.

Das Magnetfeld ist unmittelbar über dem Kabel am höchsten und kann dort unter Umständen höhere Werte erreichen als unter einer Freileitung derselben Spannungsebene und Übertragungskapazität. Im Gegensatz zur Freileitung hat das Magnetfeld einer Kabelleitung jedoch eine wesentlich kleinere räumliche Ausdehnung. Der relevant mit einem Magnetfeld belastete Korridor ist deshalb deutlich schmäler als bei einer Freileitung. Eine Wechselstrom-Kabelleitung muss ausreichend tief im Boden verlegt werden, damit der IGW für das Magnetfeld bei max. 20 cm über Terrain eingehalten werden kann. Bei knappen Platzverhältnissen lässt sich das Magnetfeld durch den Einbau einer Abschirmung verringern. Zusätzlich muss an OMEN der AGW für das Magnetfeld eingehalten sein, was angesichts des schmalen Korridors von 6 bis 10 m (Swissgrid, 2017) mit relevanter Belastung durch das Magnetfeld in der Regel einfacher erfüllbar ist als bei einer Freileitung.

### **Fazit**

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass einer Bündelung von elektrischen Übertragungsleitungen entlang von Nationalstrassen aus Sicht des Schutzes vor nichtionisierender Strahlung nichts Grundsätzliches entgegensteht. Bei multifunktionaler Nutzung müssen Wechselstrom-Kabelleitungen in ausreichender Tiefe verlegt und gegebenenfalls abgeschirmt werden. Im Falle von Wechselstrom-Freileitungen sind ausreichende Abstände zum Boden und zu den an die Nationalstrasse angrenzenden Orten mit empfindlicher Nutzung einzuhalten.

## 3. Rechtlicher und planerischer Kontext

### 3.1. Multifunktionalität und rechtliche Grundlagen

#### ***Multifunktionalität und rechtliche Modelle***

Die multifunktionale Nutzung ist rechtlich nicht explizit geregelt, stützt sich aber indirekt auf verschiedene rechtliche Grundlagen. Bei den im Postulat angesprochenen Infrastrukturen wurden in der Vergangenheit verschiedene rechtliche Modelle zum Erreichen eines ausreichenden Investitionsschutzes angewandt. Dabei stehen privatrechtliche Verträge im Vordergrund<sup>16</sup>. Für Hochspannungsleitungen werden in der Regel Durchleitungsverträge abgeschlossen, die als Dienstbarkeiten (Servitute) im Grundbuch eingetragen werden (bei Freileitungen fakultativ, vgl. Art. 676 Abs. 3 ZGB). Können die notwendigen Rechte nicht einvernehmlich eingeholt werden, steht der Netzgesellschaft das Enteignungsrecht zu (vgl. Art. 43 des Bundesgesetzes vom 24. Juni 1902 betreffend die elektrischen Schwach- und Starkstromanlagen, EleG; SR 734.0).

Bei Nationalstrassen ist der Bund bzw. das ASTRA Eigentümer der Strassenparzellen<sup>17</sup>. Das Recht zur Benutzung dieser Grundstücke, die der öffentlichen Nutzung gewidmet sind, für Leitungen wird in der Regel in Form von Bewilligungen erteilt. Im Falle der Eisenbahnen sind die Transportunternehmungen (SBB und weitere) Eigentümer der Parzellen. Die Inanspruchnahme solcher Grundstücke für Leitungen wird in der Regel mit Dienstbarkeitsverträgen geregelt. Bezüglich Kostenaufteilung einer denkbaren multifunktionalen Nutzung finden sich keine Bestimmungen in den entsprechenden Spezialgesetzen. Es gibt deshalb keine allgemeingültigen rechtlichen Modelle für die Kostenaufteilung; folglich muss diese im Einzelfall bestimmt werden.

#### ***Für die Koordination bei einer multifunktionalen Nutzung verantwortliche Behörde***

Die Umsetzung der multifunktionalen Nutzung der nationalen Infrastrukturen bedarf punktueller Abklärungen: Insbesondere muss festgelegt werden, wie die Kosten zwischen den verschiedenen für die Infrastrukturen verantwortlichen Stellen aufgeteilt werden. Weiter braucht es eine klare Definition der Zuständigkeiten bei Unfällen oder Pannen, die nicht spezifisch geregelt sind. Bei Neu- oder Umbauten werden für eine multifunktionale Nutzung Verfügungen mehrerer Behörden benötigt. Es stellt sich daher die Frage nach der Behörde, die für die Koordination zuständig ist.

Im Rahmen eines Plangenehmigungsverfahrens verlangt Artikel 25a Absatz 1 des Bundesgesetzes vom 22. Juni 1979 über die Raumplanung (RPG; SR 700) eine Koordination zwischen den verschiedenen betroffenen Behörden, wenn die Errichtung oder die Änderung einer Baute oder Anlage Verfügungen mehrerer Behörden erfordert. Allerdings soll die Koordination bereits im Nutzungsplanverfahren erfolgen (vgl. diesbezüglich Art. 25a Abs. 4 RPG). Bislang wurde die Koordination – im Plangenehmigungsverfahren oder bei der Sachplanung – häufig zu spät durchgeführt.

#### ***Nähere rechtliche Betrachtung betreffend die Strassen***

Die unterirdische Verlegung von Stromkabeln unterhalb einer Nationalstrasse kann als gemeinsame Nutzung des Bodens betrachtet werden. Bei bestehenden Nationalstrassen (das Nationalstrassennetz in der Schweiz ist fast fertiggestellt) muss geregelt werden, wie die Nationalstrasseninfrastruktur durch eine andere, nachträglich einzufügende Infrastruktur genutzt werden kann. Wenn hingegen noch keine Nationalstrasse vorhanden ist, werden für die gleichzeitige Errichtung der beiden Infrastrukturen zwei unterschiedliche Verfahren durchgeführt. In diesem Fall sollte das ASTRA – die für die Trägerinfrastruktur zuständige Behörde – beauftragt werden, die Verfahren zu koordinieren und sich

---

<sup>16</sup> Der exklusive Eigentumserwerb der entsprechenden Parzellen für die Infrastrukturen durch den Infrastruktureigner wird dabei nicht weiter erläutert, da er in der Regel nicht im Sinne einer Multifunktionalität erfolgt.

<sup>17</sup> Im Nationalstrassenperimeter ist zwischen Grund- und Werkeigentümer zu unterscheiden. Im Strassennetz ist der Bund, vertreten durch das ASTRA, – fast immer – gleichzeitig Grund- und Werkeigentümer. Allerdings befinden sich die Baulinien nicht zwingend auf den Grundstücken des Bundes, sondern in den meisten Fällen auf Grundstücken Dritter. Gemäss Zivilgesetzbuch (Art. 667 ZGB) erstreckt sich das Eigentum an Grund und Boden zudem nach oben und unten auf den Luftraum und das Erdreich, soweit für die Ausübung des Eigentums ein Interesse besteht; der Rest fällt in die Zuständigkeit der Kantone (Art. 664 ZGB, wobei dieser Umfang nicht genau geregelt und damit sehr umstritten ist). Das ASTRA ist somit auch Eigentümer des Untergrunds der Nationalstrassen.

über Möglichkeiten für eine multifunktionale Nutzung zu informieren. Gleichzeitig müsste mittels einer Vereinbarung zwischen den beteiligten Akteuren eine Kostenaufteilung festgelegt werden.

Im Bundesgesetz vom 8. März 1960 über die Nationalstrassen (NSG; SR 725.11) und in der Nationalstrassenverordnung vom 7. November 2007 (NSV; SR 725.111) finden sich die grundlegenden Bestimmungen über den Bau, den Ausbau, den Unterhalt und den Betrieb der Nationalstrassen. Das Gesetz regelt die Grundzüge für die Planungs- und Plangenehmigungsverfahren sowie die Zuständigkeiten. Die Verordnung enthält die Bestimmungen für die Nutzung des Nationalstrassenareals durch Dritte. In Bezug auf die Auswirkungen auf die Nationalstrassen hält die geltende Regelung fest, dass die Erfüllung der Aufgaben des ASTRA (dessen Rolle hier darin besteht, die Funktionsfähigkeit des Nationalstrassen- und Hauptstrassennetzes<sup>18</sup> sowie die Strassenverkehrssicherheit sicherzustellen) nicht behindert wird. Dabei wird allerdings nicht direkt Bezug genommen auf die multifunktionale Nutzung der Nationalstrassen und die Bündelung von Infrastrukturen entlang der Autobahnen.

Die multifunktionale Nutzung der Nationalstrassen ist als solche in den geltenden gesetzlichen Bestimmungen nicht ausdrücklich geregelt. Es gibt derzeit keine Regel, die es verbietet, eine Stromleitung unterhalb einer Nationalstrasse zu verlegen. Die heutige Regelung erlaubt dies bereits. Verschiedene andere unterirdische Anlagen – die zwar in der Regel kleiner sind als allfällige Anlagen des NE1-Netzes – unterqueren oder verlaufen bereits heute entlang der Nationalstrassen. Die Ausarbeitung eines spezifischen Gesetzespakets, das Fragen des Eigentums, der Miete, der Nutzung (Dienstbarkeiten), der Zuständigkeiten, des Bodenrechts und der Kostenaufteilung regelt und die Verfahrensaspekte<sup>19</sup> definiert, scheint deshalb nicht erforderlich zu sein.

### **Bewilligungsverfahren für erdverlegte Netze**

Die Bundesverwaltung setzt sich immer wieder mit Möglichkeiten zur Vereinfachung oder Beschleunigung von Bewilligungsverfahren auseinander, im Bereich elektrische Leitungen letztmals im Zusammenhang mit der Strategie Stromnetze (Schweizerischer Bundesrat. 2016a, Kapitel 1.2.4). Einige Massnahmen daraus sind unterdessen bereits umgesetzt.

Aus rechtlichen Überlegungen erscheint es dabei nicht angebracht, für erdverlegte Kabel spezielle Bewilligungsverfahren einzuführen. Hingegen kann davon ausgegangen werden, dass durch die Erdverlegung bestimmte Konflikte – z. B. bezüglich Landschaftsschutz, NIS und Lärm<sup>20</sup> – reduziert werden und die entsprechenden Projekte insgesamt zügiger realisiert werden können. Mit der Strategie Stromnetze wird deshalb der Grundsatz vorgeschlagen, dass Leitungen des Verteilnetzes (Netzebenen 3, 5 und 7) zu verkabeln sind, sofern ein bestimmter Kostenfaktor nicht überschritten wird (Schweizerischer Bundesrat. 2016a, Kapitel 2.1).

### **Fazit**

Die bestehenden Gesetzesbestimmungen und Regelungen geben ausreichende Leitlinien vor und erlauben eine multifunktionale Nutzung der linearen Verkehrsinfrastrukturen. Über die Grundsätze der Bündelung von Infrastrukturen und der haushälterischen Bodennutzung fördern RPG und RPV den Grundsatz der multifunktionalen Nutzung indirekt, aber aktiv. Es besteht daher kein Bedarf an einer Ausarbeitung spezifischer rechtlicher Modelle oder eines Gesetzespakets, das die Fragen des Eigentums, der Miete, der Nutzung und der Zuständigkeiten spezifisch regelt.

Wenn eine multifunktionale Nutzung einer Infrastruktur geplant wird, sollte die Koordination der Verfahren von den für die Verkehrsinfrastrukturen – Trägerinfrastrukturen – zuständigen Stellen (ASTRA und BAV) übernommen werden.

---

<sup>18</sup> D. h. die permanente Verfügbarkeit und Gebrauchstauglichkeit, ohne Behinderung oder Gefahr für die Benutzer und ohne neuen Kosten zulasten des Bundes.

<sup>19</sup> Gegenwärtig gelten für jeden Bereich unterschiedliche Bewilligungsstellen und -verfahren.

<sup>20</sup> Verkabelungen sind in der Bevölkerung besser akzeptiert und erhöhen in der Regel die Landschaftsqualität.

### **3.2. Berücksichtigung der multifunktionalen Nutzung und der Bündelung von Infrastrukturen in den aktuellen Raumplanungsinstrumenten auf Bundesebene**

In den letzten Jahren hat das Thema «Bündelung von Infrastrukturen» an Bedeutung gewonnen. Dazu beigetragen hat das wachsende Bewusstsein um die Begrenztheit der Ressource Boden, die zunehmende Dichte der Verkehrsinfrastrukturen und die Bedeutung des Umweltschutzes. Für die Umsetzung einer nachhaltigen Raumentwicklungspolitik, welche die bestehenden räumlichen Qualitäten nutzt und sinnvolle Lösungen für den wachsenden Infrastrukturbedarf findet, ist dieses Bewusstsein entscheidend.

#### **Gesetze und Verordnungen**

Die Raumplanung in der Schweiz stützt sich hauptsächlich auf das RPG und seine Ausführungsverordnung (RPV; SR 700.1). RPG und RPV befassen sich auf indirekte Weise mit dem Thema der Bündelung bzw. der multifunktionalen Nutzung von Infrastrukturen. Gemäss Artikel 1 Absatz 1 RPG gilt: *«Bund, Kantone und Gemeinden sorgen dafür, dass der Boden haushälterisch genutzt [...] wird. Sie stimmen ihre raumwirksamen Tätigkeiten aufeinander ab und verwirklichen eine auf die erwünschte Entwicklung des Landes ausgerichtete Ordnung der Besiedlung.»* (vgl. auch, im gleichen Sinne, Art. 1 Abs. 2 Bst. b RPG). Artikel 3 Absatz 2 Buchstabe b RPG hält fest, dass *«Siedlungen, Bauten und Anlagen sich in die Landschaft einordnen»* sollen. Gemäss Artikel 2 Absatz 1 Buchstabe d RPV gilt: *«[...] prüfen die Behörden bei der Planung raumwirksamer Tätigkeiten insbesondere, [...] welche Möglichkeiten bestehen, den Boden haushälterisch und umweltschonend zu nutzen sowie die Siedlungsordnung zu verbessern.»* Artikel 2 Absatz 2 und 3 RPV fordern, dass die Behörden feststellen, wie sich ihre raumwirksamen Tätigkeiten auswirken, und diese frühzeitig aufeinander abstimmen.

