

*Studie:*

# ***Technologische Weiterentwicklung des Bahnsystems 2050***

*Im Auftrag des Bundesamtes für Verkehr (BAV)*

**28.01.2022**

M. Nold, B. Büchel, F. Leutwiler, S. Lotz, A. Marra, F. Corman

**ETH Zürich**

**Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT)**

Departement Bau, Umwelt und Geomatik

Stefano-Francini-Platz 5

8093 Zürich

<http://www.ivt.ethz.ch>

### **Sprachliche Gleichbehandlung**

Aus Gründen der einfacheren Lesbarkeit wird im Bericht auf die geschlechtliche Differenzierung verzichtet. Entsprechende Begriffe gelten jedoch im Sinne der Gleichbehandlung für alle Geschlechter (weiblich, männlich, divers).

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Details zur Methodik .....</b>	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>Expertenaussagen aus den Interviews .....</b>	<b>14</b>
3.1	Automatisierung .....	14
3.2	Infrastruktur- und Fahrzeugnutzung .....	24
3.3	Neue Materialien und Energielösungen .....	40
3.4	Neues Angebotsdesign und –steuerung .....	48
3.5	Güterverkehr .....	57
3.6	Revolutionäre Systemänderungen.....	67
3.7	Themenübergreifende Aspekte .....	77
<b>4</b>	<b>Synopsis .....</b>	<b>84</b>
<b>5</b>	<b>Schlussfolgerungen und Empfehlungen .....</b>	<b>90</b>
<b>6</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>96</b>
6.1	Projektteam .....	96
6.2	Experten .....	97
6.3	Detailliertes Inhaltsverzeichnis .....	101
6.4	Abbildungs- und Quellenverzeichnis .....	104
6.5	Quellen .....	105

## 1 Zusammenfassung

Die Bahn ist ein Verkehrssystem, welches unter anderem die Eigenschaften hat, sehr energieeffizient und sehr raumeffizient, sehr hohe Transportleistungen zu erbringen. Durch die zukünftigen gesellschaftlichen Herausforderungen, wie der Klimawandel, die Nachhaltigkeitsziele, die zunehmende Ressourcenknappheit, die Wirtschaftlichkeit und der immer knapper werdende Raum in der Schweiz, werden diese Eigenschaften des Bahnsystems immer wichtiger. Trotz dieser Vorteile des Bahnsystems, ist der Anteil des öffentlichen Verkehrs am Gesamtverkehrsaufkommen relativ klein, sodass die Notwendigkeit resultiert, das Bahnsystem durch eine technologische Weiterentwicklung zu verbessern, attraktiver und zukunftstauglicher zu gestalten.

Daher ist es das Ziel dieser Studie, das technologische Weiterentwicklungspotential, die entsprechenden Technologien und Innovationen zu identifizieren und deren Potential einzuschätzen. Hierfür wird die gesamte technologische Spannweite betrachtet, beginnend mit existierenden Technologien, welche nur noch angewandt werden müssten, bis hin zu revolutionären Systemänderungen welche, sich in der Forschung befinden. Zur Untergliederung wurde das Gesamtsystem in die folgenden Themenfelder eingeteilt:

- **Automatisierung:** Automatischer Zugbetrieb und weitere Teilbereiche, Kapazitätsausnutzung, Signalanlage, Zugsicherung, ...
- **Innovative Infrastruktur- und Fahrzeugnutzung:** Geschwindigkeit und Reisezeit, Kapazitätsausnutzung, Interoperabilität, Infrastruktur- und Fahrzeugthemen, Sitzplatzabstand, ...
- **Neue Materialien und Energielösungen:** Condition Monitoring, Digitalisierung, Energieeffizienz, Energiespeicher, Energieversorgungssicherheit, Materialien, Traktionskomponenten, ...
- **Neues Angebotsdesign und -steuerung:** Dynamischer Fahrplan, Echtzeitinformationen, Kernnetz, Komfort, Taktfahrplan, Vernetzung, ...
- **Güterverkehr:** Automatische Kupplung, Automatische Bremsprobe, Verkehrsfluss, Verladestellen, Vertrieb, ...
- **Revolutionäre Systemänderungen:** Dynamic Coupling, Gütertransport unter der Erde, Pods, Vakuumzüge, ...
- **Themenübergreifende Aspekte:** Fachkräftemangel, Kosten, Normen, Rolle gegenüber anderen Bereichen, Sicherheit, Trennung von Fahrzeug und Infrastruktur, ...

Diese Themengebiete wurden im Rahmen von Interviews mit 30 verschiedenen Experten aus den Bereichen: Bahnbetrieb, Industrie und Forschung abgedeckt. Dabei bestand das Ziel darin, möglichst bereichsübergreifend und zugleich detailliert verschiedene Perspektiven über die technologische Weiterentwicklung in Erfahrung zu bringen, damit eine gesamtheitliche Beurteilung möglich ist.

Hierzu wurden die Experten nach den Kriterien der jeweiligen Expertise, der objektiven Betrachtungsfähigkeit, der Abdeckung aller Themenfelder, sowie der Abdeckung möglichst vieler Interessengruppen und -perspektiven gewählt. Den Experten wurde abhängig von der jeweiligen Expertise eines oder

mehrere Themenfelder vorgeschlagen. Es bestand die Möglichkeit, das Themenfeld oder einzelne Bereiche abzulehnen. Weiter konnten sie weitere Themenfelder auswählen und Aspekte einbringen. Dieser Bericht sammelt und fasst die spezifischen Aussagen der Experten zu diesen Aspekten und Hypothesen zusammen (Kap. 3). Darauf werden die Aussagen analysiert und eine Vergleichsbetrachtung durchgeführt und tabellarisch sowie grafisch dargestellt (Kap. 4). Hierzu erweitert der Bericht die rein technologische Sicht auf die Implementierung, die Akzeptanz sowie die Entwicklung des Eisenbahnsystems. Im Anschluss findet eine Analyse und Diskussion der IVT Autoren statt (Kap. 5). Basierend auf den Experteninterviews und der darauf folgenden Synopsis werden die Aspekte, welche im Hinblick auf die Anwendbarkeit sowie die Auswirkungen auf die Systeme als am vielversprechendsten identifiziert wurden, beschrieben:

- Die Bahn hat gegenüber anderen Verkehrsmitteln das technologische Potential, ein sicheres, schnelles Landverkehrsmittel zu sein, sodass höhere Reisegeschwindigkeiten möglich sind. Diese sollten genutzt werden um die gesamte Tür-zu-Tür-Reisezeit zu reduzieren, da diese ein wichtiges Kriterium für die Verkehrsträgerwahl darstellt (Kap. 3.2.1; 3.7.9).
- Neue Technologien (wie bspw. die Automatisierung) können die Streckenkapazitätsausnutzung erhöhen, können aber gegebenenfalls nicht die notwendige Steigerung erzielen. Daher werden auf hochausgelasteten Verbindungen für eine höhere Kapazität zusätzlich neue Gleise und/oder Strecken benötigt (Kap. 3.1.2).
- Das Weiterverfolgen der Automatisierung in verschiedenen Bereichen des Bahnsystems (z.B. Kuppeln, Fahrplanerstellung, Zugbetrieb) erhöht die Produktivität und Wirtschaftlichkeit, sollte aber schrittweise erfolgen (Kap. 3.1.1; 3.1.5.1; 3.1.5.2; 3.5.5.1; 3.5.5.2).
- ETCS 2 oder 3 wird als Zukunftstechnologie angesehen, wobei Handlungsbedarf besteht, eine mögliche, daraus resultierende Kapazitätsreduktion zu vermeiden (Kap. 3.1.5.6).
- Der Güterverkehr hat sein dringlichstes Optimierungspotential im Bereich der sogenannten letzten Meile (Umladen, Rangieren, automatisches Kuppeln, automatische Bremsprobe) (Kap. 3.1.5.1; 3.1.5.2; 3.5.5.13). Des Weiteren gibt es ein Optimierungspotential beim Vertrieb und der Transportvolumenflexibilität (Kap. 3.5.5.4; 3.5.5.14).

Neben diesen Aussagen gibt es noch einige weitere von den Experten beschriebene Potential- und Handlungsfelder, welche ebenfalls zur technologischen Weiterentwicklung beitragen. Ein Teil davon ist eher evolutionär, wie bspw. BigData-Analysen des Condition Monitoring (Kap. 3.3.3), die Verbesserung der Energieeffizienz oder Akkurangierfahrzeuge (Kap. 3.3.2). Andere Aspekte hängen eher von der politischen Abwägung ab, bspw. die Ausrichtung des Güterverkehrs (Kap. 3.5), der Energieversorgungssicherheit (Kap. 3.3.4.1) oder das Trade-off zwischen Sicherheitsanforderungen, Aufwänden und Betriebbarkeit der Bahn (Kap. 3.7.11).

Im Themenfeld der revolutionären Systemänderungen gibt es deutliche Kritik an der Machbarkeit von Vakuumbzügen (Kap. 3.6.1) und an den möglicherweise unterschätzten Kosten unterirdischer Gütertransportsysteme (Kap. 3.6.2). Das Dynamic Coupling mit seinen verschiedenen Ausführungsformen, hat das Potential eine revolutionäre Systemänderung zu bewirken, befindet sich jedoch noch in der Forschung (Kap. 3.6.3). Bei Zweisystem-Stadtbahnen (tram-train) wird ebenfalls ein grosses Potential gesehen, obwohl diese zumindest im Ausland schon Stand der Technik sind (Kap. 3.6.4.7).

Hinsichtlich des Fahrplans wurden on-demand-Fahrpläne wegen der nicht vorhandenen Planbarkeit stark abgelehnt (Kap. 3.4.2). Befürwortet wurden Zusatzzüge (Kap. 3.4.1), welche auch ausserhalb des regulären Taktfahrplans und den regulären Knotenbeziehungen sein können. Das heutige Bahnnetz entspricht der heutigen Nachfrage, eine grössere Änderung der Netzstruktur wurde nicht empfohlen. Einer Reduktion auf ein Kernnetz wurde deutlich widersprochen, da sich dies unter anderem auch wirtschaftlich negativ auf das Gesamtsystem auswirken wird (Kap. 3.4.4).