Die geltende Gesetzgebung verlangt also, dass eine multifunktionale Variante vorgesehen wird, wenn Synergien zwischen den Infrastrukturen erkannt werden. Heute wird das Potenzial einer Bündelung mit anderen Infrastrukturen in den meisten Hochspannungsleitungsprojekten zwar berücksichtigt. Es werden aber nicht systematisch Varianten geprüft, die eine multifunktionale Nutzung vorsehen. Auch werden die bestehenden Synergien zwischen den verschiedenen Planungen häufig weder genutzt noch beurteilt (vgl. auch Kapitel 3.3, 6.1 und 6.3). Solche Projekte erreichen somit nicht die Phase der Interessenabwägung (vgl. Art. 3 RPV), in der im Anschluss an die Analyse der konkreten Umstände beurteilt wird, ob eine multifunktionale Nutzung sinnvoll ist.

#### **Sachpläne und Konzepte**

Der Bund erstellt Konzepte und Sachpläne nach Artikel 13 RPG zur Planung und Koordination der in seine Zuständigkeit fallenden Aufgaben, soweit sich diese erheblich auf Raum und Umwelt auswirken<sup>21</sup>. Diese Instrumente definieren für die Behörden einen verbindlichen Rahmen in Bereichen, die sich erheblich auf den Raum auswirken. Sie ermöglichen dem Bund eine umfassende Planung und Koordination seiner Infrastrukturen und eine nachhaltige Raumentwicklung. Dank ihrer Informations- und Koordinationsfunktion bilden diese Instrumente<sup>22</sup> wichtige Hilfsmittel für den Umgang mit den verschiedenen räumlichen Problemstellungen und zur Sicherstellung der Koordination zwischen den verschiedenen sektoriellen Politiken des Bundes (vgl. auch Schweizerischer Bundesrat. 2017). In mehreren dieser Instrumente wird das Thema der Bündelung von Infrastrukturen wiederholt behandelt (vgl. dazu im Einzelnen Anhang 2).

#### **Strategien, Programme und Visionen**

Es gibt heute mehrere Programme und Strategien für eine Verbesserung der Infrastrukturen, so das Strategische Entwicklungsprogramm (STEP) Nationalstrassen, das STEP Bahninfrastruktur und die Netzstrategie NE1 von Swissgrid. Das STEP Nationalstrassen sieht vor, im ersten Schritt bis 2030 über den Fonds für die Nationalstrassen und den Agglomerationsverkehr (NAF) die Engpässe auf den Nationalstrassen zu beseitigen. Der NAF deckt auch die Erweiterung des Nationalstrassennetzes und die finanzielle Unterstützung der Agglomerationsprojekte. Das STEP Bahninfrastruktur sieht im Rahmen

<sup>21</sup> <http://www.are.admin.ch> > Strategie und Planung > Konzepte und Sachpläne > Sachpläne des Bundes.

<sup>22</sup> Insbesondere die Sachpläne ermöglichen es, die Bundesinfrastrukturen räumlich zu sichern. Sie tragen dazu bei, die immer komplexeren Probleme im Zusammenhang mit der Durchführung von Aufgaben oder Projekten von nationalem Interesse zu bewältigen.

des Ausbaus 2030–2035 zwei Projektpakete vor, die über den Fonds für die Finanzierung und den Ausbau der Bahninfrastruktur (FABI) finanziert werden sollen. Mit diesem Ausbausritt können Engpässe im Eisenbahnsystem von SBB und Privatbahnen behoben und seine Kapazitäten erweitert werden. Die Netzstrategie NE1 von Swissgrid legt die Planung bis 2025 detailliert (Strategisches Netz 2025) und bis 2035 provisorisch dar. Da diese Programme streng sektoriell ausgelegt sind, ist eine planerische Gesamtsicht der verschiedenen Infrastrukturen von nationaler Bedeutung schwierig. Dies erschwert eine Analyse der Synergien hinsichtlich einer multifunktionalen Nutzung.

Das Raumkonzept Schweiz (Schweizerischer Bundesrat, KdK, BPUK, SSV, SGV. 2012) ist eine strategische Vision für eine nachhaltige Raumentwicklung in der Schweiz, die von den drei Staatsebenen getragen wird. Sie fördert auch aktiv den Grundsatz der Bündelung von Infrastrukturen (vgl. dazu im Einzelnen Anhang 2).

### **Fazit**

In den raumplanerischen Instrumenten wird die Bündelung von Infrastrukturen häufig direkt als Massnahme gefördert, mit der die beanspruchte Bodenfläche und die Umweltbelastung durch die Infrastrukturen begrenzt werden können. Das Thema der multifunktionalen Nutzung wird zwar nie direkt erwähnt und nur indirekt behandelt. Dennoch wurde in den raumplanerischen Instrumenten kein struktureller Mangel festgestellt.

## **3.3. Organisation und Koordination**

### ***Zusammenarbeit zwischen Bundesämtern und Bundesbehörden und Koordination mit den Kantonen***

Die multifunktionale Nutzung von Infrastrukturen unter der Zuständigkeit des Bundes erfordert eine verstärkte Koordination und Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Bundesämtern und Bundesstellen sowie mit den Kantonen. Swissgrid ist Eigentümerin und Betreiberin des Höchstspannungsnetzes NE1. Das BFE ist in Zusammenarbeit mit dem ARE verantwortlich für die Ausarbeitung des Sachplans Übertragungsleitungen (SÜL). Als zuständige Behörde nimmt das ESTI die Oberaufsicht wahr und erteilt die nötigen Bewilligungen; im Falle von Einsprachen entscheidet das BFE über die Plangenehmigung. Bei den Nationalstrassen ist das ASTRA gleichzeitig zuständige Behörde für den Sachplan, Eigentümer und Betreiber. Die SBB und andere Unternehmen sind Eigentümer und Betreiber des nationalen Eisenbahnnetzes. Das BAV ist die zuständige Behörde für den Sachplan. Die Kantone werden als betroffene Gebietskörperschaften in den Prozess eingebunden und stellen die Koordination der Sachplaninhalte mit den Inhalten ihrer Richtpläne sicher. Die Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen Akteuren ist relativ komplex strukturiert:

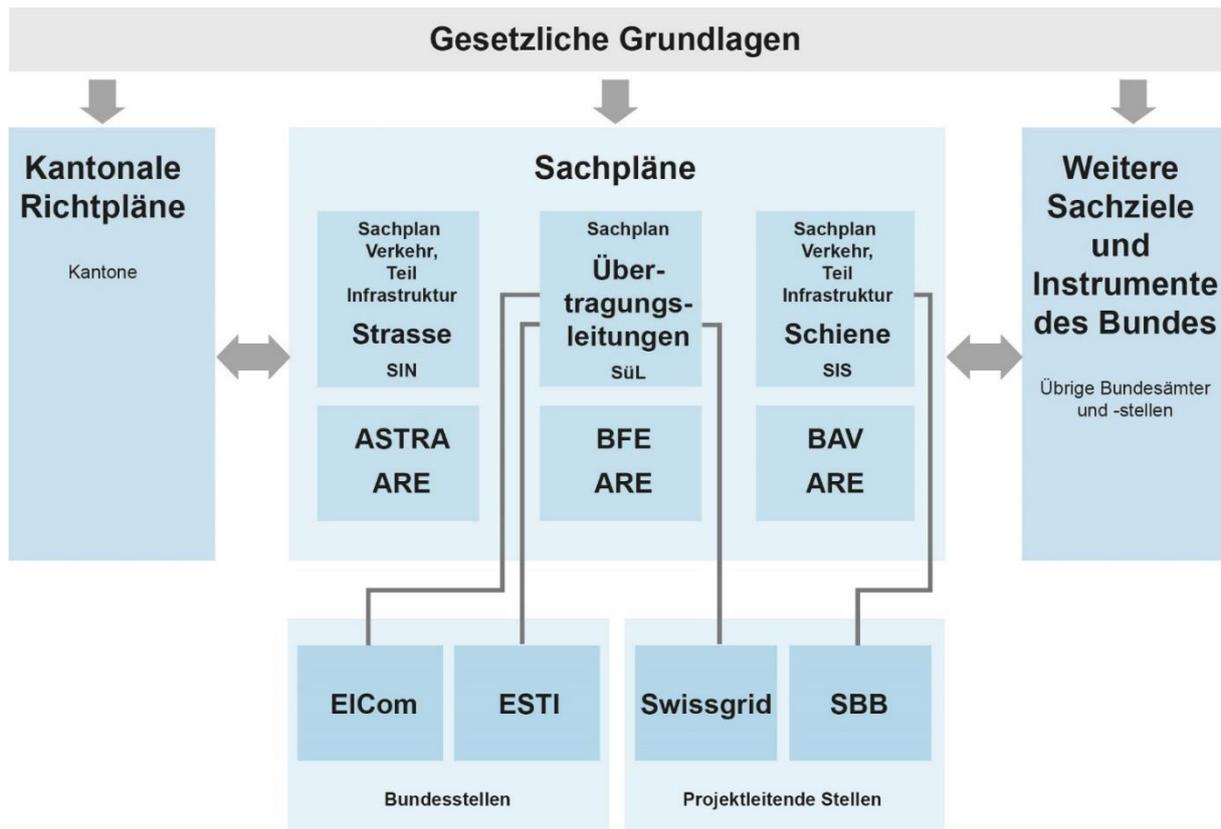


Abbildung 1: Schema der Akteure der multifunktionalen Infrastrukturen (© ARE, 2017)

Damit die Planung einer multifunktionalen Infrastruktur höhere Erfolgschancen hat, müssen die verschiedenen zuständigen Bundesämter und -behörden bereits ab den ersten Planungsphasen eng zusammenarbeiten.

Für den Bund sind gut funktionierende Verkehrsinfrastrukturen, eine sichere Versorgung und ein stabiles Stromnetz zentrale Interessen. Das bedeutet, dass man sich im Fall einer multifunktionalen Nutzung zuvor mit der Koordination im Rahmen der Errichtung und des Betriebs der Infrastrukturen und insbesondere mit der Aufteilung der Kompetenzen und Zuständigkeiten bei Unfällen/Pannen befassen muss. Bereits in den ersten Planungsphasen soll festgelegt werden, ob und wie Infrastrukturen kombiniert werden können.

### **Zeitliche Rahmenbedingungen bei der Infrastrukturplanung**

Die Errichtung einer multifunktionalen Infrastruktur ist mit grossen zeitlichen Einschränkungen verbunden. In der Regel ist es schwierig, eine langfristige Planung für mehrere Infrastrukturen zu erstellen, da zahlreiche Parameter noch unbekannt sind. Zu den zwingenden Verfahren zur Erlangung der Bewilligungen, dem Erwerb der benötigten Grundstücke und der Auflagephase kommt hinzu, dass die Planungsdauer für die einzelnen Infrastrukturen unterschiedlich lang ist und jede Infrastruktur eine andere Lebensdauer und andere Unterhalts- und Erneuerungszyklen aufweist<sup>23</sup>. Dies kann zu Konflikten führen, wenn die beiden kombinierten Systeme in Bezug auf die Planung, den Betrieb und den Unterhalt nicht völlig unabhängig voneinander sind.

<sup>23</sup> Lebensdauer der Infrastrukturen: Der Belag einer Nationalstrasse wird etwa alle 15 Jahre ersetzt, während die Erneuerung der Bahngelise im Abstand von ca. 35 Jahren erfolgt. Stromkabel haben eine Lebensdauer von rund 40 Jahren, bei Freileitungen beträgt sie etwa 80 Jahre.

## **Fazit**

Die Planung einer multifunktionalen Nutzung wird erschwert durch die komplexen Strukturen der Zusammenarbeit auf Bundesebene und zeitliche Vorgaben, die vor allem mit den unterschiedlichen Lebenszyklen der einzelnen Infrastrukturen zusammenhängen. Damit eine solche Planung gelingt, braucht es grosse Anstrengungen für eine Zusammenarbeit auf Ebene des Bundes. Dabei ist es sehr wichtig, dass sich die Akteure bereits ab den ersten Planungsphasen abstimmen. Diese Koordination ist gegenwärtig noch nicht ausreichend entwickelt.

## **3.4. Erste geografische Analyse einer möglichen multifunktionalen Nutzung**

### ***Nationalstrassennetz***

Das Nationalstrassennetz ist knapp 1800 km lang (ASTRA, 2015) und liegt grösstenteils im Mittelland. Die Nationalstrassen befinden sich im Eigentum des Bundes und werden vom ASTRA verwaltet.

Das Nationalstrassennetz<sup>24</sup> in der Schweiz ist sehr heterogen. Es umfasst 144 km Brücken (8 %), 11 km Galerien (<1 %), 198 km Tunnels (11 %) sowie 435 Zufahrten<sup>25</sup> und 1382 Ein- und Ausfahrten<sup>26</sup>. Diese Heterogenität ist ein grosses Hindernis für eine multifunktionale Nutzung.

Mit Ausnahme der A9 Visp-Sierre und einigen weiteren, kürzeren Abschnitten ist das Nationalstrassennetz beinahe fertiggestellt. Allerdings sind verschiedene umfangreiche Ausbauten und Sanierungen vorgesehen, die Möglichkeiten für die Umsetzung einer multifunktionalen Nutzung bilden können.