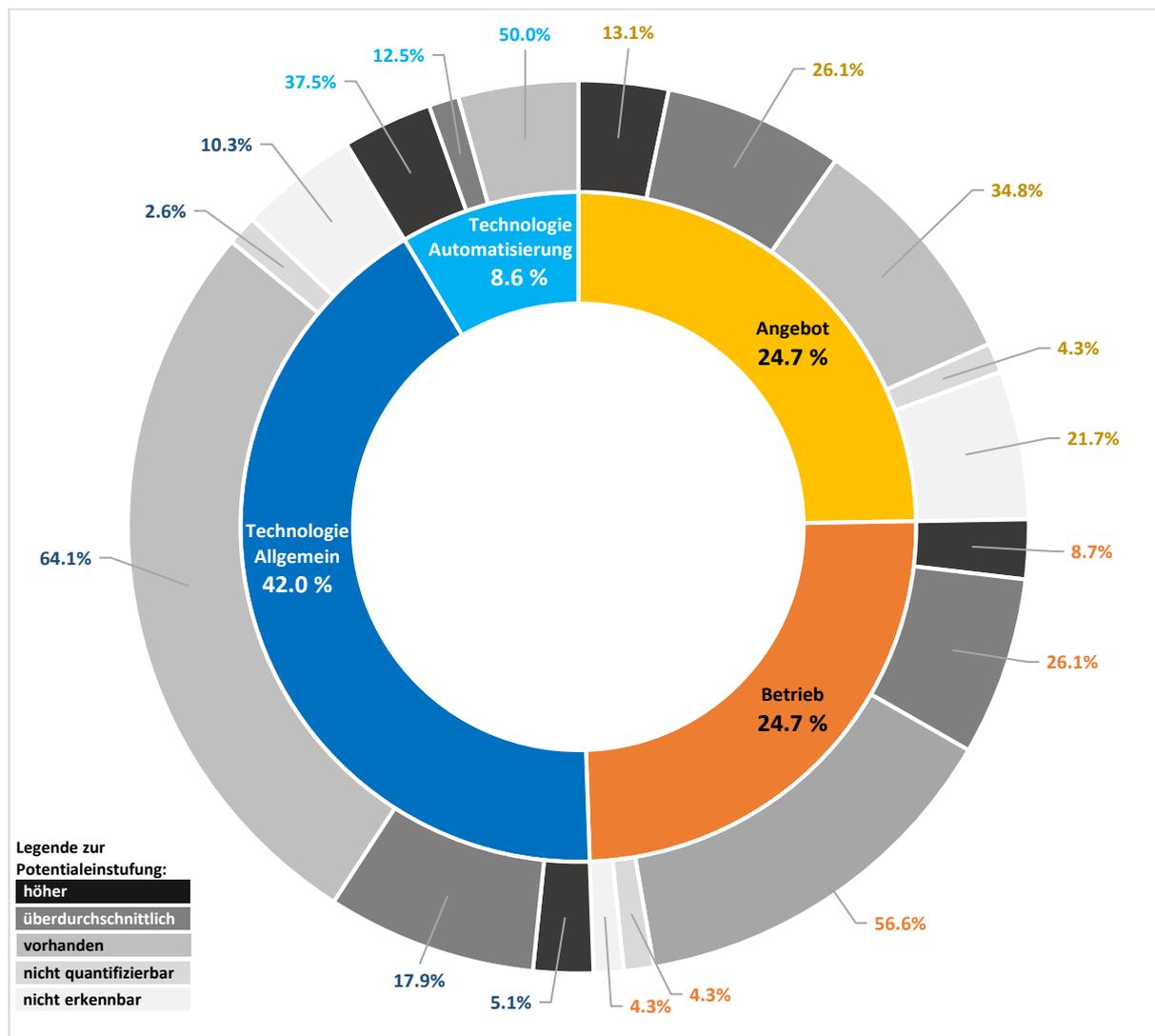


Abbildung 1 – Prozentuale Quantifizierungsübersicht der verglichenen Aspekte. In den inneren Kreissektoren wird der prozentuelle Anteil pro Bereich dargestellt. Im äusseren Kreis wird passend zum inneren Kreis dargestellt, wie häufig das jeweilige Potential vorhanden ist.

Zur Ermöglichung eines Potentialvergleiches wurden alle Aspekte und Hypothesen den Bereichen Angebot, Betrieb und Technologie zugeordnet. Hierbei wurde der Bereich Technologie in einen allgemeinen Bereich und in einen Bereich zur Automatisierung unterteilt. Anschliessend wurden alle miteinander verglichen (siehe Details in Kap. 4), sodass die prozentuale Häufigkeit mit der Abbildung 1 dargestellt werden kann. Im äusseren Kreis wird zu dem jeweiligen Bereich das Potential abgestuft dargestellt (je dunkler der Bereich dargestellt ist, desto mehr Potential hat er). Aus diesem Diagramm lässt sich beispielsweise auslesen, dass der Bereich Automatisierung mit 8.6 % die geringste Anzahl an Aspekten beinhaltet, von dieser geringen Anzahl an Aspekten hat jedoch insgesamt 37.5 % ein hohes Potential.

Das Kapitel 2 beschreibt die Details zur Methodik dieser Studie. Das Kapitel 3 gibt die Expertenaussagen wieder. Das Kapitel 4 ist eine Synopsis der Expertenaussagen durch die Autoren. Das Kapitel 5 gibt Schlussfolgerungen und Empfehlungen der Autoren wieder.

## 2 Details zur Methodik

Zur Schaffung der Wissensgrundlage dieser Studie, wurden 30 Experten aus verschiedenen Bereichen des Bahnsystems zu den verschiedenen Themengebieten interviewt. Dabei stammen die Experten aus allen Bereichen der Bahnbranche. Dadurch wurden Experten von

- der Bahnbetreiberseite,
- der Industrie,
- und der Forschung,

sowie den vielen darunterfallenden Teilgebieten befragt. Details zu den jeweiligen Experten sind in Abschnitt 6.2 zu finden. Die Interviews wurden nach den Themengebieten dieser Studie eingeteilt. Hierfür wurde in der Vorphase des Projektes gemeinsam mit dem BAV das Bahnsystem in die folgenden Themenfelder unterteilt:

- Automatisierung
- Innovative Infrastruktur- und Fahrzeugnutzung
- Neue Materialien und Energielösungen
- Neues Angebotsdesign und –steuerung
- Güterverkehr
- Revolutionäre Systemänderungen

Im Rahmen der Einladung wurde jedem Experten, abhängig von der jeweiligen Expertise ein oder mehrere Themenfelder vorgeschlagen. Anschliessend konnte der jeweilige Experte den jeweiligen Themenfeldern zustimmen, andere oder weitere Themenfelder aussuchen. Die Tabelle 1 stellt eine Übersicht dar, welcher Experte, für welches Themengebiet eingeteilt wurde. Die Abbildung 2 quantifiziert die Anzahl der jeweiligen Experten pro Themengebiet.

Die meisten Interviews wurden aufgrund der anhaltenden Covid-19-Pandemie online als Videokonferenz abgehalten. Die jeweiligen Interviews wurden hierzu in die folgenden drei Teile unterteilt.

### 1. Freier Teil

Die Aufgabe dieses Teils bestand darin, dass die Experten ihre Sichtweise auf das Bahnsystem in ihrem Fachgebiet in Bezug auf die technologischen Entwicklungen beschreiben sollten. Bewusst wurden den Experten vorab keine Fragen zugesandt, damit sie diesen Teil thematisch und inhaltlich vollkommen unbeeinflusst abhalten konnten.

### 2. Teilweise strukturierter Teil

Die Aufgabe dieses Teils bestand darin, dass die Experten Sätze kommentieren sollten, welche Hypothesen zu einer möglichen Weiterentwicklung des Bahnsystems beschreiben.

### 3. Strukturierter Teil

Die Aufgabe dieses Teils bestand darin, dass die Experten Detailspekte kurz kommentieren sollten.

	Automatisierung	Innovative Infrastruktur- und Fahrzeugnutzung	Neue Materialien und Energielösungen	Neues Angebotsdesign und -steuerung	Güterverkehr	Revolutionäre Systemänderungen	Themenübergreifende Aspekte
<b>Kapitel</b>	<b>3.1</b>	<b>3.2</b>	<b>3.3</b>	<b>3.4</b>	<b>3.5</b>	<b>3.6</b>	<b>3.7</b>
Jasmin <b>Bigdon</b>	(x)	(x)	(x)		x	(x)	(x)
Dirk <b>Boedeker</b>	x	(x)			(x)	(x)	(x)
Dirk <b>Bruckmann</b>	(x)	(x)			x	(x)	
Renato <b>Fasciati</b>	(x)	(x)		x	(x)	(x)	(x)
Peter <b>Güldenapfel</b>	(x)	x		(x)			(x)
Rob <b>Goverde</b>	x	(x)		x			(x)
Ingo <b>Hansen</b>	x	x	x	x	x	x	(x)
Thomas <b>Huggenberger</b>	(x)	(x)	x				(x)
Dennis <b>Huisman</b>	(x)	x		(x)			
Magnus <b>Kowol</b>	(x)	(x)			x		
Matthias <b>Landgraf</b>	(x)	x	(x)	(x)	(x)		(x)
Marco <b>Lüthi</b>	(x)	(x)		x			(x)
Matthias <b>Manhart</b>	(x)	x	x				
Markus <b>Meyer</b>	x	x	x	x	x	x	(x)
Markus <b>Montigel</b>	x				(x)	(x)	(x)
Andy <b>Nash</b>	(x)	x		x			
Ingolf <b>Nerlich</b>	(x)	(x)	x	(x)	(x)	(x)	(x)
Nils <b>Niessen</b>	(x)	x					
Egidio <b>Quaglietta</b>	(x)		(x)	(x)		x	
Johannes <b>Pagenkopf</b>	(x)		x	(x)	(x)	x	
Ishan <b>Pendharkar</b>	x	(x)			(x)	(x)	(x)
Xiaolu <b>Rao</b>	x					(x)	(x)
Daniel <b>Ritler</b>	(x)	(x)	x			(x)	(x)
Steffen <b>Schmidt</b>	x		(x)	(x)	(x)	x	(x)
Steffen <b>Schranil</b>	(x)	x	x		(x)		(x)
Oskar <b>Stalder</b>	x				(x)		(x)
Robert <b>Strietzel</b>	(x)	(x)	x				(x)
Widar <b>von Arx</b>		(x)		x		(x)	(x)
Ueli <b>Weidmann</b>	(x)	x	(x)	(x)	(x)	x	(x)
Gerhard <b>Züger</b>	x	x	x	(x)		(x)	(x)

**Tabelle 1 – Übersichtsmatrix der jeweiligen Experten und den dazugehörigen Themenfeldern. Mit einem x sind die Kapitel gekennzeichnet, welche von dem jeweiligen Experten schwerpunktmässig und gezielt im Rahmen des Interviews behandelt wurden. Mit (x) sind die Kapitel gekennzeichnet, in diese Aussagen zugeordnet wurden, welche im Rahmen des jeweiligen freien Teils von Experten erwähnt wurden.**

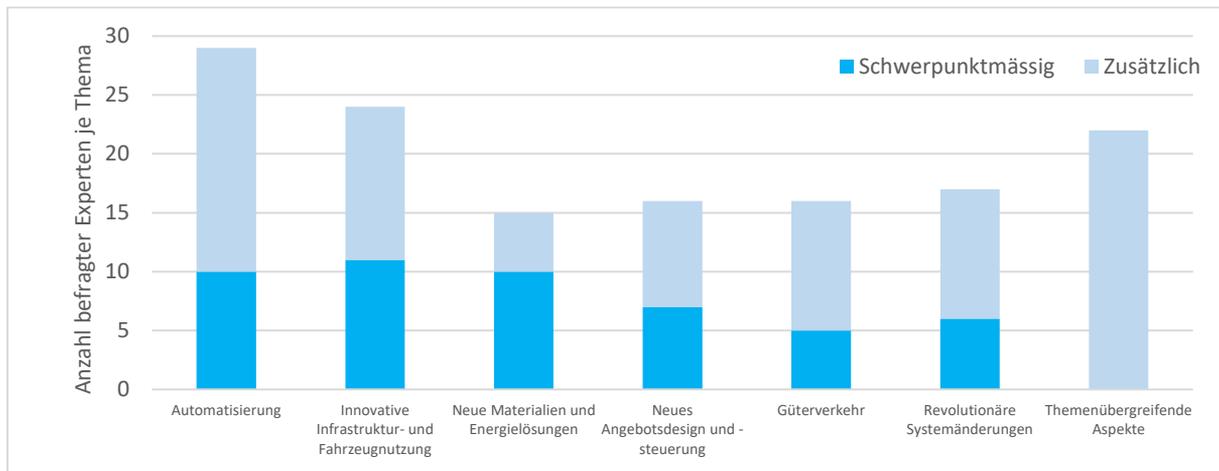


Abbildung 2 – Übersicht der Expertenanzahl, welche zu den jeweiligen Themengebieten befragt wurden

Eine Übersichtsmatrix der jeweiligen Hypothesen der einzelnen Themengebiete ist in der Tabelle 2 dargestellt. Die Matrix der Detailaspekte wird in der Tabelle 3 gezeigt.