### ***Eisenbahnnetz***

Das normalspurige (Spurweite 1,435 m) Eisenbahnnetz ist ungefähr 3800 km lang, wenn nur eine Richtung gezählt wird. Die Parzellen, auf denen sich die Geleise befinden, gehören den Bahnbetreibern, d. h. mehrheitlich der SBB.

Das 3800 km lange Schienennetz umfasst rund 91 km Brücken (2,4 %), 2 km Galerien (<1 %) und 380 km Tunnels (10 %). Wie bei den Nationalstrassen stellen die Heterogenität des Netzes und die Anzahl der Schnittstellen ein grosses Hindernis für eine multifunktionale Nutzung dar.

Das Eisenbahnnetz wird in Bezug auf die Linienführung nicht mehr erheblich verändert werden. Vorgesehen sind aber Ausbauten der bestehenden Linien.

### ***Höchstspannungsstromnetz***

Die Trassen des Höchstspannungsnetzes NE1 sind 3500 km lang. Allerdings sind nur 8 km der Leiter erdverkabelt (Swissgrid, 2017).

Das Energieverteilnetz von Swissgrid muss sich ständig an die Entwicklung des Strombedarfs und der Stromerzeugung anpassen. Dies hat neue Forderungen nach einer Verstärkung oder einem Ausbau des heutigen Netzes zur Folge.

---

<sup>24</sup> Aus den kartografischen Daten swisstopo TL und Mistra. Mithilfe der Mistra-Daten konnte die Zahl der Zufahrtsstrassen und Einfahrten geschätzt werden. Dies ergibt die Zahl der erwarteten Unterbrüche auf der Rohrblocktrasse im Fall einer Bündelung von Infrastrukturen. In diesen Schätzungen sind allerdings nicht alle Arten von Werken (z. B. Stützmauern, Lärmschutzwände und -mauern), die erhebliche Hindernisse darstellen können, enthalten.

<sup>25</sup> Nichtrichtungsgetrennter Strassenabschnitt zwischen Ein- oder Ausfahrt auf, respektive ab einer Hochleistungsstrasse und dem Anschluss an eine Hauptachse.

<sup>26</sup> Richtungsgetrennte (baulich getrennte) Ein- oder Ausfahrt von Autobahnen und Autostrassen.

#### Legende

-  Übertragungsleitung verläuft im Bereich\* einer Nationalstrasse oder im Bereich\* einer Nationalstrasse und einer Doppelspur- Schienenstrecke
-  Übertragungsleitung verläuft im Bereich\* einer Doppelspur- Schienenstrecke
-  übrige Strecken Nationalstrasse
-  übrige Schienenstrecken Doppelspur
-  übrige Strecken Übertragungsleitungsnetz
-  Metropolitane und grosstädtische Zentren nach Raumkonzept Schweiz

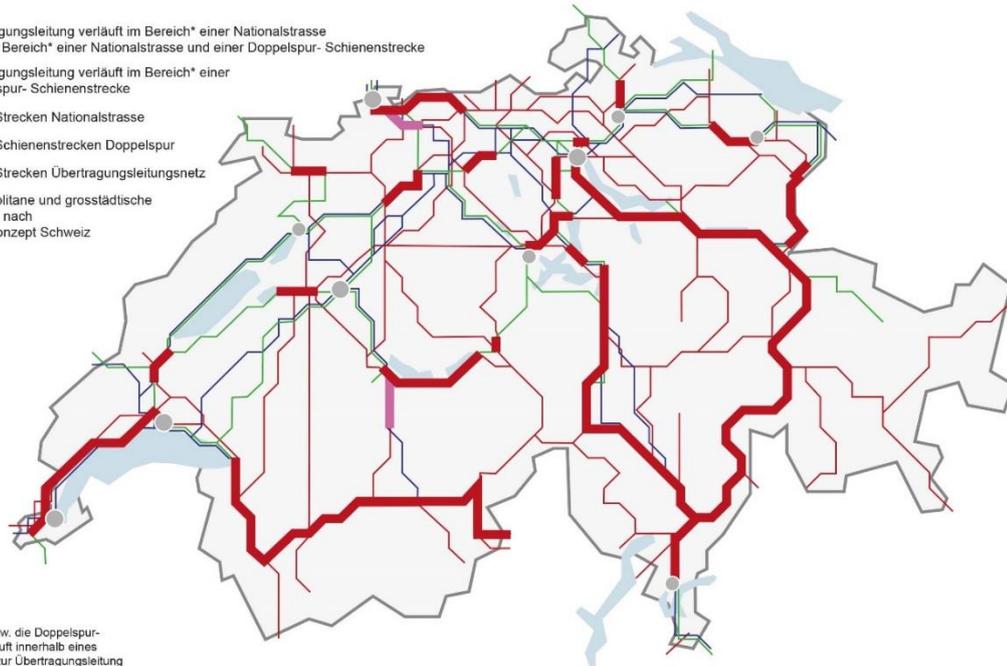


Abbildung 2: Karte der räumlichen und geografischen Synergien zwischen Nationalstrassennetzen, Eisenbahnlinien und dem 220/380-kV-Stromnetz (Quelle: INFOPLAN-ARE, GEOSTAT-BFS; © ARE, Swisstopo, 2017)

#### Fazit

Die starke Siedlungsentwicklung in den letzten Jahrzehnten hat dazu geführt, dass früher ausschliesslich für Infrastrukturen (Strassen, Eisenbahnen, Stromnetze usw.) genutzte Areale heute von Wohngebieten umgeben sind. Dies verhindert nun die Entwicklung der Verkehrsinfrastrukturen und verursacht echte Engpässe in den Siedlungsgebieten.

Das Potenzial für eine multifunktionale Nutzung in den einzelnen Regionen hängt von verschiedenen Faktoren ab: Typologie der betroffenen Gebiete, Existenz bestehender Werke (geografische Heterogenität), verfügbarer Raum (vor allem für die Rohrblöcke und Muffenschächte) und Netzkompatibilität (geografische Synergien). Auf der Grundlage der heute vorhandenen Daten ist es nicht möglich, allgemein zum konkreten Potenzial der multifunktionalen Nutzung in der Schweiz Stellung zu nehmen. Für eine solche Analyse müssten zahlreiche Parameter berücksichtigt werden, was äusserst ressourcenaufwändig wäre.

## 4. Technische, betriebliche und finanzielle Aspekte einer multifunktionalen Nutzung

### 4.1. Bautechnische Aspekte

#### *Hochspannung und Muffenschächte*

Eine Leitung der Netzebene 1 beansprucht viel Platz im Untergrund<sup>27</sup>. Aus technischer Sicht bleibt der Einbau von Muffenschächten (alle 700 bis 1000 m) in den Verkehrsinfrastrukturen eine grosse Herausforderung in Bezug auf den Flächenbedarf und den Zugang. Dies gilt besonders bei bestehenden Infrastrukturen<sup>28</sup>. Die Erstellung der Muffenschächte an sich ist technisch unproblematisch. Schwierigkeiten bestehen vor allem in Bezug auf den benötigten Raum<sup>29</sup>.

Neben dem Raumbedarf für die Muffenschächte bilden die Zufahrt und das Parken der Lastwagen (60 t) eine sehr grosse Herausforderung. Der Zugang muss von beiden Seiten in der Verlängerung der Schächte sichergestellt sein, sowohl für die anfängliche Montage als auch für einen Austausch der Kabel. Das ASTRA hat mehrmals darauf hingewiesen, dass der Zugang zu den Muffenschächten von ausserhalb des Autobahnareals möglich sein muss, damit die Strassen ohne Behinderung für die Verkehrsteilnehmer ständig verfügbar bleiben. Swissgrid hingegen vertritt die Auffassung, dass Arbeiten an der Energieübertragungsinfrastruktur über die bestehenden SOS-Nischen erfolgen könnten und die Behinderung für die Benutzer dadurch möglichst gering gehalten würde. Da die Frage des Zugangs zum Netz Dritter über die Nationalstrasse für die Umsetzung der Multifunktionalität zentral ist, sollte wahrscheinlich eine politische Interessenabwägung erfolgen.

#### *Nationalstrassen im Normalprofil*

Im Normalprofil<sup>30</sup> wird der Untergrund der Nationalstrassen bereits sehr stark beansprucht (bis in eine Tiefe von rund 2 Metern sind sehr häufig Drainage- und Sammelleitungen für Strassenabwässer vorhanden). Elektrische Kabel (vgl. auch Anhang 1: Standardlösungen für eine Erdverkabelung der NE1) müssten deshalb noch tiefer verlegt werden<sup>31</sup>. Dies führt zu weiteren, insbesondere technischen Problemen (verstärkte Erwärmung der Kabel, auch die Muffenschächte müssen tiefer verlegt werden usw.) und erschwert die Umsetzung der multifunktionalen Nutzung. Ausserhalb der Fahrzeug-Rückhaltesysteme entlang der Strassen befinden sich mehrere Infrastrukturen<sup>32</sup>. Deshalb ist eine durchgängige Verlegung eines Rohrblocks für die Stromkabel der NE1 sowie ihrer Muffenschächte schwierig.

---

<sup>27</sup> Die Entsprechung von mindestens sechs Kabeln (zweimal drei Phasen) mit einem Durchmesser von 125 bis 200 mm muss in einen Rohrblock mit einem Querschnitt von 1,2 bis 1,5 m<sup>2</sup> verlegt werden.

<sup>28</sup> Die Technologien für Höchstspannungsleitungen entwickeln sich laufend weiter. Bisher sind erst wenige Pilotprojekte durchgeführt worden.

<sup>29</sup> Je höher die Spannung, desto grösser sind die Abmessungen der Muffenschächte. Gemäss Swissgrid muss für 380-kV-Kabel mit Muffenschächten mit Abmessungen von 15 · 2,8 · 2,5 m (Länge, Breite, Tiefe) gerechnet werden.

<sup>30</sup> Neben dem «Normalprofil» wurden in der Studie der OPAN concept SA (2016) auch die Fälle «Brücke», «Tunnel» und «Autobahnanschluss» berücksichtigt. Obwohl diese Infrastrukturen zur geografischen Heterogenität des Netzes (vgl. Kapitel 4.3) beitragen, stellt keine von ihnen an sich ein grösseres bautechnisches Hindernis dar. Im Sinne einer Vereinfachung werden diese Fälle im vorliegenden Bericht nicht weiter erläutert.

<sup>31</sup> Entlang der Strassen befinden sich ausserhalb der Fahrzeug-Rückhaltesysteme im Abstand von 50 bis 100 m bzw. rund 300 m Abwassersammelbecken sowie elektromechanische Einrichtungen. Dort befinden sich auch die Fundamente für die Signalportale und Masten. Eine durchgängige Verlegung eines Rohrblocks für die Stromkabel der NE1 sowie ihrer Muffenschächte am Rand der Strasse ist deshalb schwierig und muss mit den bestehenden Werken (z. B. Böschung, Entwässerungen und Stützmauern) vereinbar sein sowie mit deren Betreibern koordiniert werden.

<sup>32</sup> Abwassersammelbecken sowie elektromechanische Einrichtungen im Abstand von 50 bis 100 m bzw. rund 300 m. In dieser Zone befinden sich auch die Fundamente für die Signalportale und Masten sowie Wildschutzzäune, Entwässerungen und die Stützmauern.

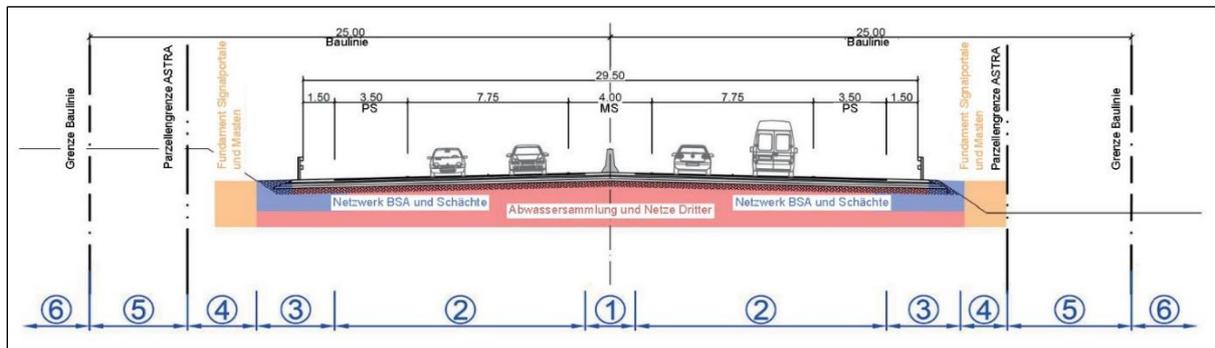


Abbildung 3: Standardprofil Nationalstrasse 1. Klasse, vier Fahrstreifen, Normalprofil (ASTRA. 2002) und mögliche Lage der Kabel und Muffenschächte NE1 in der Nationalstrasse (Sektoren 1 bis 6 für Kabel). Gemäss der Definition in dieser Studie betrifft die multifunktionale Nutzung die Sektoren 1 bis 4 (oder 5), die einfache Bündelung der Infrastrukturen den Sektor 5 oder den unmittelbar ausserhalb der Baulinie gelegenen Sektor (Sektor 6).

### Eisenbahninfrastruktur

In der Regel eignet sich das Eisenbahnnetz weniger gut für eine multifunktionale Nutzung als die Nationalstrassen. Dafür gibt es im Wesentlichen vier Gründe: Erstens ist der verfügbare Raum häufig sehr beschränkt, so dass eine multifunktionale Nutzung schwieriger wird als bei den Strassen. Zweitens müsste der Zugang zu den Muffenschächten an bisher nicht mit Strassen erschlossenen Orten über Schienen erfolgen; der Bahnverkehr wäre somit während der gesamten Dauer der Kabelverlegung sowie bei Problemen stark beeinträchtigt. Drittens benötigt ein Rohrblock in der Nähe von Bahnstrecken spezifische bautechnische Vorkehrungen, um differenzielle Setzungen zu vermeiden. Schliesslich muss auch das Problem der Schwingungen gelöst werden, um Beschädigungen der Stromanlagen zu vermeiden.

### Bahnstrom-Übertragungsleitungsnetz der SBB und Resonanzproblematik

Das über 1800 km lange Bahnstrom-Übertragungsleitungsnetz der SBB weist eine Spannung von 132 kV (16,7 Hertz) auf. Wenn elektrische Triebfahrzeuge mit der Bahnstromversorgung interagieren, führt dies bei einer Verkabelung dieser Leitungen zu Resonanzproblemen<sup>33</sup>. Es wurde nachgewiesen, dass ein höherer Kabelleitungsanteil im Hochspannungsnetz der Bahnen zu einem Absinken der Resonanzfrequenz im Bahnstromnetz führt<sup>34</sup>. Solange keine neuen technischen Lösungen für die Resonanzproblematik absehbar sind, ist es fast unmöglich, neue Bahnstromleitungen zu verkabeln (Aeberhard et al. 2012). «Berechnungen der SBB ergaben, dass zu den 2009 bestehenden 132 km Kabelleitungen im 132kV- und 66kV-Übertragungsleitungsnetz noch rund 60 km Kabelleitungen in diesem Netz zusätzlich verlegt werden können. Von diesen 60 km sind bereits Projekte im Umfang von über 50 km im Bau oder es wurde das PGV erteilt. Die verbleibende Reserve ist verschwindend klein. Dem stehen jedoch weitere Leitungsprojekte der SBB im Umfang von mehr als 100 km gegenüber» (SIS).

### Fazit

Trotz der zahlreichen Herausforderungen in Bezug auf die Nationalstrassen wurden die bautechnischen Aspekte einer multifunktionalen Nutzung als überwindbar beurteilt. Für die meisten Situationen können technische Lösungen gefunden werden.

Die Anforderungen des ASTRA bezüglich des Zugangs zum Strassenareal für die Kabelverlegung und -reparatur verringern den Nutzen einer multifunktionalen Nutzung selbst bei einem neuen Abschnitt beträchtlich. Diese Anforderungen stellen deshalb eine Herausforderung für die Umsetzung einer multifunktionalen Nutzung der Nationalstrassen dar.

<sup>33</sup> Technisch gesehen handelt es sich um Anregungen bei Resonanzfrequenz, was ein Aufschwingen des Bahnstromnetzes bewirkt. Auf diese Problematik wird nicht weiter eingegangen, da schon mehrere Publikationen zum Thema vorliegen. Vgl. insbesondere TU Graz. Institut für elektrische Anlagen. 2013.

<sup>34</sup> Mit jedem zusätzlichen Kabelkilometer nähert sich das schweizerische Bahnstromnetz der kritischen Resonanzfrequenzgrenze von 103 Hz (UVEK, BAV. 2015).

Das Eisenbahnnetz eignet sich insgesamt schlecht für die multifunktionale Nutzung mit der Verkabelung einer NE1-Übertragungsleitung. Mit der heutigen Technologie ist es praktisch unmöglich, neue Bahnstrom-Übertragungsleitungen unterirdisch zu verlegen.

## 4.2. Betriebliche Aspekte

Die Planung der multifunktionalen Infrastrukturen erfordert – bereits in den ersten Planungsphasen – eine verstärkte Koordination. Wenn zwei Planungen gleichzeitig durchgeführt werden, erhöhen sich die Komplexität und die Wahrscheinlichkeit, dass Probleme auftreten. In der Regel sind kombinierte Systeme in Bezug auf die Planung, den Bau, den Betrieb und den Unterhalt nicht vollständig unabhängig voneinander. Ihre unterschiedlichen Lebensdauern sowie Unterhalts- und Erneuerungszyklen können deshalb zu zusätzlichen Schwierigkeiten führen.

Die grössten Probleme ergeben sich aber in der Betriebsphase durch Ausfälle und die Reparaturdauer der Leitungen, denn die Verkehrsinfrastruktur kann bei der Wartung der NE1-Kabel zeitweilig nur beschränkt oder gar nicht genutzt werden. Fehler sind bei Erdkabeln weniger häufig, aber oft schwerwiegender als bei Freileitungen. Letztere sind einfacher zugänglich und können deshalb rasch repariert werden. Bei Störungen im Falle von NE1-Erdkabeln hingegen kann es Tage, Wochen oder sogar Monate dauern, bis die Reparatur erfolgt ist. Das kann sich auch auf die anderen Infrastrukturen auswirken. Im Vergleich zu den tieferen Spannungsebenen hat der Unterbruch einer NE1-Übertragungsleitung für das Stromnetz besonders gravierende Folgen.

Eine Studie über die Anfälligkeit auf Kabelausfälle<sup>35</sup> hat gezeigt, dass im NE1-Netz durchschnittlich pro 100 km Kabel alle 7,5 Jahre ein Ausfall auftritt<sup>36</sup>. Um die Folgen der Beschädigung eines Kabels zu beschränken, könnte im Voraus ein Reservekabel verlegt werden. Wenn allerdings der Abstand zwischen den Kabeln nicht ausreichend gross ist, um den Grenzwert für Magnetfelder am Arbeitsplatz (500  $\mu$ T) einzuhalten, müssen in jedem Fall alle Kabel während der Dauer der Reparatur von der Spannung getrennt werden.

### Fazit

Da kombinierte Systeme häufig nicht vollständig unabhängig voneinander sind, stellt die Koordination des Betriebs und der Unterhaltsarbeiten ein grosses Hindernis dar. Die betrieblichen Hindernisse wurden als gross, aber nicht unüberwindbar beurteilt.

## 4.3. Finanzielle Aspekte

Die finanziellen Aspekte bilden einen der Pfeiler für die Bewertung des Sachplans Übertragungsleitungen. Sie sind Teil der Kriterien, die für die Auswahl der optimalen Variante verwendet werden.

Obwohl es keine offizielle Gewichtung der Kriterien gibt, werden die Verkabelungsvarianten häufig als zu kostspielig betrachtet (vgl. auch Consentec. 2013<sup>37</sup>). Dies erklärt zum Teil, warum das NE1-Netz nur einen geringen Erdkabelanteil aufweist. Generell wird davon ausgegangen, dass die Umsetzung einer multifunktionalen Nutzung zu Mehrkosten führen würde, vor allem wenn sie in eine bestehende Infrastruktur integriert würde. Bei Neubauten und insbesondere bei grossen Bauwerken, wie Brücken, Über- oder Unterführungen oder Tunnels (vgl. auch Projekt Grimsel-Bahntunnel, Kapitel 6.1), könnten diese Mehrkosten durch eine gemeinsame Baustelle verringert werden. Die Kostenaufteilung muss im Einzelfall mittels einer Vereinbarung zwischen den beteiligten Akteuren festgelegt werden.

Da jeder Abschnitt unterschiedliche Merkmale aufweist, ist eine Verallgemeinerung der Kosten nicht realistisch. Bei einem direkten Kostenvergleich zwischen einer Freileitung und einer Verkabelung ist äusserste Vorsicht geboten. Weiter sollte die Kostenanalyse den vollständigen Lebenszyklus der verschiedenen Infrastrukturen berücksichtigen, damit ein Vergleich möglich ist.

<sup>35</sup> Vgl. dazu im Einzelnen OPAN concept SA. 2016.

<sup>36</sup> Es ist zu beachten, dass nicht jeder Kabelausfall zu einer Schliessung der Strasse führt.

<sup>37</sup> Diese Studie befasst sich nur mit den NE3 bis NE7. Es wird davon ausgegangen, dass die Kosten für die NE1 proportional höher sind.

Häufig ist auch der monetäre Nutzen, der nach einer Bündelung der Infrastrukturen durch die Aufwertung der Landschaft entsteht, sehr schwierig zu bewerten und kann nicht einfach in die Berechnungen aufgenommen werden.

### **Fazit**

Bei einer Umsetzung von multifunktionalen Infrastrukturen sind Mehrkosten für den Bau, den Betrieb und den Unterhalt zu erwarten. Diese Kosten können nur schwer geschätzt werden, da Beispiele solcher Umsetzungen fehlen. Die Gesamtkosten von Erdverkabelungen (über den gesamten Lebenszyklus – Bau, Unterhalt, Verluste – hinweg) sind heute deutlich höher als bei Freileitungen. Allerdings besitzt jeder Abschnitt spezifische Eigenschaften, und die verschiedenen Technologien müssen grundsätzlich im Einzelfall verglichen werden, damit ein abschliessendes Urteil gefällt werden kann. Zu berücksichtigen wären weitere Kriterien, die gewöhnlich nicht monetarisiert werden, beispielsweise die Beeinträchtigung des Landschaftsbildes oder die Auswirkungen auf den Tourismus. Da diese schwierig zu beziffern sind, werden sie in den Investitionsrechnungen in der Regel nicht berücksichtigt.

## **4.4. Exkurs Gleichstromtechnik**

Im Rahmen einer Auswertung der technischen Möglichkeiten, die eine Bündelung in der Schweiz aktuell erlauben bzw. erleichtern können, wird hier kurz die Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ, bzw. englisch *high-voltage direct current*, HVDC) vorgestellt. HGÜ ist eine vielversprechende Zukunftstechnologie, welche erlaubt, grosse Ströme mit vergleichsweise geringen Verlusten über sehr lange Distanzen zu transportieren (GS-UVEK. 2010). In diesem Bericht sollen keine umfassende Auslegeordnung und Analysen, sondern nur die grundsätzlichen Möglichkeiten und Grenzen dieser Technologie dargestellt werden.

### **Gleichstrom und Wechselstrom: Vorteile und Nachteile**

Die Technik zur Übertragung von elektrischer Energie mittels Gleichstrom (*Direct Current*, DC) ist nicht neu. Die ersten Leitungen zum Verteilen von Energie waren Gleichstromleitungen<sup>38</sup>. Mit der Zunahme der Elektrifizierung und dem Bedürfnis von vernetzten Systemen auf unterschiedlichen Spannungsniveaus verlor die Gleichspannung an Bedeutung, da sie sich mit den damals vorhandenen Techniken nicht von einer Spannungsebene auf die andere transformieren liess. Mit Wechselspannung war dies problemlos möglich und so setzte sich Wechselstrom (*Alternating Current*, AC) Stromverteilung durch, die heute weltweit mit unterschiedlichen Frequenzen (50, 60 Hz) standardmässig genutzt wird.

So gross der Vorteil von AC bei der Transformierung ist, so sehr hat diese Technik bei der Übertragung über längere Strecken Nachteile, resp. erzeugt relativ hohe Verluste durch kapazitive Blindströme und induktive Widerstände. Freileitungen ab 600 km Länge können nicht mehr wirtschaftlich und Kabel ab einer Länge von ca. 80 km können aus technischen Gründen nicht mehr mit Wechselstrom betrieben werden. Die ersten HGÜ-Verbindungen sind entsprechend bei der Verlegung von langen Seekabeln erstellt worden<sup>39</sup>. DC-Freileitungen auf dem Festland und Seekabel benötigen für die Umwandlung von Wechselstrom zu Gleichstrom und zurück an ihren Enden Konverter mit entsprechendem Platzbedarf. Technologische Fortschritte bei den Halbleitern und Kabeln führten bald zur Entwicklung der «HVDC Light» von ABB (erste Verbindung 1997), die in der Folge durch die Bedürfnisse der Offshore-Förderung von Gas und Windkraftanlagen in der Nordsee zu einer ganzen Produktreihe führten (ab dem Jahr 2000). Die Grundidee basiert auf einem modularen System von Convertern und Kabeln mit einem grossen Leistungsbereich, die zu kostengünstigen Gesamtanlagen zusammengebaut werden können. In der Zwischenzeit bieten auch andere Anbieter analoge Systeme an. Der Wettbewerb unter den Anbietern und die weiteren Fortschritte im Bereich Platzbedarf für die Konverterstationen machen die Anlagen in Zukunft auch im Bereich kleinerer Leistungen (bis 1 GW) attraktiv als Alternative zum konventionellen Netzausbau.

<sup>38</sup> Z. B. im Jahr 1882 von Miesbach nach München und das Stromnetz in New York. Weitere Anlagen entstanden ab den 1890er-Jahren besonders in Italien und der Schweiz, beispielsweise 1897 von St-Maurice nach Lausanne (22 kV, 3,7 MW, 60 km).

<sup>39</sup> Die erste HGÜ ging 1954 vom Schwedischen Festland auf die Insel Gotland in Betrieb und konnte bei einer Betriebsspannung von 100 kV eine Leistung von 20 MW durch ein 98 km langes Seekabel übertragen.

Nachfolgend einige Vorteile der HGÜ-Technik gegenüber der AC-Technik:

- Mit HGÜ gibt es auf längeren Strecken 30–50 % weniger Übertragungsverlust als bei vergleichbaren Drehstrom-Freileitungen;
- In der Regel ist somit bei gleicher Trassenbreite 30–40 % mehr Energieübertragung möglich;
- HGÜ kann als «Sicherung» die Übertragung von Störungen zwischen verbundenen Drehstromnetzen verhindern;
- Mit HGÜ sind lange Kabelstrecken möglich;
- Für DC-Leitungen gibt es keine vorsorglichen NIS-Emissionsbegrenzungen, hingegen hohe Immissionsgrenzwerte.