Bezeichnung	Titel der Hypothese	Automatisierung	Infrastruktur- und Fahrzeugnutzung	Neue Materialien und Energielösungen	Neues Angebotsdesign und -steuerung	Güterverkehr	Revolutionäre Systemänderungen
A 1	Hochautomatisierter Zugbetrieb	X					
A 2 / IF 2	30 % mehr Züge auf derselben Infrastruktur	X	X				
A 3	Signalanlage	X					
A 4	Steuerung durch ein System	X					
IF 1	Geschwindigkeit		X				
IF 3	Interoperabilität vs. Lichtraumprofilnutzung		X				
IF 4	Sitzplatzabstand		X				
ME 1	Neue Materialien und digitalisierte Fertigungsprozesse			X			
ME 2	Mehr Effizienz und Speichergeräte auf dem Fahrzeug			X			
ME 3	Condition Monitoring			X			
AS 1	Taktfahrplan				X		
AS 2	Dynamischer Fahrplan				X		
AS 3	Vernetzte Verkehrsträger				X		
AS 4	Kernnetz				X		
G 1	Marktanteil					X	
G 2	Querverschiebevorrichtungen					X	
G 3	Verkehrsfluss					X	
G 4	Verschiedene Verkehrsansätze					X	
R 1	Vakuumzüge						X
R 2	Güterverkehr verlagert sich unter die Erde						X
R 3	Dynamischer Fahrgastwechsel während der Fahrt						X

Tabelle 2 – Übersichtsmatrix der Hypothesen (die Detailtexte der einzelnen Hypothesen sind in den jeweiligen Kapiteln dargestellt)

Nummer	Kapitel	Titel des Detailspektes	Automatisierung	Infrastruktur- und Fahrzeugnutzung	Neue Materialien und Energielösungen	Neues Angebotsdesign und -steuerung	Güterverkehr	Revolutionäre Systemänderungen
1	3.1.1	GoA 2 / GoA 3	X					
2	3.1.1	Automatisierung des fahrgastfreien Verkehrs	X					X
3	3.1.2	Relativer Bremsweg	X	X				
4	3.1.5	Automatische Entgleisungserkennungssysteme	X				X	
5	3.1.5	Fahrassistenzsysteme	X		X			
6	3.2.1	Schnellfahrstrecken		X		X	X	
7	3.2.1	Schnellfahrnetz				X		X
8	3.2.1	Optimierung/Streckung von Kurvenradien		X		X		
9	3.2.1	Höhere Talfahrtgeschwindigkeit		X		X		
10	3.2.1	Beschleunigte Standseilbahnen		X		X		
11	3.2.3	Lichttraumprofilnutzung		X				
12	3.2.5	Drehgestelle		X				
13	3.2.5	Drohnen		X	X			
14	3.2.5	„Einfaches“ Netzwerk		X		X		
15	3.2.5	Lärm- und Vibrationsreduktion		X	X	X		
16	3.2.5	Notbremsüberwachung		X	X			
17	3.2.5	Personentracking		X				
18	3.2.5	Roboter		X	X			
19	3.2.5	Systembasierte Simulationen		X		X		
20	3.2.5	Wälzlager mit integrierten Sensoren		X	X			
21	3.2.5	Zahnstangeneinfahrten optimieren		X	X	X		
22	3.2.5	Zuggeschwindigkeitsbündelung		X		X		
23	3.3.2	Kombination von Synchron- und Asynchronmotoren			X			
24	3.3.2	Multi-, Dual- und Hybrid-Traktionsantriebe			X			X
25	3.3.2	Wasserstoff			X			X
26	3.3.2	Energiespeicherung auf dem Fahrzeug			X			
27	3.3.3	Fahrzeug- und Infrastrukturmonitoring		X	X			
28	3.3.4	Klimaanlage			X			
29	3.3.4	Kurzschlusserkennung			X			
30	3.3.4	Smart Grids			X			
31	3.3.4	W-Lan			X			
32	3.4.1	Metroähnlicher Betrieb		X		X		
33	3.4.2	Abschaffung des Fahrplans		X		X		
34	3.4.4	Das Bahnnetz wird erweitert				X		
35	3.4.4	Kernnetz				X		
36	3.4.5	Echtzeitinformationen		X		X		
37	3.4.5	Alternativfahrplan				X		
38	3.4.5	Resilienz in der Planung				X		
39	3.4.5	Komfort				X		
40	3.4.5	Kurswagen				X		X
41	3.4.5	Spurwechselfahrzeuge				X		X
42	3.4.5	Störungsmanagementsystem				X		
43	3.5.2	Querverschiebevorrichtungen					X	
44	3.5.4	Gemischte Passagier-/Güterzüge					X	
45	3.5.5	Verbesserung der UIC Schraubekupplung					X	
46	3.5.5	Automatische Kupplung für schwere Güterzüge					X	
47	3.5.5	Automatische Kupplung	X				X	
48	3.5.5	Containertracking					X	
49	3.5.5	Getrennte Infrastruktur					X	
51	3.5.5	Roboter					X	
52	3.5.5	Scheibenbremsen			X		X	
50	3.5.6	Kühlwagen					X	
53	3.6.1	Hochgeschwindigkeitsverkehrssystem in einer Vakuumröhre						X
54	3.6.2	Unterirdischer Gütertransport in Städten					X	
55	3.6.3	Abkuppeln während der Fahrt	X			X		X
56	3.6.3	Ankuppeln während der Fahrt	X					X
57	3.6.3	Virtuelles Kuppeln	X					X
58	3.6.4	Alternative Antriebsart						X
59	3.6.4	Persönliche Rapid Transit Pods						X
60	3.6.4	Pods für Frachten						X
61	3.6.4	Selbstantriebener Batteriebetrieb						X
62	3.6.4	Optimale Dimensionierung - Fahrzeuggröße						X
63	3.6.4	Optimale Dimensionierung - Flotte						X
64	3.6.4	Weiterentwickelte Standseilbahnen & Peoplemover						X
65	3.6.4	Zweisystem-Stadtbahnen						X

**Tabelle 3 – Übersichtsmatrix der Detailspekte (die Texte der einzelnen Detailspekte sind in den jeweiligen Kapiteln dargestellt)**

Im Rahmen der Interviews hatten die Experten die Möglichkeit das Beantworten von Hypothesen und Detailspekten zu überspringen. Daher hat ein Teil der Experten nicht alle Fragen beantwortet. Insbesondere haben Experten, welche zu mehreren Themenfeldern befragt wurden, tendenziell mehr Fragen übersprungen. Auf der anderen Seite haben Experten im Rahmen des freien Teils auch Aussagen gemacht, welche direkt auf Hypothesen und Detailspekte gepasst haben, sodass diese Aussagen, später passend zugeordnet wurden. Im Rahmen des freien Teils wurden teilweise wiederholt diverse Aspekte angesprochen, welche nicht im direkten Zusammenhang zu den Hypothesen und Detailspekten standen (bspw. Themen wie Sicherheit oder Fachkräftemangel). Da es sich häufig um separate oder themenübergreifende Aspekte gehandelt hat, wurden diese in separate Abschnitte eingetragen, sodass sich daher die Notwendigkeit für den Abschnitt 3.7 ergeben hat.

Alle Interviews wurden schriftlich protokolliert. Zur Qualitätssicherung bestand entweder die Möglichkeit, dass die Experten direkt während des Interviews den protokollierten Text lesen konnten, sodass dieser gleich so angepasst wurde, dass dieser die Expertenaussage genau wiedergibt. Alternativ bestand die Möglichkeit, dass die Experten im Nachhinein ihr jeweiliges Protokoll zugesandt bekommen haben, damit sie es korrigiert zurücksenden konnten.

Aus diesen Protokollen, welche die Expertenaussagen sehr genau wiedergegeben haben, wurde das Kapitel 3, welches eine Zusammenfassung der Interviews darstellt, verfasst. Dabei wurde diese Zusammenfassung so erstellt, dass jede Aussage auf mindestens einem Experten zurückzuführen ist. Zur Gewährleistung der Nachvollziehbarkeit und Transparenz wurde beim Erstellen dieser Zusammenfassung über 1500 Quellverweise angegeben. Im anschließenden Review wurde die Arbeit kontrolliert.

## 3 Expertenaussagen aus den Interviews

Das folgende Kapitel stellt eine Zusammenfassung der Expertenaussagen dar. Die Synopsis, sowie die Empfehlungen der Autoren folgen in Kapitel 4 und 5. An vielen Stellen wurden die Expertenaussagen exakt übernommen oder anderenfalls deren Standpunkt möglichst präzise wiedergegeben. Dabei gingen die Experten teilweise über die rein technologische Sicht hinaus und kommentierten die Implementierung, die Akzeptanz sowie die Entwicklung des Eisenbahnsystems auf der strategischen Ebene. Quellenverweise zu den jeweiligen Experten sind aus datenschutztechnischen Gründen nicht möglich. Bedingt durch die Anforderung, dass sich jeder Satz dieses Kapitels auf die Expertenaussagen beziehen muss, wurden Ergänzungen und Erklärungen um den Inhalt dieses Kapitels zu vervollständigen lediglich in der Form von Fussnoten oder Erklärungsblöcken verfasst.

### 3.1 Automatisierung

Bei der Automatisierung werden Aufgaben, welche zuvor durch den Menschen gemacht wurden, durch ein System ersetzt. Die Automatisierung wird von den Experten extrem kontrovers betrachtet. Es folgt eine Synthese der Expertenaussagen bezüglich der Themen: hochautomatisierter Zugbetrieb, 30-prozentige Kapazitätserhöhung, automatisierte Signalanlagen, ein einziges System und weitere Aspekte, wie ATO und künstliche Intelligenz.

### 3.1.1 Hochautomatisierter Zugbetrieb

#### **Hypothese A1 - Hochautomatisierter Zugbetrieb**

*Ein hochautomatisierter Zugbetrieb ermöglicht bis 2050 ein noch nie dagewesenes Mass an Sicherheit, mehr Linienverkehr und eine höhere Taktfrequenz.*

#### **Detailaspekt 1 - GoA 2 / GoA 3**

*ATO (Automatischer Zugbetrieb) durch den Einsatz von ERTMS/ETCS Level 2 / Level 3/ ATO GoA2/ ATO GoA 3 (ggf. im Mischbetrieb zwischen fahrerbetriebenen Zügen, sowie halb- oder vollautomatisierten Zügen).*

#### **Erklärung**

*Die Abkürzung GoA (Grade of Automation) beschreibt die Stufe der Automatisierung. Diese sind:*

*GoA 0: Fahrt ohne Automatisierung.*

*GoA 1: Die Fahrt ist nicht automatisiert, die Zugbeeinflussung übernimmt aber einige Funktionen.*

*GoA 2: Halbautomatischer Betrieb mit Fahrpersonal.*

*GoA 3: Fahrerloser Betrieb mit Begleitpersonal.*

*GoA 4: Fahrerloser vollautomatischer Betrieb ohne Personal.*

Hinsichtlich der technischen Machbarkeit eines automatischen Zugbetriebs bis zur Stufe GoA 3 auf Vollbahnen bestehen bei den Experten keine Zweifel. In geschlossenen Umgebungen (U-Bahnen) und für den Rangierbetrieb gibt es die ATO schon. Hinsichtlich der Automatisierungsstufe und der Umsetzung besteht jedoch eine Kontroverse unter den Experten.

Die Hochautomatisierung mit GoA 4 wird von den Experten mehrfach angezweifelt. Es wird betont, dass diese in nicht geschlossenen Umgebungen schwierig zu handhaben sei und gegebenenfalls einen ungünstigen Business Case darstellt, da hierbei Lokführer durch Informatiker und hohe Technikkosten ersetzt werden. Dabei ist das grösste Problem des personallosen Betriebs mit GoA 4 derzeit noch der Sachverhalt, dass sich die Störungsbehebung noch nicht automatisieren lässt (heute werden Störungen, wie bspw. der Wechsel defekter Sicherungen oder Türstörungen manuell durch das Zugpersonal behoben). Ein Lokführer wird erst dann nicht mehr benötigt, wenn die letzte Rolle des Lokführers automatisiert werden kann. Ohne Personal und ohne eine allumfängliche automatische Störungsbehebung, kann dies dazu führen, dass der Zug im Störfall stehen bleibt und die ganze Strecke blockiert.

Von der GoA 4 befürwortenden Seite wird betont, dass die fixen Personalkosten wegfallen und sich dadurch die Kostenstruktur positiv verändert, wenn Züge vollautomatisch, ohne Personal im Zug, betrieben werden können. Dadurch können anstelle eines langen Zuges mehrere kürzere Züge gefahren werden, ohne dass die Kosten stark ansteigen. Hierbei wird die Attraktivität für den Kunden erhöht.

Dies ermöglicht einen Ausbau des Angebots. Zudem benötigt es durch die höhere Taktdichte keinen integralen Taktfahrplan mehr, welcher zu den heute hoch belasteten und teuren Knoten führt, sodass durch einfachere Bahnhofstopologien Kosten gespart werden können.

Alternativ bieten auch geringere Automatisierungsstufen bereits wirtschaftliche Vorteile. Mit GoA 2 lassen sich mathematische Optimierungen umsetzen, wodurch die Kapazität (insbesondere in Knoten) besser und präziser ausgenutzt, die Verspätungen früher erkannt und die Energieeffizienz gesteigert werden kann. Mit GoA 3, kann der Lokführer auch Funktionen des Zugbegleit- und oder Servicepersonals übernehmen.

Eine gezielt eingesetzte Automatisierung und eine stufenweise Migrationsstrategie, wird daher von vielen Experten als sinnvolles realistisches Ziel betrachtet. Viele Experten gehen davon aus, dass bis 2050 eher GoA 2 bis maximal 3 Alltag werden wird. GoA4 ist eine Möglichkeit, ein flächendeckender Betrieb wird wegen der Störungsbehebungsproblematik jedoch weniger erwartet. In der Übergangsphase wird eine Vermischung zwischen automatisierter und nicht automatisierter Züge erwartet, mit langsamer Zunahmen des automatisierten Teils.

Die in der Hypothese A1 genannte Verbesserung der Sicherheit durch eine Automatisierung wird allgemein sehr stark in Frage gestellt und kritisiert. So wird vor weiteren Sicherheitssteigerungen vielfach und explizit gewarnt. Das heutige Sicherheitslevel sei bereits extrem hoch und mehr als ausreichend. Lediglich im Rangierbetrieb kann ATO dazu beitragen die Sicherheit zu erhöhen, da Arbeitsplätze im Gleis wegfallen.

Hinsichtlich einer Erhöhung der Taktfrequenz divergieren die Expertenaussagen. Ein Teil der Experten erachtet es als möglich, die Taktfrequenz durch ATO zu steigern. Der andere Teil hingegen schätzt eine signifikante Taktsteigerung, insbesondere bei einspurigen Strecken und den heute schon stark ausgelasteten Strecken, als schwer umsetzbar ein.

### ***Detailaspekt 2 – Automatisierung des fahrgastfreien Verkehrs***

*Der gesamte Zugverkehr, welcher ohne Fahrgäste stattfindet, wird komplett automatisiert.*

Die Automatisierung des fahrgastfreien Verkehrs wird von den Experten vergleichbar kommentiert, wie die des Personenverkehrs. Eine Unterteilung in Güterverkehr und Personenverkehr wird jedoch nicht empfohlen, weil das Risiko vergleichbar ist (eine Fehlfunktion, welche zu einer Entgleisung eines Güterzuges führt, verursacht nicht automatisch einen geringeren Personenschaden als die Entgleisung eines Personenzuges). Es wird weiter erwähnt, dass über eine alternative Unterteilung in Bereitstellung und Fahrbetrieb, eine vollautomatische Fahrzeugbereitstellung ermöglicht werden könnte.

### 3.1.2 30 % mehr Züge auf derselben Infrastruktur

#### **Hypothese A2 – 30 % mehr Züge auf derselben Infrastruktur<sup>1</sup>**

*Im Jahr 2050 können 30 % mehr Züge auf derselben Infrastruktur verkehren, dank neuer Technologien, die den Zugabstand reduzieren oder Züge bündeln/koppeln.*

Eine Kapazitätssteigerung um 30 % durch neue Technologien, in der Automatisierung oder das Fahren im relativen Bremswegabstand, wird sehr kontrovers gesehen.

Einige Experten stimmen der Hypothese, sowie der 30 % höheren Kapazitätsausnutzung, zu. Dies wird unter anderem damit begründet, dass neue Technologien und die Automatisierung Zugfolgezeiten verringern, da die Züge präziser fahren können und mathematische Optimierungen umgesetzt werden können. Zudem erhöhe das Bündeln/Kuppeln von Zügen die Kapazität. Dies alles gilt aber nur unter der Voraussetzung, dass die gewonnene Kapazität nicht durch die steigenden Sicherheitsanforderungen kompensiert wird.

Die Mehrheit der Experten zweifelt den Wert von 30 % als zu hoch bis viel zu hoch an. Mehrfach wird erwähnt, dass dieser Wert lediglich ein politisch gewünschtes Ziel sei. Es wird betont, dass eine Steigerung um 30 % unter speziellen Randbedingungen erreicht werden könne, aber nicht netzweit und auch nicht im Durchschnitt. Auf Nebenstrecken sind solche Steigerungen und zusätzliche Züge meist möglich. Auf den heute schon stark ausgelasteten Strecken, welche heute schon gut ausgebaut und stark optimiert sind, ist durch neue umsetzbare Technologien nur ein deutlich geringerer Prozentwert erreichbar. Dies wird damit begründet, dass zum einen die heutigen Optimierungen bereits eine hohe Kapazitätsausnutzung ermöglichen und zum Anderen, dass neue Technologien durch Sicherheitsumsetzungshürden gegebenenfalls gar nicht umsetzbar seien.

Es wird mehrfach betont, dass für mehr Verkehr dringend eine erweiterte, neue Infrastruktur mit zusätzlichen Gleisen und Strecken erforderlich ist.

Ebenfalls wird betont, dass mögliche zukünftige steigende Sicherheitsanforderungen (bspw. neue Bremskurven), die nutzbare Kapazität deutlich reduzieren, sodass möglicherweise in Zukunft weniger Kapazität zur Verfügung stehen wird als heute.

---

<sup>1</sup> Diese Hypothese wurde bei dem Themenfeld Automatisierung behandelt und auch bei der Infrastruktur, sowie bei der Fahrzeugnutzung. Die Resultate beider Themenfelder werden hier gemeinsam beschrieben.

### **Detailaspekt 3 – Relativer Bremsweg**

*Züge fahren nicht mehr im Blockabstand, aber im relativen Bremswegabstand zur verbesserten Streckenkapazitätsausnutzung.*

#### **Erklärung**

*Eine Bahnstrecke ist in einzelne Blockabschnitte eingeteilt. Erst wenn ein Zug einen Blockabschnitt komplett verlassen hat, darf der darauffolgende Zug in diesen einfahren. Durch dieses Betriebsverfahren entstehen im optimierten Fall Zugfolgezeiten von ungefähr mindestens 90 Sekunden.*

*Alternativ wird z.B. im Strassenverkehr im relativen Bremswegabstand gefahren. Der Abstand einzelner Fahrzeuge richtet sich dynamisch nach der Geschwindigkeit der Fahrzeuge. Dadurch sind Fahrzeugfolgezeiten deutlich kürzer (vorgeschrieben sind hierbei im Strassenverkehr mindestens 2 Sekunden).*

Das Fahren im relativen Bremswegabstand führt zu einer Steigerung der Kapazitätsausnutzung, sodass mehr Züge auf einer gleichen Strecke fahren können. Es besteht jedoch eine Kontroverse unter den Experten, wie gross die Steigerung tatsächlich sein wird. Ein Teil der Experten erwartet eine deutliche Steigerung der Kapazitätsausnutzung und somit auch einen wirtschaftlichen Vorteil. Der andere Teil erwartet eine nicht allzu hohe Steigerung. Grundsätzlich wird aber eine Steigerung erwartet.

Hinsichtlich der Umsetzbarkeit bis 2050 besteht ebenfalls eine Kontroverse. Einige Experten bezweifeln grundsätzlich die Umsetzbarkeit, andere gehen von einer Anwendbarkeit in nächster Zeit aus. Gewisse Sicherheitsvoraussetzungen seien heute aber noch nicht erfüllt. Wenn bis 2050 ein relativer Bremswegabstand umgesetzt wird, so wird erwartet, dass dies eher im Rahmen des virtuellen Kupplens umgesetzt wird und weniger im Rahmen der Automatisierung.

Im Falle einer Umsetzung wurde empfohlen, bei der Entwicklung ein standardisiertes System anzustreben.

### **3.1.3 Moderne Signalanlage**

#### **Hypothese A3 – Moderne Signalanlage**

*Die Signalanlage ist modern, ausbaufähig und trägt wesentlich zur Automatisierungsmöglichkeit der Fahrzeuge bei, beispielsweise zur Reduzierung der Zugfolge in Engpassabschnitten.*

Bei den Experten besteht eine grosse Einigkeit darin, dass die Signalanlage bis 2050 der Hypothese entsprechen sollte.

Heute ist die Schweizer Signalanlage aus basistechnologischer Sicht jedoch nicht modern, da es weltweit Strecken gibt, auf denen schon seit 50 Jahren mit ATO gefahren wird. Die heute in der Schweiz eingesetzte Technologie der Bahnsteuerung ist noch nicht ATO fähig. Im weltweiten Vergleich der Voll-

bahnen im Mischverkehr, hat die Bahnsteuerung der Schweiz jedoch einen guten Automatisierungsgrad. Trotzdem gibt es bereits Vollbahnen, welche auch auf Hauptstrecken schon seit vielen Jahren ATO GoA2 einsetzen (z.B. Tschechien).

Ob die Signalanlage ausbaubar ist, wird von den Experten sehr kontrovers betrachtet. Ein Teil sieht sie als gut ausbaufähig an, der andere Teil als veraltet, nicht ausbaufähig.

Es wurde kritisiert, dass bis 2050 eine moderne Signalanlage nicht möglich sein wird, wenn die Bahn mit den bisherigen Ansätzen im bisherigen Arbeitstempo weiterarbeitet. Der heutige Ausbauesatz führe zu einem Flickenteppich. Es wurde von der Expertenseite verglichen, dass es noch kein flächendeckendes Internet gäbe, wenn die Swisscom, so wie die Bahn arbeiten würde.