### ***HGÜ-Projekte in der Schweiz***

Aktuell sind innerhalb der Schweiz – u.a. aufgrund der Kleinräumigkeit – keine HGÜ-Verbindungen geplant. Für die Schweiz könnten jedoch neben HGÜ-Kabelverbindungen auch sogenannte Hybridleitungen von Interesse sein. Dabei wird eine bestehende konventionelle AC-Verbindung mit einer HGÜ kombiniert. Diese Lösung führt Gleichstrom und Wechselstrom auf denselben Masten und vermeidet so den Bau einer neuen Trasse, wobei das bisherige Erscheinungsbild grundsätzlich erhalten bleiben kann. Das DC-System kann dann dem Energie-Transit dienen und das AC-System weiterhin die in kürzeren Abständen folgenden Unterstationen ins Netz einbinden. Wird eine bestehende Freileitung jeweils einseitig mit Wechsel- und Gleichspannung beaufschlagt (Hybridlösung), so ist eine Steigerung der Übertragungsleistung um mehr als 30 % und bei bleibender Netzstabilität möglich. Die Einhaltung der geltenden Vorschriften betreffend nicht ionisierende Strahlung und Lärm dürfte allerdings sehr schwierig sein.

Ein Pionier-Projekt in dieser Richtung wird aktuell in Deutschland geplant. Zwischen Osterath in Nordrhein-Westfalen bis nach Philippsburg in Baden-Württemberg ist eine 340 km lange Verbindung in Hybridbauweise auf bestehenden Strommasten einer 380-kV-Wechselstromleitung in Planung, die bis 2020 fertiggestellt werden soll.

Ein grenzüberschreitendes Projekt von der Schweiz nach Italien in HGÜ-Technik ist in Graubünden in Planung. Die Projektidee ist schon relativ alt und besteht unter anderem darin, ein Stück der alten Ölpipeline Genua–Ingolstadt zwischen Sils im Domleschg und Verderio in der Lombardei zu nutzen. Das 1000-Megawatt-Kabelsystem mit dem Namen «Greenconnector» wird von privaten Investoren geplant und ist als Merchant Line gedacht<sup>40</sup>. Eine spätere Einbindung in ein transkontinentales «Super-Netz» auf der Basis der HGÜ-Technologie ist möglich.

### ***Fazit***

Die (Teil-)Implementierung der Gleichstromtechnik (HGÜ) in der Schweiz muss aufgrund der territorialen Gegebenheiten mit einer pragmatischen Sicht individuell geprüft werden. Grundsätzlich kann man aber sagen, dass einzelne HGÜ-Projekte in der Schweiz für den Energietransit über grössere Distanzen (>150 km) sinnvoll sein könnten, weil mit der gleichen Infrastruktur eine grössere Energiemenge übertragen werden kann. Die multifunktionale Nutzung lässt sich mit HGÜ leichter bewerkstelligen, weil der Platzbedarf grundsätzlich geringer ist.

---

<sup>40</sup> Das Projekt ist zurzeit sistiert. Die Frage der Merchant Line ist ebenfalls noch nicht endgültig entschieden.

## 5. Theoretisches Potenzial für eine multifunktionale Nutzung der Verkehrsinfrastrukturen in der Schweiz

In der Analyse in den Kapiteln 2 bis 4 wurden die Chancen und Risiken einer Umsetzung der multifunktionalen Nutzung generell dargestellt. Indirekt ermöglichte sie auch eine umfassende Beurteilung der Herausforderungen einer multifunktionalen Nutzung der Nationalstrassen und Eisenbahnstrecken für die Bündelung mit Hochspannungs- und Höchstspannungsleitungen.

Die Abbildung unten verdeutlicht, inwieweit die Hauptaspekte ein Hindernis für die Erstellung einer Hochspannungsleitung bilden. Dabei wird unterschieden, ob die Hochspannungsleitung im Rahmen einer Bündelung oder einer multifunktionalen Nutzung erstellt wird. Weiter wird nach Art des Projekts (Neubau, Gesamtsanierung und bestehende Infrastruktur) sowie nach den beiden Kategorien Nationalstrassen und Eisenbahnen unterschieden.

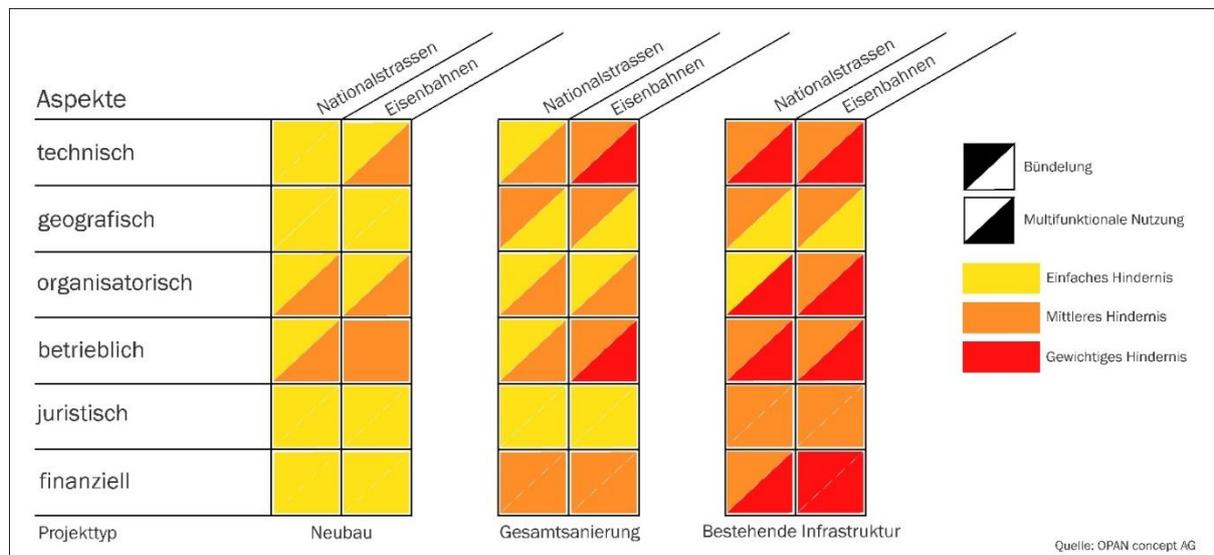


Abbildung 4: Matrix der mit einer multifunktionalen Nutzung der Nationalstrassen und Eisenbahnen mit Hochspannungs- und Höchstspannungsleitungen verbundenen Aspekte (OPAN concept SA, 2016). Diese Matrix fasst die Resultate der im Rahmen dieses Berichts durchgeführten Analysen zusammen.

Der Untergrund des Nationalstrassennetzes wird bis in eine Tiefe von rund zwei Metern bereits sehr stark beansprucht: Elektrische Kabel müssten deshalb noch tiefer verlegt werden (vgl. Kapitel 4.1). Wenn bereits eine Infrastruktur vorhanden ist, besteht deshalb nur ein sehr geringes Potenzial. Bei einer Gesamtsanierung und vor allem bei Neubauten hingegen ist das Potenzial grösser.

Wie das Nationalstrassennetz weist auch das Eisenbahnnetz ein geringes Potenzial für eine multifunktionale Nutzung bestehender Infrastrukturen auf. Das Schienennetz eignet sich allgemein noch weniger gut für eine multifunktionale Nutzung. Dies ist hauptsächlich darauf zurückzuführen, dass seine Trassen deutlich schmaler sind als jene der Nationalstrassen. Die Verlegung von Rohrblöcken oder die Errichtung eines Leitungstunnels unterhalb der Schienen ist sehr schwierig umzusetzen. Ausserdem ist das Eisenbahnnetz weniger flexibel als das Strassennetz: Bei Problemen ist eine Umleitung des Verkehrs schwieriger. Der Zugang zu den Muffenschächten mit einem Bauzug ist denkbar. Nicht realistisch ist es hingegen, die Strecke bei der Kabelverlegung oder im Problemfall während mehrerer Stunden zu belegen<sup>41</sup>. Da die Eisenbahnlinien grösstenteils abseits der Strassen liegen, müssten für den Zugang mit Lastwagen systematisch Zufahrtsstrassen gebaut werden, damit die Kabel verlegt und unterhalten werden könnten.

<sup>41</sup> Erhebliche Auswirkungen auf das gesamte Netz sind wahrscheinlich, wenn der Abschnitt in jede Richtung nur einspurig ist.

### **Fazit**

Die Technologie für leistungsfähige multifunktionale Infrastrukturen steht heute zur Verfügung. Es wurden auch keine grösseren rechtlichen Hindernisse festgestellt. Hingegen können geografische, organisatorische und betriebliche Aspekte und die Problematik der zeitlichen Koordination erhebliche Einschränkungen darstellen (insbesondere die geografische Heterogenität). Sie sind aber nicht unüberwindbar. Bei bestehenden Infrastrukturen ist es zwar sehr schwierig, Kabel darin zu verlegen. Bei einer Gesamtsanierung oder vor allem bei Neubauten werden die Hindernisse für eine multifunktionale Nutzung dieser Infrastrukturen hingegen deutlich kleiner (insbesondere für das Nationalstrassennetz).

## 6. Erfahrungen im In- und Ausland mit der multifunktionalen Nutzung bzw. der Bündelung von Infrastrukturen

### 6.1. Aktuelle Beispiele aus der Schweiz

Die Linienführung von Hochspannungsleitungen entlang der Autobahnen und insbesondere die Mehrfachnutzung des Nationalstrassenareals sind erst in wenigen Fällen realisiert, da jeweils technisch-betriebliche, organisatorische und/oder finanzielle Herausforderungen gelöst werden mussten.

#### ***Bündelungsprojekt Amsteg–Mettlen (bewilligt)***

Ein gutes Beispiel eines Bündelungsprojektes wurde im Kanton Uri bewilligt. Das Projekt wird ab August 2017 realisiert. Das Projekt umfasst die Erneuerung und Verlegung der in den Jahren 1948/49 erstellten 380/220-kV-Leitungstrasse Amsteg–Mettlen der Swissgrid und die Erneuerung und Verlegung der im Urner Talboden parallel geführten 132-kV-Leitung der SBB im Raum Altdorf. Die beiden separat geführten Leitungen werden auf einer Gesamtlänge von knapp 5 km neu auf einer neuen Trasse gebündelt und als Freileitung parallel zur Autobahn und zur Reuss geführt. In den Verhandlungen für die neue Linienführung und Bündelung wurden in mehreren Sitzungen mit den zuständigen Behörden auf nationaler, kantonaler und kommunaler Ebene die verschiedenen Bedürfnisse optimiert. Nebst den Projektanten Swissgrid und SBB waren das ASTRA, das BAFU, der Kanton Uri und die Gemeinde Attinghausen involviert. Das Resultat brachte mehrere Vorteile<sup>42</sup>.

#### ***Multifunktionale Nutzung Gotthardstrassentunnel (geplant / in Diskussion)***

Bei der Planung des neuen Gotthardstrassentunnels wird dessen multifunktionale Nutzung geprüft. Bei den Planungsarbeiten für den neuen Gotthardstrassentunnel (2. Röhre) ist der Tunnelvortrieb mittels einer Tunnelbohrmaschine (TBM) vorgesehen. Der Ausbruchdurchmesser beträgt 12,70 Meter und der nutzbare Hohlraum unterhalb der Fahrbahn wird als Werkleitungskanal (WELK) ausgelegt. Er bietet Platz für alle Leitungen für Energie und Kommunikation sowie die Löschwasserleitung für den Tunnelbetrieb. Die Platzverhältnisse geben zudem die Möglichkeit für eine Nutzung durch Hochspannungskabel, wie z. B. zwei 400-kV-Kabelstränge zu je 3 Phasen. Ob und wann von der Möglichkeit zur Verlegung einer Leitung und der damit möglichen Verstärkung auf der Verbindung ins Tessin Gebrauch gemacht wird, hängt von der periodisch aktualisierten Planung der Netzbetreiber ab.

#### ***Projekt Kilchberg–Waldegg (geplant)***

Zwischen Kilchberg und Waldegg ist eine knapp 7 km lange unterirdische Höchstspannungsleitung (220/380 kV) geplant (BFE. 2015). Vom ersten Abschnitt zwischen Frohalp und der Lüftungszentrale Reppischtal sollte das Kabel durch den Üetlibergtunnel (Länge: 4420 m) verlaufen. Unterhalb der Fahrspuren wurden bereits beim Tunnelbau entsprechende Kabelrohrblöcke gebaut. Die Nutzung des Nationalstrassenperimeters wurde mit Konzessionsverfügung des Kantons Zürich vom 31. August 2005 geregelt und in die vom Bundesrat am 18. Dezember 2015 beschlossene Änderung des SÜL 700 aufgenommen.

#### ***Projekt Genf Flughafen (in Diskussion)***

Im Rahmen des Massnahmenkonzepts für den Autobahnanschluss Grand-Saconnex wurde die Verkabelung einer 220-kV-Leitung von Swissgrid vorgeschlagen (Swissgrid. 2015). Der Autobahnabschnitt beim Flughafen Genf weist verschiedene Bauwerke (unter anderem mehrere Stützmauern) und nahe gelegene Gebäude auf und ist verkehrsmässig stark belastet. Der Vorschlag von Swissgrid muss noch vertieft werden.

---

<sup>42</sup> Keine Querung der Reuss, minimale Querungen der Autobahn, maximale Bündelung der Infrastrukturen, maximale Entlastung der Gemeinden Altdorf und Attinghausen usw.

### **Projekt Grimsel-Bahntunnel (in Diskussion)**

Die gemeinsame Nutzung eines möglichen künftigen Grimsel-Tunnels durch das Eisenbahnnetz und das Höchstspannungsnetz von Swissgrid wird gegenwärtig in einer Studie geprüft (Swissgrid. 2016). 121 Strommasten und 22 km Freileitung könnten rückgebaut werden. Würde eine neue Freileitung über den Pass gebaut und der Bahntunnel allein realisiert, wären die Kosten ersten Schätzungen zufolge praktisch gleich hoch wie jene eines gemeinsamen Tunnels für beide Netze.