### 3.1.4 Steuerung durch ein System

#### **Hypothese A4 - Steuerung durch ein System**

*Im Jahr 2050 steuert ein einziges System den gesamten Bahnbetrieb, von der Fahrplanplanung über die Disposition, bis hin zur Fahrzeugsteuerung und optimiert dabei den Bahnbetrieb auf ein beispielloses Kapazitätsniveau.*

Grundsätzlich wird es vielfach begrüsst, die Disposition gesamtheitlich und interdisziplinär zu denken und zu handhaben.

Teilweise wurde jedoch stark kritisiert, alle Funktionen in ein einziges System zu implementieren. Eine solche Integration würde sich negativ auf die Robustheit auswirken und insbesondere bei einer Systemstörung zu einem Totalausfall führen. Zudem erhöhe die Konzentration aller Funktionen auf ein einziges System die Komplexität. Daher wurde vorgeschlagen, anstatt eines einzigen Systems möglichst unabhängige Module zu verwenden, welche in einer systemübergreifenden hierarchisch aufgebauten Architektur interagieren und somit eine gesamtheitliche Disposition ermöglichen.

Eine Umsetzung bis 2050 wird als möglich erachtet, ob dies aber bei dem aktuellen Tempo erreicht werden kann, wird stark in Frage gestellt.

Es stellt sich zudem die Frage, wie und ob Meterspurbahnen integriert werden. So kann solch ein System für die Meterspurbahnen zu Kostensteigerungen führen, welche sich existenzbedrohlich auf die Meterspurbahnen auswirken können.

## 3.1.5 Weitere Aspekte

### 3.1.5.1 ATO Umsetzung

Einige Experten empfahlen dringendst ATO umzusetzen. Es sei ein «Schlüssel» zur Innovation und notwendig, da es immer schwerer wird, qualifiziertes Personal zu rekrutieren. Auf der anderen Seite wird das damalige Grossprojekt SmartRail 4.0 stark kritisiert<sup>2</sup>.

Es existiere keine perfekte Schreibtischlösung für ATO. Im Gegenteil sei eine vorabdefinierte Schreibtischlösung innovationsschädlich. Es wurde stattdessen empfohlen, ATO in der Schweiz im Rahmen eines überschaubaren Pilotprojektes schrittweise umzusetzen und auszuprobieren. Somit könnten Erfahrungen für eine weitere Umsetzung und Migration gesammelt werden. Hierfür wurden Nebenstrecken oder Meterspurbahnen empfohlen und erst in einer weiteren Phase eine Anwendung auf Hauptstrecken. Grundsätzlich wurde eine stufenweise Steigerung der ATO Migration mit kleinen realisierbaren Schritten nahegelegt. Ebenfalls solle ATO abschnittsweise eingeführt werden und nicht gleich auf einer gesamten Strecke.

Bei einer Umsetzung soll das Bahnsystem gesamthaft betrachtet werden. Dabei ist eine interoperable Lösung anzustreben. Zudem soll die Chance genutzt werden das Projekt SmartRail 4.0 zu analysieren, daraus zu lernen und mögliche Fehler, welche damals vielleicht gemacht wurden, nicht zu wiederholen.

Parallel müssen Fahrzeuge entwickelt werden, welche weniger störungsanfällig sind, als die heutigen Fahrzeuge es sind. Nur damit werde GoA 4 langfristig möglich. Weiter besteht die Notwendigkeit, parallel die Standort-Lokalisierung, Zugintegritätsüberwachung und Kommunikation weiterzuentwickeln. Diese seien Kerntechnologien für die Automatisierung des Bahnsystems.

Während einer Umsetzung müssen vorhandene Systeme auf gleichem Niveau ohne Einschränkungen weiterbetrieben werden. Es wurde aber auch explizit davor gewarnt, zu viele Ressourcen und Forschungsanstrengungen in ATO zu investieren.

### 3.1.5.2 Automatisch erstellte Fahrpläne<sup>3</sup>

Von der Expertenseite wird es als realistisch beschrieben, dass bis 2050 die Fahrplanplanung nicht vollständig, aber grösstenteils automatisiert sein wird.

---

<sup>2</sup> Anmerkung: SmartRail 4.0 war ein Programm zur Modernisierung der Schweizer Bahnbranche, welches mittlerweile eingestellt wurde und sich unter anderem auch mit der Thematik des automatischen Zugbetriebes beschäftigt hat.

<sup>3</sup> Anmerkung: Die Fahrplanerstellung ist ein sehr langwieriger, aufwendiger und komplexer Prozess, welcher viele Parameter gleichzeitig berücksichtigen muss, damit ein möglichst optimaler Fahrplan entsteht. Eine Anwendung von Softwarelösungen kann diesen Prozess beschleunigen, automatisieren und dabei helfen ein besseres Optimum zu finden.

### 3.1.5.3 Automatische Entgleisungserkennungssysteme

#### **Detailaspekt 4 - Automatische Entgleisungserkennungssysteme**

*Einsatz zuverlässiger automatischer Entgleisungserkennungssysteme zur Erhöhung der Sicherheit bei einem fahrerlosen Betrieb oder bei der Gefahrgutbeförderung.*

Es besteht grosse Einigkeit unter den Experten, dass solche automatischen Entgleisungserkennungssysteme die Voraussetzung für den fahrerlosen Betrieb (GoA 4) darstellen und einen grossen Nutzen haben.

Heute gibt es bereits verschiedene derartige Systeme auf dem Markt, es wurde aber angemerkt, dass zur Entwicklung eines wirklich zuverlässigen Systems kein Anreiz bestehe. Es besteht grundsätzlich das Problem der Finanzierung. So ist im Güterverkehr bei einer Entgleisung das EVU (Eisenbahnverkehrsunternehmen) haftbar, die Finanzierung eines Entgleisungserkennungssystems liegt jedoch bei dem Wagenhalter und somit in der Verantwortung eines anderen Unternehmens. Es nützte also nicht direkt dem Unternehmen, welches das System zu finanzieren hätte. Als Konsequenz werden solche Systeme meistens nur im Gefahrguttransport eingesetzt, da sie dort vorgeschrieben sind.

Lediglich ein Experte sieht keine Notwendigkeit ein solches System einzusetzen, mit der Begründung, dass die Sicherheit lediglich eine kulturelle Forderung sei.

### 3.1.5.4 Automatisierung des Verkehrsmanagements

Im Vergleich zu einigen anderen Ländern beurteilen die Experten diesen Bereich der Schweiz schon heute als fortschrittlicher. Es besteht aber immer noch ein Optimierungspotential. Heute wird die Fahrstrasseneinstellung und Überwachung des Zugbetriebes im Wesentlichen in den Verkehrszentralen bzw. Stellwerken auf der Basis und Interpretation der aktuellen Lage gemacht, was sehr personalintensiv ist. Bei kleinen, räumlich begrenzten, regulären Störungen im Betriebsablauf kann durch eine automatische Erkennung von Gleisbelegungskonflikten, dem Einsatz semi-automatischer Simulation und Optimierung von Konfliktlösungsmassnahmen eine zügige Wiederherstellung eines reibungslosen Betriebsablaufes ermöglicht werden, sodass die Produktivität erhöht werden würde.

Bei grösseren Störungen und Zugverspätungen, wie durch Naturkatastrophen oder netzweite Probleme, ist eine manuelle Konfliktlösung durch den verantwortlichen Fahrdienstleiter unverzichtbar.

### 3.1.5.5 Cybersicherheit

Von Expertenseite wird im Rahmen der zunehmenden Automatisierung und elektronischen Steuerungssystemen ein sehr grosses Problem hinsichtlich der Cybersicherheit gesehen. Es wird ausdrücklich empfohlen diese Problematik ernst zu nehmen und als wichtig einzustufen.

### 3.1.5.6 ETCS

Die weitere Einführung von ETCS<sup>4</sup> Level 2 bis hin zu Level 3 wird von den Experten als sinnvolle Technologie für die Zukunft gesehen. Die Einführung dieser Technologie, kann die Einführung von ATO<sup>5</sup> unterstützen und reduziert die Signalanlagen am Gleis.

Es sprechen sich keine Experten gegen ETCS aus. Trotzdem gibt es Kritik an der Umsetzung. Zum einen wurden die Kosten erwähnt und zum anderen der Kapazitätsverlust. In diesem Zusammenhang wurde insbesondere der sprunghafte Kapazitätsverlust durch ETCS Level 2 kritisiert, da dieser durch steigende Sicherheitsanforderungen entsteht, deren Notwendigkeit stark angezweifelt wird. Generell kritisieren viele Experten deutlich die immer stärker steigenden Sicherheitsanforderungen (siehe Abschnitt 3.7.11 ab Seite 82).

Es wurde zudem bemängelt, dass jedes Land über einen anderen ETCS Standard verfügt, da die jeweiligen ETCS Umsetzungen landesweise gedacht werden und nicht in Verkehrsachsen, sodass die Kompatibilität teilweise eingeschränkt ist.

Weiter wurde betont, dass durch die zunehmende ETCS Einführung immer mehr Technologie von der Infrastruktur auf das Fahrzeug verlagert wird. Dadurch muss die Infrastruktur weniger subventioniert werden, aber die Fahrzeuge werden teurer, sodass auch der Subventionsteil angepasst werden muss. Denn insbesondere für den Güterverkehr ist es problematisch, wenn das Fahrzeug durch Einsparungen bei der Infrastruktur teurer wird.

### 3.1.5.7 Fahrassistenzsysteme

#### **Detailaspekt 5 - Fahrassistenzsysteme**

*Einsatz von Fahrassistenzsystemen zur Berechnung optimaler Zugtrajektorien<sup>6</sup> auf Zügen (d.h. der Zug fährt immer die optimale Geschwindigkeit und spart dabei Energie).*

Die meisten Experten sehen einen sehr hohen Nutzen solcher Systeme, da sie mit sehr wenig Umsetzungsaufwand über die gesamte Fahrzeuglebensdauer merklich Energie sparen und durch ein reduziertes Bremsen den Verschleiss, sowie die Unterhaltskosten reduzieren. Es gibt Lokführer, welche dies mögen, bzw. welche die es nicht mögen. Sehr erfahrene Lokführer können auch ohne die Unterstützung solcher Systeme effizient fahren.

Einfache Ausführungen solcher Fahrassistenzsysteme sind bereits verfügbar und werden bereits in der Schweiz eingesetzt. Es besteht aber Ausbaupotential, z.B. indem solche Systeme auch bei Meterspurzügen eingesetzt werden, um auch dort Energie zu sparen.

---

<sup>4</sup> Erklärung: ETCS (European Train Control System) ist ein europäisches standardisiertes Zugbeeinflussungssystem.

<sup>5</sup> Erklärung: ATO (Automatic Train Operation) bedeutet übersetzt Automatischer Zugbetrieb.

<sup>6</sup> Zugtrajektorien sind Geschwindigkeitswegprofile.

Es wird in diesem Zusammenhang aber von Anreizsystemen für eine energiesparende Fahrweise gewarnt, da diese nachteilhaft für den Betriebsfrieden sein können.

### 3.1.5.8 Künstliche Intelligenz

Von einzelnen Experten wurde der Einsatz von künstlicher Intelligenz zur Entscheidungsfindung<sup>7</sup> und Überwachung erwähnt. Im Zusammenhang mit diesen Einsatzfeldern wurde beschrieben, dass die Anwendung künstlicher Intelligenz nützlich sein kann, grosse Datenmengen zu analysieren und Entscheidungsgrundlagen für verschiedenste Anwendungsfelder<sup>8</sup> zu ermitteln.