Verschiedene Gründe sprechen für eine Verkabelung im Tunnel anstelle einer Freileitung. So sind die geologischen Gegebenheiten an der Oberfläche (Erdrutsch- und Lawinengefahr) relativ schwierig. Ausserdem wären die Auswirkungen auf die Landschaft kleiner (die Grimsellandschaft ist Teil des Bundesinventars der Landschaften von nationaler Bedeutung, Objekte 1507 und 1710). Wahrscheinlich wäre auch die Akzeptanz in der Bevölkerung höher, was Verzögerungen im Bewilligungsverfahren verhindern würde. Noch offen sind die Fragen zur Finanzierung.

### **Fazit**

Bei der Linienführung von geplanten Um- und Neubauten von Hochspannungsleitungen der NE1 wird die übrige Infrastruktur einbezogen, um optimale Lösungen zu finden. Darüber hinaus bestehen in der Schweiz insbesondere bei Tunnelneubauten erste Ansätze, die multifunktionale Nutzung von Nationalstrassen bzw. von Eisenbahnen zu ermöglichen.

## **6.2. Situation im Ausland**

Die Möglichkeiten, Mehrfachnutzungen des Nationalstrassenareals in der Schweiz zu realisieren, sollen im Folgenden auch an bereits ausgeführten bzw. projektierten Beispielen aus dem Ausland<sup>43</sup> gespiegelt werden. Diese kurze Analyse soll dazu beitragen, die künftigen Realisierungschancen in der Schweiz besser einzuschätzen.

Die Ausgangslage für ein Bündelungsprojekt oder eine multifunktionale Nutzung ist jedes Mal anders. Erfahrungen im Ausland müssen dabei mit den schweizerischen Gegebenheiten verglichen werden, auch was die Verfahren und Zuständigkeiten im Ausland betrifft.

### **Mehrfachnutzung von Tunnels**

Die Bündelung von elektrischen Leitungen mit Tunnels, insbesondere Strassentunnels, ist im Bereich von Leitungen bis 150 kV sehr verbreitet und wird weltweit angewendet. Die Bündelung mit Leitungen der NE1 ist hingegen selten anzutreffen. Es gibt realisierte Projekte in Japan (Sannomiya), aber nach Einschätzung der Fachspezialisten des BFE sind in Europa Leitungen der NE1 in Strassentunnels noch nicht Teil des standardmässigen Designs.

Im Zusammenhang mit der Planung des Eisenbahn-Brennerbasistunnels wurde in einer Studie (TEN-E) die Nutzung des Pilotstollens für einen 380-kV-Verbindung von Österreich nach Italien untersucht, aber bislang noch nicht konkretisiert.

In einer weiteren Studie im Rahmen des Förderprogramms TEN-E der Europäischen Union wurde die Möglichkeit der Bündelung einer Hochspannungskabelstrecke mit den Strassengalerien am Grosse St. Bernhard für eine Verbindung Schweiz–Italien geprüft.

### **Mehrfachnutzung von Brückenbauwerken**

Brücken bieten sehr gute Voraussetzungen für die Bündelung bzw. die Mehrfachnutzung von verschiedenen Arten von Netzinfrastrukturen. Entsprechende Projekte unter Einbezug von Leitungen der NE1 sind im Fernen Osten (Japan und China), aber auch in Europa (z. B. Frankreich) zu finden. Insbesondere Japan mit seiner hohen Bevölkerungsdichte hat bereits zahlreiche Projekte auf der gleichen Tragstruktur (Kansai) realisiert.

---

<sup>43</sup> Cigré report 403 «Cable systems in multipurpose or shared structures».

### **Mehrfachnutzung bzw. Bündelung von NE1 mit Verkehrsinfrastrukturen**

Zwischen Spanien und Frankreich wurde ein Streckenabschnitt (8,5 km) einer HGÜ in einem separaten, von der Eisenbahn völlig unabhängigen Stollen parallel zu einem Eisenbahntunnel realisiert. Die übrige Strecke wurde auf freies Gelände realisiert. Grundsätzlich lässt sich auch im Ausland beobachten, dass Strassenprojekte in der Regel die besseren Voraussetzungen für eine Bündelung als Bahnprojekte bieten, weil sie räumlich nicht so eingeengt sind und auch die Zufahrtmöglichkeiten in der Regel optimaler sind. Dies ist insbesondere im Reparaturfall, aber auch im Montagefall besonders wichtig. So sind z. B. bei beschränkten Platzverhältnissen alle 700 m sogenannte Muffenschächte nötig, weil keine grösseren Kabeltrommeln herangebracht werden können. Bei Verbindungen parallel zu Strassen und auf Freiflächen mit fast unbeschränkten Zufahrtmöglichkeiten sind hingegen Kabellängen von bis zu 2300 m möglich (vgl. auch HGÜ 320 kV Baixas–Sta Llogaia). Dies ermöglicht bei grossen Distanzen erhebliche Kosteneinsparungen und erhöht die Wettbewerbsfähigkeit gegenüber anderen Kabel-Leitungsprojekten.

### **Fazit**

Die Bündelung von Infrastrukturanlagen im Bereich Strasse und Elektrizitätsnetzinfrastruktur der NE1 wird heute vermehrt diskutiert und gelangt entsprechend im Ausland bereits zum Einsatz. Insbesondere in urbanen Gebieten wird mehr und mehr die gleiche Trasse für die Verkehrsinfrastrukturprojekte und Übertragungsleitungsprojekte der NE1 benutzt. Die Entwicklung im Ausland zeigt zudem, dass die technischen Fortschritte bei der Kabelproduktion hin zu leichteren Kabeln gehen. Dadurch sind längere Kabelsegmente und damit weniger Muffenschächte möglich, was die Mehrfachnutzung von Nationalstrassen unterstützen kann.

## 7. Schlussfolgerungen

Die Prüfung der im Postulat aufgeworfenen technischen Fragen ergibt, dass eine multifunktionale Nutzung der Verkehrsinfrastrukturen aus bautechnischer Sicht realisierbar ist und für die meisten der berücksichtigten Situationen Lösungen zur Verfügung stehen. Eine multifunktionale Nutzung der Nationalstrassen und Eisenbahnstrecken kann zum Landschaftsschutz und zur haushälterischen Bodennutzung beitragen. Allerdings gilt sie in der Regel als kostspielige und in Bezug auf die Koordination schwierige Aufgabe.

Da bei der Planung multifunktionaler Infrastrukturen viele verschiedene, komplexe Faktoren zu berücksichtigen sind, konnte das effektive Potenzial für die Umsetzung solcher Infrastrukturen in der Schweiz nicht beurteilt werden. Dieses muss im Einzelfall geprüft werden. Dennoch kann bestätigt werden, dass das grösste Potenzial bei Gesamtsanierungen und vor allem bei Neubauten besteht. Das Nationalstrassennetz ist ausserdem besser für eine multifunktionale Nutzung geeignet als das Eisenbahnnetz.

Der Grundsatz der Bündelung von Infrastrukturen ist allgemein anerkannt. Er wurde bereits in verschiedene Gesetzestexte aufgenommen und ist Bestandteil der meisten raumplanerischen Instrumente. Er ist somit mit den Zielen der Bundespolitiken in diesem Bereich vereinbar. In juristischer Hinsicht wurde kein grundlegender struktureller Mangel festgestellt.

### ***Grosse Bedeutung einer frühzeitigen Koordination***

In der Theorie sollten es die Sachpläne ermöglichen, die sachplanrelevanten Projekte untereinander und mit der gewünschten Raumentwicklung abzustimmen. Das Instrument Sachplan, mit dem Standorte für spezifische Nutzungen reserviert werden können, ist somit das geeignete Instrument, um die Machbarkeit einer multifunktionalen Nutzung zu prüfen. In der Praxis werden die möglichen Synergien zwischen den Infrastrukturen (neue oder bestehende Infrastrukturen mit Sanierungsbedarf) weder aufgezeigt noch ausreichend genutzt. Die Infrastrukturplanung erfolgt deshalb sehr häufig nach Sachbereichen<sup>44</sup>. Dabei fühlt sich keine Bundesbehörde zuständig für die Förderung des Grundsatzes der multifunktionalen Nutzung von Infrastrukturen. Die einzelnen Sachpläne (insbesondere der Sachplan Infrastruktur Strasse und der Sachplan Übertragungsleitungen) müssen deshalb vermehrt miteinander kommunizieren und verstärkt vorausschauende Elemente beinhalten.

Für die Koordination erschwerend kommt hinzu, dass das Strom-, das Strassen- und das Bahnnetz jeweils unterschiedliche Lebenszyklen und Planungshorizonte (Investitionen, Erneuerung) aufweisen. Damit multifunktionale Infrastrukturen geplant werden können, müssen die möglichen Synergien deshalb frühzeitig erkannt werden. Die für die Planung der verschiedenen Netze verantwortlichen Akteure müssen schon in den ersten Planungsphasen eng zusammenarbeiten. Sie müssen über eine Gesamtsicht der in den kommenden 10 bis 15 Jahren bevorstehenden Arbeiten für neue Infrastrukturen oder grundlegende Sanierungen verfügen, um das Bündelungspotenzial summarisch analysieren zu können. Dazu müssen die Abstimmung und Zusammenarbeit zwischen den betroffenen Infrastrukturämtern des Bundes (ASTRA, BAV und BFE) sowie mit den Organisationen, die öffentliche Aufgaben wahrnehmen (Swissgrid und SBB), dynamischer gestaltet werden. Dies bedingt auch eine bessere Kommunikation zwischen bestehenden Instrumenten und Verfahren.

### ***Massnahmen für eine bessere Berücksichtigung der Synergien***

Eine allgemeine Lösung, die sich für alle Fälle eignet, ist nicht realistisch. Deshalb muss ein Prozess eingerichtet werden, mit dem mögliche Synergien früher festgestellt werden können. So können beispielsweise bei einer Pannestreifenumnutzung, einer Strassenverbreiterung oder einem Tunnelneubau bereits in einer sehr frühen Planungsphase die Möglichkeiten für eine Verlegung von NE1-Kabeln beurteilt werden. Auf diese Weise könnte der Übergang zu multifunktionalen Infrastrukturen unter Berücksichtigung der Entwicklung der einzelnen Netze erfolgen. Damit dieses Ziel erreicht werden

---

<sup>44</sup> Im Rahmen des Berichts des Bundesrats in Erfüllung des Postulats 13.3461, Albert Vitali, vom 18. Juni 2013 (Evaluation der Sachplanung des Bundes, Bundesrat, 2017) zeigt sich bereits, dass der Bundesrat die Sachplanung verbessern und insbesondere eine «Stärkung der bundesinternen Koordination zwischen den Sachbereichen und eine verstärkt vorausschauende Planung», «eine Verbesserung der Abstimmung zwischen den verschiedenen Sachbereichen» und «[die Formulierung, AdR.] klarerer Vorgaben für Bundesstellen, welche Sachpläne erarbeiten und überarbeiten» erreichen will, um so die Effizienz zu erhöhen.

und ein gemeinsamer Nenner für die sehr zahlreichen unterschiedlichen Interessen gefunden werden kann, müssen alle Akteure in die strategische Planung eingebunden werden.

Der Bundesrat unterstützt ein solches Vorgehen und beauftragt das UVEK, über den im Rahmen der Raumordnungskonferenz des Bundes (ROK)<sup>45</sup> eingesetzten *Ausschuss Sachplanung*<sup>46</sup> jährlich für die drei Netze (Strom-, Bahn- und Strassennetz) einen Überblick über die Projekte für Infrastruktureneubauten oder für Infrastrukturen, die eine umfassende Sanierung benötigen, zu erstellen und ihr Potenzial für eine Bündelung oder multifunktionale Nutzung systematisch zu analysieren.

Unter Federführung des ARE wird in enger Zusammenarbeit mit dem ASTRA, dem BAV und dem BFE und unter Einbindung von Swissgrid und der SBB ein kurzer Bericht erstellt werden. Darin werden die Bedürfnisse der verschiedenen Netze (für die nächsten 10 bis 15 Jahre) und eine Liste der möglichen Synergien zusammengefasst werden. Auf Basis dieser Ergebnisse werden die Bundesämter des UVEK und die betroffenen Bundesstellen die verschiedenen bestehenden Sachpläne verstärkt aufeinander abstimmen, damit Lösungen für eine multifunktionale Nutzung der Nationalstrassen besser berücksichtigt werden können. Im Rahmen der jährlichen Aktualisierung dieser Liste werden die betroffenen Bundesämter und -stellen festhalten, wie die Synergien genutzt worden sind (Überwachungsmechanismus). Der Ausschuss wird auch sicherstellen, dass der Grundsatz der Nutzung der Synergien zwischen Infrastrukturen in den entsprechenden Sachplänen auf angemessene Weise übernommen wird. Das Ergebnis dieser Analysen wird dem Bundesrat periodisch, jeweils im Rahmen der Berichterstattung gemäss Artikel 6 der Verordnung über die Koordination und Kooperation bei raumrelevanten Bundesaufgaben (SR 709.17 KoVo), erstmals spätestens bis 2020 unterbreitet.

Für eine bessere Koordination der Planungen für die einzelnen Infrastrukturen braucht es eine bessere amtsübergreifende Zusammenarbeit und eine verstärkte Kommunikation zwischen den bestehenden Instrumenten der Sachplanung. Eine Evaluation der Potenziale für die multifunktionale Nutzung setzt also – neben leistungsfähigen Instrumenten – voraus, dass die betroffenen Akteure, insbesondere das ARE, das ASTRA, das BFE und Swissgrid sowie das BAV und die SBB, die angemessenen Ressourcen zur Verfügung stellen.

---

<sup>45</sup> Als verwaltungsinterne Koordinationsplattform für raumwirksame Politiken eignet sich die ROK am besten für diese Aufgabe. Sie ist aus Vertretern aller raumrelevanten Organisationen des Bundes zusammengesetzt und koordiniert raumordnungspolitisch relevante Aufgaben.

<sup>46</sup> Fachlicher Ausschuss unter Federführung des Bundesamtes für Raumentwicklung im Sinne von Art. 4 Abs. 5 KoVo, der infolge des Berichts des Bundesrates über die Evaluation der Sachplanung eingesetzt wurde (vgl. Postulat 13.3461 Vitali).

## Liste der Abkürzungen

|             |  |
|-------------|--|
| AC          | <i>Alternating Current</i> , Wechselstrom  |
| AGW         | Anlagegrenzwerte   |
| ARE         | Bundesamt für Raumentwicklung  |
| ASTRA       | Bundesamt für Strassen   |
| BAFU        | Bundesamt für Umwelt   |
| BAV         | Bundesamt für Verkehr  |
| BFE         | Bundesamt für Energie  |
| BUWAL       | Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (heute BAFU)   |
| DC          | <i>Direct Current</i> , Gleichstrom  |
| EIT-Studien | Studien zu räumlichen Auswirkungen von Verkehrsinfrastrukturen   |
| EICom       | Eidgenössische Elektrizitätskommission   |
| EleG        | Bundesgesetz vom 24. Juni 1902 betreffend die elektrischen Schwach- und Starkstromanlagen (EleG; SR 734.0) |
| ES2050      | Energiestrategie 2050  |
| ESTI        | Eidgenössisches Starkstrominspektorat  |
| FABI        | Finanzierung und Ausbau der Bahninfrastruktur  |
| HGÜ         | Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung  |
| HVDC light  | Von ABB entwickelte Gleichstromtechnik   |
| IGW         | Immissionsgrenzwerte   |
| KoVo        | Verordnung über die Koordination und Kooperation bei raumrelevanten Bundesaufgaben                         |
| μT          | Mikrotesla   |
| MISTRA      | Management-Informationssystem Strasse und Strassenverkehr  |
| NAF         | Nationalstrassen- und Agglomerationsverkehrsfonds  |
| NE          | Netzebene (des Schweizer Übertragungsnetzes)   |
| NHG         | Bundesgesetz vom 1. Juli 1966 über den Natur- und Heimatschutz (NHG; SR 451)                               |
| NIS         | Nichtionisierende Strahlung  |
| NISV        | Verordnung vom 23. Dezember 1999 zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV; SR 814.710)            |
| NSG         | Bundesgesetz vom 8. März 1960 über die Nationalstrassen (NSG, SR 725.11)                                   |
| NSV         | Nationalstrassenverordnung vom 7. November 2007 (NSV; SR 725.111)  |
| OMEN        | Orte mit empfindlicher Nutzung   |
| ROK         | Raumordnungskonferenz des Bundes   |
| RPG         | Bundesgesetz vom 22. Juni 1979 über die Raumplanung (RPG; SR 700)  |
| RPV         | Raumplanungsverordnung vom 28. Juni 2000 (RPV; SR 700.1)   |
| SBB         | Schweizerische Bundesbahnen  |
| SIN         | Sachplan Verkehr, Teil Infrastruktur Strasse   |
| SIS         | Sachplan Verkehr, Teil Infrastruktur Schiene   |
| STEP        | Strategisches Entwicklungsprogramm Infrastruktur   |
| SÜL         | Sachplan Übertragungsleitungen   |
| Swissgrid   | Unabhängige nationale Netzgesellschaft der Schweiz   |
| TLM         | Topografisches Landschaftsmodell   |
| UVEK        | Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation                                 |

## Glossar

|  |  |
|--|--|
| Bündelung von Infrastrukturen                          | Unter Bündelung wird in diesem Bericht eine räumliche Nähe von mehreren Verkehrs- oder Energieübertragungsinfrastrukturen verstanden.  |
| Gesamtausbau/Gesamtsanierung                           | Umfangreiche Arbeiten, die den Zugang zum Untergrund des Nationalstrassen- und Eisenbahnnetzes ermöglichen.  |
| Merchant Line  | Leitung im grenzüberschreitenden Übertragungsnetz, deren Erstellung über Privatinvestitionen finanziert wurde  |
| Muffenschacht  | Schacht, in dem die Kabel für die Erstellung unterirdischer Leitungsabschnitte verlegt werden; bei nicht zugänglichen technischen Varianten (Rohrblöcke oder gesteuerte Bohrung) ermöglicht ein Muffenschacht auch die Verbindung zweier Kabelenden. |
| Multifunktionale Nutzung von Verkehrsinfrastrukturen   | Unter einer multifunktionalen Nutzung von Verkehrsinfrastrukturen wird in diesem Bericht die Mehrfachnutzung des Verkehrsareals verstanden, d. h. dass das Verkehrsareal mindestens einen anderen Infrastrukturtyp beherbergt.                       |
| Multifunktionalität                                    | Mehrfachnutzung einer Infrastruktur.   |
| Netz NE1 (Höchstspannung im Übertragungsnetz)          | Stromleitungen des Höchstspannungsnetzes mit Spannungen von 380 kV oder 220 kV.  |
| Netzebene (NE)   | Das Schweizer Stromnetz unterteilt sich in sieben Netzebenen. Dazu zählen nebst Höchst-, Hoch-, Mittel- und Niederspannungsnetz auch drei Transformierungsebenen. Swissgrid ist Eigentümerin des Schweizer Übertragungsnetzes.                       |
| Rohrblock  | Unterirdisch verlegte Gruppe von Kabeln.   |
| Unterirdische Verlegung, Erdverlegung oder Verkabelung | Technische Variante, bei der die Stromkabel unterirdisch verlegt werden.   |
| Zuständige Behörde                                     | Entscheidungsinstanz, welche die Oberaufsicht wahrnimmt und die nötigen Bewilligungen erteilt.   |

## Literatur

- Aeberhard M., Vollenwyder R., Haag C., Aeberhardt B. (2012): Resonanzproblematik im SBB Energienetz.
- ARE (2015): Räumliche Auswirkungen von Verkehrsinfrastrukturen in der Schweiz.
- ARE (2017): Konzept Windenergie – Basis zur Berücksichtigung der Bundesinteressen bei der Planung von Windenergieanlagen. Bern.
- ASTRA & Ecoplan NISTRA (2003): Nachhaltigkeitsindikatoren für Strasseninfrastrukturprojekte. Bern.
- ASTRA (2002): Richtlinie – Normalprofile, Rastplätze und Raststätten der Nationalstrassen. Bern.
- ASTRA (2015): Strassen und Verkehr. Zahlen und Fakten. Bern.
- ASTRA. Unterhaltsplanung [Internet: <http://www.astra.admin.ch> > Themen > Nationalstrassen > Baustellen und Projekte > Wissenswertes > Unterhaltsplanung Nationalstrassen. Zugriff: Januar 2016].
- BAFU (2007): Hochspannungsleitungen. Vollzugshilfe zur NISV. Vollzugs-, Berechnungs- und Messempfehlung. Entwurf zur Erprobung. In *Umwelt-Vollzug*. Bern.
- BAFU (2011): Landschaftsstrategie BAFU. Bern.
- BAFU (2015): BAFU-Strategie ländlicher Raum. Bern.
- BAV (2014): Dokumentation Planungsgrundlagen STEP Ausbauschnitt 2030.
- BAV & Ernst Basler + Partner NIBA. (2006: Nachhaltigkeitsindikatoren für Bahninfrastrukturprojekte).
- Bernard P. et al. (2012): Parc naturel régional de la Narbonnaise en Méditerranée – Étude de l'impact des infrastructures sur la fragmentation de la Trame verte et bleue: Note méthodologique.
- BFE (2007): Schlussbericht der Arbeitsgruppe Leitungen und Versorgungssicherheit (AG LVS).
- BFE (2009): Bericht über die Ergebnisse der Anhörung zum Prüfungs- und Beurteilungsschema «Kabel-Freileitung» auf 220/380 kV-Ebene.
- BFE (2015): Sachplan Übertragungsleitungen 700 Leitungszug Waldegg–Wollishofen. Erläuternder Bericht gemäss Bundesratsbeschluss vom 15. Dezember 2015. Bern.
- BFE (2016): Rückgrat der Versorgung. In *Energieia* Nummer 2 | März 2016. Bern.
- BFE, BAFU, ARE, EICom (2013): Bewertungsschema für Übertragungsleitungen. Bern.
- Buser H. et al. (2004): Externe Kosten des Verkehrs im Bereich Natur und Landschaft – Monetarisierung der Verluste und Fragmentierung von Habitaten. Hrsg. Bundesamt für Raumentwicklung ARE, Bundesamt für Strassen BAV, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL. Bern.
- BUWAL et al. (1998): Landschaftskonzept Schweiz. Teil I Konzept; Teil II Bericht. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft/Bundesamt für Raumplanung (Hrsg.), in Reihe: «Konzepte und Sachpläne» (Art. 13 RPG). Bern.
- BUWAL (2003): Landschaft 2020 – Erläuterungen und Programm. Synthese zum Leitbild des BUWAL für Natur und Landschaft. Bern.
- BUWAL (2005): Elektrosmog in der Umwelt.
- Consentec GmbH (2013): Grundlagen für eine Berechnungsmethode zum Kostenvergleich zwischen Kabeln und Freileitungen sowie zur Festlegung eines Mehrkostenfaktors.
- David Altwegg und Sektion Geoinformation (2013): Die Bodennutzung in der Schweiz – Auswertungen und Analysen. Bundesamt für Statistik BFS. Neuenburg.

- Ecoplan eNISTRA (2010): ein Tool für zwei sich ergänzende Methoden zur Bewertung von Strasseninfrastrukturprojekten: NISTRA: Nachhaltigkeitsindikatoren für Strasseninfrastrukturprojekte, KNA: Kosten-Nutzen-Analyse gemäss VSS-Normen SN 641 820–SN 641 828, Handbuch eNISTRA. Bern und Altdorf.
- Ecoplan, Infras (2014): Externe Effekte des Verkehrs 2010 – Monetarisierung von Umwelt-, Unfall- und Gesundheitseffekten. Kurzfassung. Bern, Zürich und Altdorf.
- EDI (1980): Elektrizitätsübertragung und Landschaftsschutz: Wegleitung für die landschaftsschonende Gestaltung von Übertragungsanlagen für elektrische Energie und Nachrichten. Bern (es ist keine gedruckte Fassung vorhanden).
- Europarat. Abteilung für Kulturerbe, Landschaft und Raumplanung, Direktion für Kultur, Kultur- und Naturerbe (2000): Europäisches Landschaftsübereinkommen und Referenzdokumente. Strassburg.
- Frutiger AG (2014): Kabelstudie Binnaquerung, Machbarkeitsstudie Brücke. Machbarkeitsstudie.Thun.
- GS-UVEK (2010): Zukunft der nationalen Infrastrukturnetze in der Schweiz. Bericht des Bundesrates vom 17. September 2010.
- Hürlimann B. et al. (2014): Analyse für das Bundesamt für Energie (BFE) betreffend Hauptstossrichtungen zur Verfahrensbeschleunigung. Baden.
- Kägi, B., Stalder, A., Thommen, M. (2002): Wiederherstellung und Ersatz im Natur- und Landschaftsschutz. Leitfaden Umwelt Nr. 11, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. Bern.
- OPAN concept SA (2016): Rapport d'experts externes sur les enjeux technico-constructifs, d'exploitation, organisationnels et juridiques ainsi que les conditions cadres pour une utilisation multifonctionnelle des infrastructures de routes nationales et/ou des réseaux ferroviaires. Rapport final.
- Republik und Kanton Jura. 2011: Fiche 2.11 Lignes de transport de l'électricité.
- ROR (2014): Aussprache des Rats für Raumordnung ROR mit einer Delegation der Eidgenössischen Natur und Heimatschutzkommission ENHK und des Bundesamts für Umwelt BAFU am 5. Juni 2014 zum Thema Landschaftsentwicklung. Stellungnahme an die Vorsteherin des Eidgenössischen Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK und an den Vorsteher des Eidgenössischen Departements für Wirtschaft, Bildung und Forschung WBF. Bern.
- Schweizerischer Bundesrat (2009): Botschaft zum Programm zur Beseitigung von Engpässen im Nationalstrassennetz und zur Freigabe von Mitteln (09.084).
- Schweizerischer Bundesrat, KdK, BPUK, SSV, SGV. (2012): Raumkonzept Schweiz. Überarbeitete Fassung. Bern.
- Schweizerischer Bundesrat (2013a): Bericht über die strukturelle Situation des Schweizer Tourismus und die künftige Tourismusstrategie des Bundesrates. Bericht in Erfüllung der Motion 12.3985 der Finanzkommission des Nationalrates vom 9. November 2012 und der Motion 12.3989 der Finanzkommission des Ständerates vom 13. November 2012. Bern.
- Schweizerischer Bundesrat (2013b): Strategie Stromnetze; Detailkonzept im Rahmen der Energiestrategie 2050.
- Schweizerischer Bundesrat (2016a): Botschaft zum Bundesgesetz über den Um- und Ausbau der Stromnetze (16.035). Bundesblatt 2016 Nr. 19 vom 18. Mai 2016, 3865-3946.
- Schweizerischer Bundesrat (2016b): Strategie Nachhaltige Entwicklung 2016–2019. Bern.
- Schweizerischer Bundesrat (2017): Evaluation der Sachplanung. Bericht vom 26. April 2017. Bern.
- SECO (2002): Plausibilisierung Nutzenschätzung Landschaft für den Tourismus. Bern.