Von denselben Experten wurde aber betont, dass künstliche Intelligenz nicht zur Steuerung (bspw. von Fahrzeugen, sicherheitsrelevanter Systeme etc.) angewandt werden soll.

---

<sup>7</sup> Hintergrund: Der Mensch ist meist nicht in der Lage eine grosse Datenmenge schnell zu analysieren, sodass teilweise fehlerhafte Entscheidungen getroffen werden. Algorithmen können diese Daten auswerten und Ergebnisse liefern, sodass der Mensch basierend auf diesen Daten dann Entscheidungen treffen kann. Eine mögliche Anwendung wäre beispielsweise bei Betriebsstörungen, wenn die Frage zu beantworten ist, ob ein Zug auf einen Anschluss warten soll oder nicht.

<sup>8</sup> Anmerkung: Ein weiteres mögliches Anwendungsfeld ist beispielsweise das Condition Monitoring.

## 3.2 Infrastruktur- und Fahrzeugnutzung

Das folgende Kapitel beinhaltet eine Synthese der Expertenbefragungen zum Thema Infrastruktur- und Fahrzeugnutzung. Dabei werden die Themen: Geschwindigkeit und Reisezeitreduktion, Interoperabilität vs. Kapazitätserhöhung, Sitzplatzabstand und weitere Aspekte behandelt.

### 3.2.1 Geschwindigkeit & Reisezeitreduktion

#### **Hypothese IF 1 - Geschwindigkeit**

*Die Geschwindigkeit des Eisenbahnverkehrs ist aufgrund technologischer (schnellere Züge, neue Fahrzeuge), betrieblicher (bessere Koordination zwischen den Zügen, weniger ungeplante Ereignisse) und infrastruktureller (neue Bahnhöfe, Gleise, Raum- und Landschaftsbelegung) Massnahmen höher.*

#### **Detailaspekt 6 - Schnellfahrstrecken**

*Neubau separater Schnellfahrstrecken auf stark ausgelasteten Linien, zur Verkehrstrennung, Reisezeitreduktion und Kapazitätserhöhung für den Personen- und Güterverkehr.*

#### **Detailaspekt 7 - Schnellfahrnetz**

*Aufbau eines Schnellfahrnetzes, auf welchem nur Hochgeschwindigkeitszüge fahren und Orte in der Schweiz und international vernetzt sind.*

Eine höhere Geschwindigkeit bzw. eine damit verbundene Reisezeitreduktion wurde sehr kontrovers unter den beiden Gesichtspunkten betrachtet.

Die Aussagen im Personenverkehr beziehen sich auf die Reisezeit und lassen sich in drei Gruppen unterteilen:

- Zwei Experten lehnen eine Reisezeitreduktion ab. Dies wird damit begründet, dass die Schweiz zu klein<sup>9</sup> für Beschleunigungen ist und dass die Reisezeiten mit dem Auto nicht kürzer als die Reisezeiten mit dem Zug seien. Einer davon lehnt jegliche Reisezeitreduktion ab. Dabei werden auch minimale Reisezeitreduktionen durch Kurvenstreckungen kategorisch abgelehnt.
- Vier Experten sehen den Nutzen eher gemischt und die Reisezeitreduktion, sowie die Schnellfahrstrecken nur punktuell als sinnvoll an. Hierbei wird unter anderem die Frage gestellt, ob die Aufwände und die hohen Kosten für den Bau von Schnellfahrstrecken finanzierbar sind.

---

<sup>9</sup> Anmerkung: Der Haltestellenabstand ist ein Sachverhalt, welcher die Höchstgeschwindigkeit auf einer Strecke ernsthaft in Frage stellen kann, denn wenn Fahrzeuge zu leistungsschwach sind und/oder der Haltestellenabstand zu kurz ist, erreichen diese die gewünschte Höchstgeschwindigkeit gar nicht oder nur für eine sehr kurze Zeit. Zum Prüfen dieses Sachverhaltes wurden daher Berechnungen mit Leistungskennziffern (Motorisierung bezogen auf die Masse) typischer schweizerischer Triebzüge durchgeführt. Diese Berechnungen kommen zum Ergebnis, dass sich eine Geschwindigkeit von 200 km/h bei einem Haltestellenabstand von 20 bis 30 Kilometern (wie er in der Schweiz häufiger anzutreffen ist) nutzen lässt. Ein Plausibilitätsvergleich mit dem Ausland zeigt, dass der deutsche ICE 1 mit 250 km/h bei Haltestellenabständen von 40 Kilometern unterwegs ist, obwohl er eine deutlich geringere Leistungskennziffer hat und somit deutlich länger als Schweizer Triebzüge zum Beschleunigen braucht.

- Sieben Experten sind sich zwar auch der Kosten bewusst, sehen aber einen grossen Nutzen durch die Reisezeitreduktion und die Schnellfahrstrecken für den Personenverkehr. Dies wird primär damit begründet, dass die Reisezeitreduktion für eine Verkehrsverlagerung auf die Schiene extrem wichtig ist. Heute sind Reisezeiten mit dem Auto meist kürzer als die Reisezeiten mit dem Zug, sodass die Verkehrsmittelwahl dadurch meist auf das Auto fällt.

Von der Expertenseite wurde betont, dass die Bahn das technische Potential bietet um einen wirtschaftlich und technisch kosteneffizient realisierbaren Verkehr mit 320 km/h zu ermöglichen<sup>10</sup>. In diesem Zusammenhang wurde erwähnt, dass die Höchstgeschwindigkeit nicht das aller wichtigste Kriterium darstellt, gleichzeitig aber nicht ignoriert werden darf, da die Reisegeschwindigkeit mit der Höchstgeschwindigkeit korreliert. So wurde von verschiedenen Seiten mehrfach betont, dass der Bahnverkehr deutlich beschleunigt werden muss und sein Geschwindigkeitspotential nutzen muss, um gegenüber dem Auto konkurrenzfähig zu werden. Des Weiteren sei es sehr nachteilhaft für die Attraktivität des öVs, dass generell viele Milliarden investiert werden, dabei aber kaum Fahrzeitverkürzungen erzielt werden. Eine reine Engpassbeseitigung mit den finanziellen Mitteln macht den öV gegenüber der Strasse nicht attraktiver, da der Kunde den Verkehrsträger meist nach der Reisezeit wählt.

In diesem Zusammenhang wurde explizit erwähnt, dass «die grösste Sünde in den letzten Jahrzehnten ist, dass das Geschwindigkeitspotential, welches die Bahn im Vergleich zu anderen Verkehrsmitteln hat, nicht ausgenutzt wurde.»

Die Aussagen im Güterverkehr beziehen sich auf die Kapazität und lassen sich in zwei Gruppen einteilen:

- Der eine Teil sieht neue Strecken wegen den erforderlichen Investitionen kritisch. Dabei wird es vielmehr empfohlen, Kapazität zu gewinnen, indem Güterverkehrszüge besser in den Verkehrsfluss integriert werden (bspw. durch bessere Beschleunigungsfähigkeiten, höhere Güterzuggeschwindigkeiten).
- Der andere Teil sieht neue Strecken als vorteilhaft. Zusätzliche Strecken liefern die dringend benötigte zusätzliche Kapazität und die resultierende Verkehrstrennung führt zu einem besseren Verkehrsfluss, welcher die Kapazität nochmals erhöht.

---

<sup>10</sup> Anmerkung: Zum Prüfen des für die Wirtschaftlichkeit relevanten Energieverbrauches wurde eine Vergleichsbetrachtung, basierend auf realen Mess- und Verbrauchsdaten, welche alle Energieverbraucher des Zuges berücksichtigen, durchgeführt. Diese zeigt, dass ein Zug bei 200 km/h, welcher eine Fahrgastauslastung von nur 25 % hat, pro Person und Kilometer deutlich energieeffizienter, im Vergleich zu der WLTP-Herstellerangabe des sparsamsten Kleinwagens, ist (für den Vergleich wurden 24 Elektroautohersteller in Betracht gezogen). Dabei ist zu betonen, dass die PKW-Herstellerangaben jeweils auf dem WLTP-Zyklus basieren, welcher eine viele langsamere Reisegeschwindigkeit als der 200 km/h schnelle Zug aufweist (PKW-WLTP-Durchschnittsgeschwindigkeit: ca. 46 km/h, kurzzeitige Spitzengeschwindigkeit im WLTP-Zyklus: ca. 131 km/h) (ADAC, 2021; Hofacker und Köllner, 2017). Des Weiteren ist zu betonen, dass beim Energieverbrauch des Zuges die Klimaanlage, welche erhebliche Verluste verursacht, mitberücksichtigt wurde. Der PKW-WLTP-Zyklus ignoriert die Klimaanlage hingegen komplett (Hofacker und Köllner, 2017).

### **Detailaspekt 8 - Optimierung/Streckung von Kurvenradien**

*Optimierung/Streckung von Kurvenradien, mit dem Ziel geringfügige Fahrzeitreduktionen zu ermöglichen.*

Abgelehnt wird eine Optimierung der Kurvenradien lediglich von einem Experten, welcher Reisezeitreduktionen grundsätzlich ablehnt. Es bestehe laut Aussage keine Notwendigkeit für Beschleunigungen im Bahnverkehr.

Alle anderen Experten bezeichnen diesen Optimierungsansatz als nützlich. Es wurde jedoch angemerkt, dass solche Massnahmen primär der Fahrplanstabilität nutzen. Für diese ist die Optimierung aber auch sehr wichtig. Es wurde erwähnt, dass nicht überall Potential vorhanden ist, weil diese Optimierungen teilweise schon umgesetzt wurden oder aufgrund des Geländes nicht möglich sind. Es wird jedoch empfohlen weitere Einzelfälle zu prüfen<sup>11</sup>.

### **Detailaspekt 9 - Höhere Talfahrtgeschwindigkeit<sup>12</sup>**

*Einsatz von leistungsfähigeren und besseren Bremssystemen, welche es ermöglichen, höhere Talfahrtgeschwindigkeiten zu fahren, damit die Reisezeiten verkürzt werden.*

Abgelehnt wurde diese Optimierung lediglich von einem einzigen Experten, welcher Reisezeitreduktionen grundsätzlich ablehnt.

Alle anderen Experten bezeichnen diesen Optimierungsansatz und die Geschwindigkeitserhöhung als sehr wichtig. Diese Optimierung hilft jedoch nur Bahnen auf Gebirgsstrecken. Es wurde aber betont, dass eine solche Optimierung für die betroffenen Bahnen «zwingend» erforderlich ist. Vorteile einer solchen Optimierung sind zweierlei: der eine Vorteil ist eine kürzere Reisezeit, der andere Vorteil ist ein besserer Fahrplan. Der bessere Fahrplan begründet sich aus dem Aspekt, dass Züge heute bergaufwärts schneller fahren als talwärts, sodass sich ein sehr unsymmetrischer und ungünstiger Fahrplan ergibt. Durch eine höhere Talfahrtgeschwindigkeit können Züge in beide Richtungen mit gleicher Geschwindigkeit verkehren, sodass sich eine symmetrische und deutlich bessere Fahrplanstruktur ergibt.<sup>13</sup>

---

<sup>11</sup> Anmerkung: Kurvenradien beschränken sich nicht nur auf die Strecke, sondern auch auf Weichen. So ist es auch durch grössere Weichenradien möglich, höhere Geschwindigkeiten zu fahren und Zeit zu gewinnen.

<sup>12</sup> Anmerkung: Technologisch gibt es verschiedene Ansätze dieses Ziel zu erreichen. Hierzu zählt beispielsweise: ein leistungsfähigeres elektrisches rekuperierendes Bremssystem und/oder thermisch leistungsfähigere mechanische Bremsen und/oder der Einsatz von Wirbelstrombremsen und/oder ein homogenes Bremssystem (heute bremsen einige Züge inhomogen, indem ein Teil der Bremsen weniger stark als die anderen arbeitet, wenn die weniger stark bremsenden Bremsen genauso stark wie die anderen arbeiten, erhöht sich die Gesamtbremseleistung).

<sup>13</sup> Anmerkung: Bei der Meterspur gibt es aktuell schon konkrete Bestrebungen die Talfahrtgeschwindigkeit zu erhöhen. Grundsätzlich sind aber auch bei der Normalspur höhere Talfahrtgeschwindigkeiten nicht ausgeschlossen.

### **Detailaspekt 10 – Beschleunigte Standseilbahnen**

*Einsatz weiterentwickelter Mechaniken für Standseilbahnen und/oder seilgezogenen Peoplemover, um die Transportkapazität und Geschwindigkeit zu erhöhen.*

#### **Erklärung**

*Die Fahrtgeschwindigkeiten von Standseilbahnen und Peoplemover haben einen direkten Einfluss auf die jeweilige Transportleistung pro Stunde. Die heutige Fahrtgeschwindigkeit vieler Standseilbahnen ist relativ nieder. Lediglich die schnellsten Standseilbahnen erreichen Höchstgeschwindigkeiten, welche sich in der Größenordnung von rund 10 m/s (= 36 km/h) bewegen.*

Abgelehnt wurde diese Optimierung nur von einem einzigen Experten, welcher Reisezeitreduktionen grundsätzlich ablehnt.

Alle anderen Experten sehen einen Nutzen darin, auch Standseilbahnen und Peoplemover zu beschleunigen. Dabei wurde erwähnt, dass Standseilbahnen und Peoplemover in Zukunft im städtischen Verkehr an Bedeutung gewinnen können.

## **3.2.2 30 % mehr Züge auf derselben Infrastruktur**

### **Hypothese IF 2 – 30 % mehr Züge auf derselben Infrastruktur**

*Im Jahr 2050 können 30 % mehr Züge auf derselben Infrastruktur verkehren, dank neuer Technologien, die den Zugabstand reduzieren oder Züge bündeln/koppeln.*

Da es sich hierbei um dieselbe Hypothese handelt, wie in Abschnitt 3.1.2, wurde diese gemeinsam in Abschnitt 3.1.2 auf der Seite 17 behandelt.

### 3.2.3 Interoperabilität vs. Kapazitätserhöhung

#### **Hypothese IF 3 – Interoperabilität vs. Lichtraumprofilnutzung**

*Die Interoperabilität von Netz, Fahrzeugen und Signalsystemen, ermöglicht einen flexiblen Einsatz im ganzen Land. Züge, die nur in der Schweiz verkehren, nutzen das komplette Schweizer Lichtraumprofil, sind breiter, sodass sie mehr Fahrgastkapazität und Komfort ermöglichen.*

#### **Detailaspekt 11 – Lichtraumprofilnutzung**

*Nutzung des kompletten zur Verfügung stehenden Lichtraumprofils, um breitere Fahrzeuge mit einer höheren Kapazität und höherem Komfort zu bauen (z.B. so breit wie ein Stadler GTW, oder der ICE 1).*

#### **Erklärung**

*Ein grösseres und breiteres Lichtraumprofil ermöglicht grössere und breitere Fahrzeuge, welche ein grösseres Kundenfassungsvermögen haben. Schweden hat bspw. ein besonders grosses Lichtraumprofil und kann dadurch breitere Züge betreiben, welche ein deutlich höheres Kundenfassungsvermögen haben.*

*Schweiz und Deutschland haben kein so grosses Lichtraumprofil wie Schweden, aber ein grösseres Lichtraumprofil als andere europäischen Länder. Durch den Sachverhalt, dass es Länder mit einem kleineren Lichtraumprofil gibt, müssen interoperable Züge für ein kleines Lichtraumprofil gebaut werden und sind dadurch weniger breit und haben weniger Kapazität.*

Die Experten sind der Ansicht, dass ein interoperabler Bahnbetrieb wichtig ist und sehen eine generelle Abkehr von der Interoperabilität kritisch. Die Ausnutzung des vollen schweizerischen Lichtraumprofils oder gar ein breiteres Lichtraumprofil steht dabei im Konflikt zur Interoperabilität.

Für Züge, welche sich immer nur in Schweizerischen Netzen aufhalten, wird jedoch ein Nutzen gesehen.

Noch einen Schritt weiter zu gehen, indem ein grösseres Lichtraumprofil eingeführt wird, wurde jedoch als schwierig beschrieben. Dies wäre schweizweit nicht möglich, da es Strecken mit beengten Platzverhältnissen gibt.

Von Expertenseite wurde jedoch betont, dass ein halber Meter mehr in der Breite im Lichtraumprofil und ggf. noch etwas mehr in der Höhe hinsichtlich der Transportleistung extrem viel Nutzen bringen würde. Daher wurde angeregt, darüber nachzudenken für einzelne Strecken ein Überprofil zu definieren.<sup>14</sup>

---

<sup>14</sup> Anmerkung: Ein grösseres Lichtraumprofil kann sich sowohl positiv als auch negativ auf einzelne Kostenteile auswirken. Negativ für die Infrastruktur kann bspw. der Bau grösserer Anlagen sein. Positiv für den Betrieb kann bspw. die höhere Transportkapazität sein. Beim Rollmaterial kann eine Abweichung von Standardfahrzeugen zwar ungünstig sein, zugleich kann aber ein grösseres Lichtraumprofil auch Kosten sparen, wenn mehr Bauraum zur Verfügung steht, sodass auf teure kompakte Konstruktionen verzichtet werden kann.

### 3.2.4 Sitzplatzabstand

#### **Hypothese IF 3 –Sitzplatzabstand**

*Im Jahr 2050 können die Züge zu Stosszeiten aufgrund neuer Technologien 20 % mehr Menschen aufnehmen (d.h. gleichmässigerer Personenverteilung durch bessere Koordination und dichtere Personenverteilung durch weniger Sitzplatzabstand und einen höheren Stehplatzanteil).*

Ein Experte stimmt dieser Hypothese zu. Dabei wird die Möglichkeit gesehen, einen geringeren Sitzplatzabstand im Rahmen einer weniger komfortablen Wagenklasse umzusetzen.

Die anderen zehn Experten, welche zu dieser Hypothese eine Stellungnahme abgegeben haben, stimmen dieser Hypothese nicht zu. Die Experten beschreiben den Ansatz den Sitzplatzabstand zu reduzieren als nicht innovativ, kritisieren ihn und warnen eindringlich davor. Zudem wurde betont, dass nicht einmal im Nahverkehr die Packungsdichte weiter erhöht werden darf. Dies wurde von den Experten wiederholt damit begründet, dass ein geringerer Sitzplatzabstand die Attraktivität für den Kunden deutlich reduzieren würde und zu einer Verkehrsverlagerung auf das Auto führt, da eine Akzeptanz nicht zu erwarten ist.

Es wurde kritisiert, dass in den letzten Jahren, bei einigen Fahrzeugen schon eine Verschlechterung des Komforts, durch eine Erhöhung der Packungsdichte stattgefunden hat. Die Bahn hat im Gegensatz zu anderen Verkehrsmitteln hohes Potential angemessenen Reisekomfort zu bieten, wenn dieser jedoch noch weiter zurückgefahren wird, verliert die Bahn einen wichtigen Vorteil.

Hinsichtlich der technologischen Machbarkeit wurde mehrfach betont, dass beim Beibehalten von Sitzplätzen 20 % bei weitem nicht machbar sei.

Als technologisch machbare Verbesserung wurde mehrfach vorgeschlagen, die Bahnsteigverteilung am Bahnsteig zu verbessern. Dies würde den Fahrgastwechsel beschleunigen und zu einer gleichmässigeren Auslastung der Zugkapazität führen, womit sich der Fahrgastkomfort erhöhen würde. So kann mit einer Vollausrüstung an automatischen Personenzählssystemen in den Wagenteilen immer die genaue Befüllung bestimmt werden um diese direkt am Bahnsteig und online zu kommunizieren. Damit könnte die Zugkapazität optimal bewirtschaftet werden.

Als eine alternativ betrieblich machbare Lösung zur Kapazitätssteigerung wurden zusätzliche Züge vorgeschlagen, welche den Taktfahrplan ergänzen.<sup>15</sup>

---

<sup>15</sup> Anmerkung: Mehr Transportkapazität in den Spitzenverkehrszeiten und damit mehr Platz für die Fahrgäste kann durch die zustandsbasierte Instandhaltung geschaffen werden.

Ohne die zustandsbasierte Instandhaltung ist es relativ teuer Züge vorzuhalten, welche nur in den Spitzenverkehrszeiten fahren. Dies begründet sich neben den Abschreibungskosten daraus, dass viele Wartungsarbeiten an festen Zeitintervallen geknüpft sind und sich weniger an der Laufleistung und dem eigentlichen Verschleiss orientieren. Dadurch kosten Fahrzeuge, welche nur zur Spitzenverkehrszeit unterwegs sind pro Jahr nicht viel weniger als die anderen normal eingesetzten Fahrzeuge.

Mit der zustandsbasierten Instandhaltung ist es kostengünstiger möglich, abgeschriebene Altfahrzeuge nur in den Spitzenverkehrszeiten als Zusatzzüge einzusetzen. Dabei haben abgeschriebene Altfahrzeuge den Vorteil, dass keine jährlichen Beschaffungsabschreibungskosten entstehen. In Kombination mit der zustandsbasierten Instandhaltung verursachen diese Fahrzeuge, welche nur wenige Kilometer zu den Spitzenverkehrszeiten fahren auch spürbar weniger Kosten, als die anderen normal eingesetzten Fahrzeuge, da sie nur entsprechend des laufeistungsbedingten Verschleisses gewartet werden müssen. Gleichzeitig haben Spitzenverkehrszüge den Vorteil, dass sie nur zu den Zeiten eingesetzt werden, in denen sie gut ausgelastet sind und hohe Einnahmen generieren.

Weiter wurde für eine Fahrgastverlagerung zum einen Homeoffice vorgeschlagen und zum anderen das Schaffen von Anreizen für verkehrsschwache Zeiten. Dabei wurden Rabatte für Züge in Nebenverkehrszeiten erwähnt. Es wurde auch vorgeschlagen, dass kostenlose Servicedienstleistungen, wie bspw. ein kostenloses Getränk in ausgewählten Zügen der Nebenverkehrszeiten ganz neue Verlagerungsanreize schaffen würden (von kostenlosen Servicedienstleistungen haben auch GA Besitzer einen Nutzen). Es wurde betont, dass grundsätzlich keine Form von Zwangsmassnahmen eingesetzt werden dürfen um Pendlerspitzen zu brechen, da sich dies negativ auf die Attraktivität des Bahnsystems auswirkt.

## 3.2.5 Weitere Aspekte

### 3.2.5.1 Baustellenbetrieb

Es besteht das Weiterentwicklungsziel in den nächsten 10 bis 15 Jahren deutlich umweltfreundlicher und energieeffizienter zu werden. Hierfür wurden von der Expertenseite einige aktuelle Entwicklungen und weitere Folgeentwicklungen beschrieben. Es wurde aber betont, dass es derzeit noch sehr viele ungelöste technische Fragen gibt.