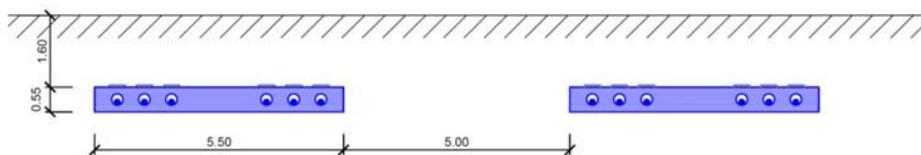
- SECO (2010): Wachstumsstrategie für den Tourismusstandort Schweiz: Bericht des Bundesrates vom 18. Juni 2010 in Erfüllung des Postulates 08.3969, Darbellay, vom 19. Dezember 2008. Bern.
- SECO (2016): Umsetzungsprogramm der Tourismuspolitik 2016–2019. Bern.
- Stuber A. (2008): Qualität von Natur und Landschaft: Instrument zur Bewertung. Handbuch für die Feldaufnahmen und die Auswertung. Anhang zur Mitteilung des BAFU als Vollzugsbehörde «Pärke von nationaler Bedeutung. Richtlinie für Planung, Errichtung und Betrieb von Pärken». Umwelt-Vollzug Nr. 0802. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- Swisselectric. Fiche d'information concernant l'enfouissement de lignes très haute tension [Internet: <http://www.swisselectric.ch>; Zugriff: Januar 2016].
- Swissgrid (2013): Erdverkabelung im Höchstspannungsnetz [Internet: [https://www.swissgrid.ch/dam/swissgrid/company/publications/de/erdverkabelung\\_HSN\\_de.pdf](https://www.swissgrid.ch/dam/swissgrid/company/publications/de/erdverkabelung_HSN_de.pdf) Bern; Zugriff: Januar 2017].
- Swissgrid (2015): Bericht zum Strategischen Netz 2025.
- Swissgrid (2016): Factsheet Grimseltunnel [Internet: [https://www.swissgrid.ch/dam/swissgrid/grid/grid\\_expansion/mettlen\\_ulrichen/innertkirchen\\_ulrichen/factsheet\\_grimseltunnel\\_de.pdf](https://www.swissgrid.ch/dam/swissgrid/grid/grid_expansion/mettlen_ulrichen/innertkirchen_ulrichen/factsheet_grimseltunnel_de.pdf); Zugriff: März 2016].
- Swissgrid. Daten und Fakten zum Schweizer Stromübertragungsnetz 2014 [Internet: <https://www.swissgrid.ch/swissgrid/de/home/reliability/griddata.html>; Zugriff: Januar 2016].
- Swissgrid. Infrastrukturpartnerschaften schaffen Mehrwert. Medienkonferenz vom 4. Februar 2016.
- Swissgrid (2017): Erdverkabelung im Höchstspannungsnetz.
- Teuscher P. (Einfache Gesellschaft Grimseltunnel). Das Projekt Hochspannungsleitungen und Bahn im Grimsel. Präsentation Medienkonferenz, den 4. Februar 2016.
- TU Graz, Institut für elektrische Anlagen (2013): Gutachten über Resonanzproblematik im Übertragungsnetz der SBB. Im Auftrag des BAV. Graz.
- UVEK, BFE (2001a): Sachplan Übertragungsleitungen (SÜL). Bern.
- UVEK, BFE (2001b): Erläuternder Bericht zum Sachplan Übertragungsleitungen (SÜL). Bern.
- UVEK, BFE (2013): Handbuch zum Bewertungsschema Übertragungsleitungen. Bern.
- UVEK, BAV (2015): Sachplan Verkehr, Teil Infrastruktur Schiene SIS. Anpassungen und Ergänzungen. Bern.
- Vonwil R. (2014): Verkabelung von Hochspannungsleitungen als Beitrag zur Energiewende [Internet: <http://naturschutz.ch/news/verkabelung-von-hochspannungsleitungen-als-beitrag-zur-energiewende/91554>; Zugriff: Oktober 2016].

# Anhänge

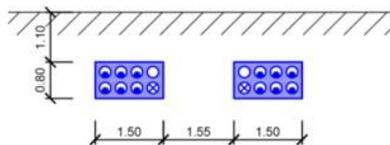
## Anhang 1: Standardlösungen für eine Erdverkabelung der NE1

Aus technischer Sicht gibt es für die Verkabelung einer Leitung des NE1 mehrere Lösungen (OPAN concept SA. 2016):

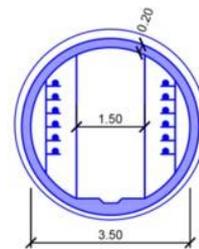
- Rohrblöcke (Modell A und B) werden in offener Bauweise verlegt. Nach der Auffüllung der Gräben sind die Kabel nur in den Muffenschächten zugänglich;
- Durch Leitungstunnel (Modell C) ist eine Inspektion der Kabel entlang der gesamten Trasse möglich. Ihr Bau ist allerdings kostspielig und komplex;
- Die gesteuerte Bohrung (Modell D) wird gewöhnlich für kurze Distanzen und die Unterquerung anderer Netze oder z. B. von Gewässern verwendet;
- Der oberirdische Kabelkasten (Modell E) ist ein Sonderfall, der insbesondere in der Umgebung von Unterwerken zur Verbindung der Kabel mit dem Werk verwendet wird. Es handelt sich nicht zwingend um eine Technik für die multifunktionale Nutzung; sie kann aber im Rahmen der Bündelung von Infrastrukturen eingesetzt werden.



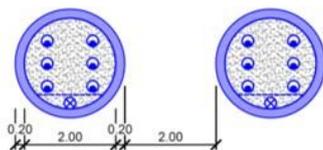
**A**  
Rohrblock  
2x 5.50m



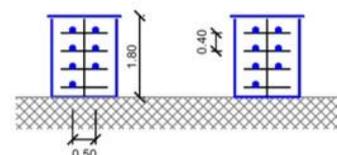
**B**  
Rohrblock  
2x 1.50m



**C**  
Leitungstunnel  
Ø3.50m



**D**  
Bohrung  
2x Ø2.00m



**E**  
Oberirdischer  
Kabelkasten  
2x 1.80m

Jede Variante weist Vor- und Nachteile auf (Erstellungsdauer, Zugangsmöglichkeit bei Pannen, Raumbedarf usw.). Welche technische Variante gewählt wird, hängt von den konkreten Nutzungsbedingungen ab.

**Anhang 2: Berücksichtigung des Grundsatzes der Bündelung von Infrastrukturen in den Sachplänen und Konzepten und im Raumkonzept Schweiz**

|   |  |
|---|--|
| <p><b>Sachplan Verkehr, Teil Infrastruktur Schiene, SIS (UVEK, BAV. 2015)</b></p>   | <p>Der Sachplan Verkehr, Teil Infrastruktur Schiene (SIS), ist ein Instrument des Bundes, der sich mit den Infrastrukturen für den Schienenverkehr befasst, die sich in seinem Kompetenzbereich befinden. Er hält Folgendes fest: <i>«Eine Bündelung der Leitungen untereinander und mit anderen Infrastrukturanlagen ist anzustreben, damit der Flächenverbrauch und die Landschaftsbeeinträchtigungen minimiert werden können»</i> (S. 64).</p>  |
| <p><b>Sachplan Übertragungsleitungen, SÜL (UVEK, BFE. 2001)</b></p>                 | <p>Der Sachplan Übertragungsleitungen (SÜL) ist das «übergeordnete Planungs- und Koordinationsinstrument des Bundes für den Aus- und Neubau der Hochspannungsleitungen» (BFE. 2015). Er stellt fest: <i>«Für die weitere Entwicklung des SÜL können auch allfällige Zusammenlegungen von Bedeutung sein»</i> (S. 33), <i>«Eine Bündelung der Leitungen untereinander und mit anderen Infrastrukturanlagen ist anzustreben, damit der Flächenverbrauch und die Landschaftsbeeinträchtigungen minimiert werden können»</i> (S. 36), <i>«Die heutigen Netze sind nicht fix. Im Zusammenhang mit neuen Vorhaben werden auch bestehende Leitungen überprüft (Zweckmässigkeit, Zusammenlegungspotential usw.)»</i> (S. 392) und <i>«Bei Ausbauten und Erneuerungsvorhaben im historisch gewachsenen Netz steht die schrittweise Verbesserung der Leitungstrassees und der Ausnutzung des Zusammenlegungspotentials im Vordergrund»</i> (S. 414).</p> |
| <p><b>Erläuternder Bericht zum SÜL (UVEK, BFE. 2001b)</b></p>                       | <p>Der erläuternde Bericht zum SÜL<sup>47</sup> hält Folgendes fest: <i>«Bisher von Übertragungsfreileitungen unbelastete Landschaften sind vorrangig freizuhalten, insbesondere sind Leitungen [...] möglichst mit bestehenden Infrastrukturanlagen zu bündeln, damit der Flächenverbrauch und die Landschaftsbeeinträchtigungen minimiert werden können.»</i> (S. 12)</p>  |
| <p><b>Handbuch zum Bewertungsschema Übertragungsleitungen (UVEK, BFE. 2013)</b></p> | <p>Das Handbuch zum Bewertungsschema für Übertragungsleitungen wurde vom BFE in Zusammenarbeit mit dem BAFU, dem ARE und der EICom erarbeitet. Es ist ein Arbeitsinstrument für die Bewertung von Korridoren für Hochspannungsleitungen. Die multifunktionale Nutzung der Infrastrukturen wird nicht direkt erwähnt. Hingegen wird der Grundsatz der Bündelung von Infrastrukturanlagen im Rahmen der Planung der Übertragungsleitungen aktiv gefördert<sup>48</sup>.</p>  |
| <p><b>Sachplan Verkehr, Teil Infrastruktur Strasse, SIN (in Erarbeitung)</b></p>    | <p>Der Sachplan Verkehr, Teil Infrastruktur Strasse (SIN), befindet sich gegenwärtig in der Anhörung gemäss Artikel 19 RPV. Er befasst sich mit den allgemeinen Zielen und Grundsätzen, den laufenden Programmen und den Aufgaben der Nationalstrassen. Unter den Grundsätzen in Teil 3.3 des SIN findet sich eine verbindliche Bestimmung betreffend die Frage der Bündelung von Infrastrukturen<sup>49</sup>.</p>  |

<sup>47</sup> Handbuch zum Bewertungsschema Übertragungsleitungen.

<sup>48</sup> *«Bei der Planung der Leitung muss das Potenzial für eine Bündelung mit anderen linearen Infrastrukturen so weit wie möglich berücksichtigt werden. Dies gilt sowohl für Kabel als auch für Freileitungen. [...] Es soll auch aufgezeigt werden, ob es vorgesehen ist, dass im Rahmen von umfassenderen Leitungskonzepten weitere Leitungen im geplanten oder evtl. in einem anderen bestehenden Korridor im selben Raum gebündelt oder verkabelt werden. In den Unterlagen muss nachgewiesen werden, dass die Bündelungspotenziale mit anderen Anlagen in Betracht gezogen wurden.»*

<sup>49</sup> *«Eine Bündelung der Nationalstrassenanlage mit anderen Infrastrukturanlagen ist anzustreben, damit der Flächenverbrauch und die Landschaftsbeeinträchtigung minimiert werden können.»*

|  |  |
|--|--|
| <p><b>Landschaftskonzept Schweiz<br/>(BUWAL et al. 1998)</b></p>                             | <p>Das Landschaftskonzept Schweiz ist ein Instrument, das für den Schutz und die nachhaltige Nutzung der Landschaft allgemeine Ziele für die gesamte Schweiz und Sachziele für bestimmte Bereiche festlegt. Eines seiner Sachziele ist die Optimierung <i>«der Nutzung und Gestaltung [...] bestehender Anlagen [...] hinsichtlich dem Ziel der überlagernden Nutzung [...]»</i> (Teil I Konzept, Ziel D, Seite 13). Teil II des Berichts hält unter den Allgemeinen Zielen <i>«Natur und Landschaft»</i> fest, dass <i>«Infrastrukturen und andere Anlagen auf das notwendige Minimum [zu] beschränken»</i> und [räumlich, AdR.] zusammenzufassen sind (S. 31). Im Teil Energie des Berichts werden die entsprechenden Sachziele festgehalten: Hier findet man den Grundsatz der Nutzung bestehender Korridore für neue Leitungen.</p>  |
| <p><b>Raumkonzept Schweiz<br/>(Schweizerischer Bundesrat, KdK, BPUK, SSV, SGV. 2012)</b></p> | <p>Das Raumkonzept Schweiz ist eine strategische Vision für eine nachhaltige Raumentwicklung in der Schweiz, die von den drei Staatsebenen getragen wird. Es fordert insbesondere die Erhaltung und Stärkung der räumlichen Qualitäten der Schweiz trotz steigender Nutzungsansprüche (beispielsweise für die Mobilität oder den Energieverbrauch) und den daraus entstehenden Nutzungskonflikten. Um diese Ziele zu erreichen, setzt das Raumkonzept Schweiz auf drei Strategien, von denen die zweite (Siedlungen und Landschaften mit einer haushälterischen Nutzung des Bodens aufwerten) und die dritte (Verkehr, Energie und Raumentwicklung besser aufeinander abstimmen) für die Frage der Bündelung von Infrastrukturen von Bedeutung sind. Das Raumkonzept Schweiz fordert dazu auf, <i>«die Infrastrukturen optimal zu nutzen und die nachteiligen Auswirkungen zu begrenzen»</i>. Die Frage der Bündelung von Infrastrukturen wird ausdrücklich erwähnt: <i>«Wo Neubauten nötig sind, gilt es, Synergien mit anderen Infrastrukturanlagen zu nutzen. Diese Massnahmen vermeiden nachteilige Auswirkungen auf Boden, Besiedlung, Gesundheit und Biodiversität.»</i></p> |