Eine essenzielle Problematik beim Bau und der Instandhaltung ist die Energieversorgungsproblematik. Während des Baus muss die Fahrleitung aus Sicherheitsgründen ausgeschaltet sein, weshalb die Energieversorgung alternativ sichergestellt werden muss. Bestehende Baufahrzeuge werden heute mit Diesel betrieben und müssen circa alle 14 Tage aufgetankt werden. Wasserstoffbetriebene Fahrzeuge müssten voraussichtlich alle 1-2 Schichten getankt werden und batteriebetriebene Fahrzeuge voraussichtlich nach jeder Schicht. Bei Batteriefahrzeugen besteht zudem die Problematik, dass leistungsstarke und teure Batterien für den Betrieb notwendig sind. Diese sind platzintensiv und sehr schwer. In der Schweiz werden aktuell für die Zukunft Batteriefahrzeuge für Baustellen favorisiert. Solche Fahrzeuge können nach dem Schichtende an der Fahrleitung aufgeladen werden (vgl. Abschnitt 3.3.2 ab Seite 41). International wird Wasserstoff favorisiert, da im Ausland öfters Strecken ohne Elektrifizierung anzutreffen sind. Somit ist international nur ein kleiner Markt für batteriebetriebene Baufahrzeuge zu erwarten, was die Anschaffung verkompliziert.

Zudem ist ungeklärt, was mit den Bestandbaufahrzeugen und Maschinen passieren wird, da diese noch lange funktionsfähig wären. Hierfür wurden auch synthetische CO<sub>2</sub> neutrale Treibstoffe nahegelegt. Diese würden eine gute Alternative darstellen, weil sie voraussichtlich mit Bestandsfahrzeugen und der vorhandenen Infrastruktur betrieben werden können.

In der Schweiz werden schon viele Baustellen logistisch über die Schiene versorgt. Dies soll in Zukunft zur Reduktion des CO<sub>2</sub> Ausstosses weiter ausgebaut werden. Durch den zunehmenden Triebwagenanteil gibt es jedoch immer weniger Loks für die Bauzüge<sup>16</sup>. Insbesondere auf der Meterspur wird dieser Lokmangel zunehmend problematisch.

### 3.2.5.2 Rad-Schiene & Drehgestelle

#### **Detailaspekt 12 – Drehgestelle**

*Einsatz verschleissarmer Drehgestelle, um damit den Rad-Schiene-Verschleiss zu reduzieren und den Fahrkomfort zu erhöhen.*

Die Experten sehen einheitlich eine grosse Notwendigkeit den Verschleiss der Drehgestelle zu reduzieren und den Komfort zu verbessern. Gleichzeitig wurde nahegelegt, die Thematik nicht nur auf die

---

<sup>16</sup> Anmerkung: Bauzüge werden wie Güterzüge mit Lokomotiven betrieben.

Drehgestelle zu beschränken, sondern die gesamte fahrdynamische Interaktion von der Schiene bis zum Fahrzeug zu berücksichtigen und aufeinander abzustimmen.

Es wurde betont, dass die Paarung Rad-Schiene auseinanderläuft und bislang nichts unternommen wird. Das Verschleissprofil S1002 ist nicht mehr formstabil, die Lagestabilisierung geht verloren und die Fahreigenschaften werden schlechter.

Weiter wurde beschrieben, dass die Fahrzeugindustrie früher die Fahrzeuge besser auf das schweizerische Anforderungsprofil ausgelegt hat. So wurden bspw. damals die sehr verschleissarme SBB Re 460 Lokomotive gebaut.

Zudem wurde mehrfach betont, dass sehr viele Bahnunternehmen durch die Umstellung von lokbespannten Zügen auf Triebzüge einen sehr hohen Radverschleiss haben. Diese Problematik verursacht erhebliche Kosten und zugleich fehlt zum Lösen dieser Problematik sehr viel Fachkompetenz<sup>17</sup>. Es wurde angemerkt, dass es schon sehr gut wäre, wenn die heutigen Fahrzeuge so gut fahren würden, wie die lokbespannten Züge der 1990er.

### 3.2.5.3 Drohnen

#### **Detailaspekt 13 – Drohnen**

*Zustandsfernüberwachung der Gleisanlagen durch Drohnen oder durch autonome Sensoren.*

Die Experten sehen den Einsatz dieser Systeme lediglich als Ergänzung und nur für einige fernüberwachbare Teilaufgaben als nützlich an.

Es wird davon ausgegangen, dass Drohnen insbesondere im unwegsamen Gelände, zur Hangsicherung, zur Kontrolle von Stromleitungen oder zur Kontrolle nach Unwettern nützlich sind. Dabei haben Drohnen ein Potential Geld zu sparen, da solche Aufgaben heute teilweise von Helikoptern gemacht werden.

Messzüge, Gleislagekontrollen, Streckenbegehungen und Kontrollen durch Regelfahrzeuge können sie jedoch nicht ersetzen.

Die Einführung wird wahrscheinlich evolutionär sein. Ein Problem wird jedoch in der Sachlage gesehen, da Drohnen nicht ausserhalb des Sichtbereichs fliegen dürfen.

---

<sup>17</sup> Anmerkung: Materialverschleiss, -schädigungen und -ermüdungen resultieren unter anderem aus Kräften und deren Häufigkeit. Bei der Bahn wird oft vereinfacht angenommen, dass einzig eine geringere Masse zu geringeren Kräften und einem geringeren Verschleiss führt (ein Triebwagen hat üblicherweise eine geringere Achslast als bspw. eine Lokomotive).

Eine Kraft resultiert aber nicht nur aus der Masse. Eine Kraft ist das Produkt aus Masse mal Beschleunigung ( $F=m \cdot a$ ). Dadurch kann es sein, dass trotz einer geringen Masse (bspw. eines leichten Triebwagens) hohe Kräfte auftreten, wenn durch eine ungünstige dynamische Auslegung hohe Beschleunigungen zwischen dem Rad und der Schiene entstehen. Des Weiteren resultieren Schädigungen aus der Häufigkeit der Kräfte (Anzahl Lastzyklen). Ungünstige dynamische Auslegungen können die Anzahl Lastzyklen deutlich erhöhen. Zudem gibt es noch einige weitere Verschleissmechanismen.

### 3.2.5.4 «Einfaches» Netzwerk

#### **Detailaspekt 14 – „Einfaches“ Netzwerk**

*„Einfaches“ Netzwerk (d. h. Reduktion der Linien, damit die Netzwerkinfrastruktur einfacher gestaltet ist, sodass es weniger Weichen gibt. Mit dem Nachteil, dass es durch die reduzierte Anzahl an Linien weniger Direktverbindungen gibt und häufigeres Umsteigen erforderlich ist.).*

Ein Experte ist für die Umsetzung des beschriebenen Konzeptes. Alle anderen Experten äusseren sich kritisch bis extrem kritisch. Die Experten finden es zwar grundsätzlich sinnvoll, wenn durch eine Reduktion der Weichen Geld gespart werden kann, sehen das Konzept aber für den Fahrgast sehr kritisch, sowie auch für den Betriebsablauf als sehr problematisch an.

Betrieblich reduziert sich durch eine Reduktion der Weichen die Flexibilität und Robustheit insbesondere bei Umleitungsverbindungen. Es wird erwartet, dass Kostenersparnisse bei den Weichen durch betriebliche Zusatzaufwände überkompensiert werden, sodass dieses Konzept am Ende wahrscheinlich teurer wird.

Noch stärker als den betrieblichen Aspekt kritisieren die Experten die Reduktion der Attraktivität für den Kunden sehr heftig und beschreiben es als «weltfremd». Dies wird damit begründet, dass es für den Kunden viel komplizierter wird und dass der Kunde durch dieses Konzept häufiger umsteigen muss. Das Umsteigen ist grundsätzlich unattraktiv und sollte reduziert werden. Der Kunde ist heute bereit eine längere Reisezeit in Kauf zu nehmen, um weniger häufig umsteigen zu müssen. Neben der Attraktivitätsreduktion, verlängert dieses Konzept durch das Umsteigen auch die Reisezeit. Fernverkehr wird durch dieses Konzept kaum noch möglich sein. Durch diese Attraktivitätsreduktion wird stark davon ausgegangen, dass dieses Konzept die Nachfrage erheblich reduzieren wird und zu einer Verkehrsverlagerung auf die Strasse führen wird.

### 3.2.5.5 Fahrzeugbeschaffung & Fahrzeuginnovation

Die aktuelle Fahrzeugbeschaffung wurde von einigen Experten aus verschiedenen Bereichen angesprochen.

Von der Expertenseite wird beschrieben, dass es das Ausschreibungswesens nahezu unmöglich macht, neue Innovationen in Zusammenarbeit mit den Lieferanten in Fahrzeuge umzusetzen, sodass gemeinsame Entwicklungen kaum möglich sind und Fahrzeuge beschafft werden, welche nicht unbedingt den Betreiberwünschen entsprechen.

Ein Wettbewerb bei der Fahrzeugbeschaffung im Rahmen des Ausschreibungswesens könnte die Innovationstätigkeit auf der Herstellerseite möglicherweise erhöhen.

Weiter wurde auf die Dringlichkeit hingewiesen, dass das fahrdynamische Zusammenspiel zwischen Fahrzeug und Fahrbahn besser aufeinander abgestimmt werden muss um den Verschleiss gesamtheitlich zu reduzieren und den Fahrkomfort zu erhöhen. In diesem Zusammenhang wurde auch betont,

dass sehr viele Bahnunternehmen durch die Umstellung von lokbespannten Zügen auf Triebzüge einen sehr hohen Radverschleiss haben und dass dieser Radverschleiss zu erheblichen Kosten führt.

Es wurde beschrieben, dass einige Systemänderungen im Bahnsystem teurer werden, wenn sie kurzfristig umgesetzt werden müssen und mit Umbauten verbunden sind. Wenn hingegen Systemänderungen gleich bei der Fahrzeugbeschaffung berücksichtigt werden, sind diese meist sehr kostengünstig umsetzbar. Die heutige Beschaffungsstrategie berücksichtigt dies langfristig jedoch kaum. Es sei z.B. wichtig, dass Fahrzeuge langfristig für höhere Geschwindigkeiten, bessere Bremssysteme und Fahrzeugrefits vorgesehen werden müssen.

### 3.2.5.6 Lärm- und Vibrationsreduktion

#### **Detailaspekt 15 – Lärm- und Vibrationsreduktion**

*Lärm und Vibrationsreduktion im Fahrzeug und/oder auf der Strecke.*

Die Experten beurteilen es grösstenteils einstimmig, dass diese Thematik für die Zukunft sehr wichtig ist. Dabei wird betont, dass die Thematik von Lärm- und Vibrationen aufgrund von Anwohnern sehr ernst genommen werden muss, weil diese immer sensibler werden, was in Zukunft zu einem «Pulverfass» werden könnte.

Vibrationsreduktionen sind des weiteren für den Fahrkomfort sehr wichtig, reduzieren deutlich den Verschleiss und somit auch die Unterhaltskosten.

Die Lärmemissionen an Bahnhöfen mit Rangierbetrieb werden in den nächsten Jahren durch die Umstellung von Dieselfahrzeugen auf Batteriefahrzeuge reduziert. Im Bereich der mechanischen Optimierungen zur Reduktion der Lärm- und Vibrationsreduktion finden zwar Untersuchungen statt, aktuell sind aber keine schnellen Änderungen zu erwarten.

Dies resultiert aus dem Sachverhalt, dass Lärm- und Erschütterungsreduktionen teilweise schwer gemeinsam zu erfüllen sind. So wird bspw. durch weichere Schienenunterlagen der Verschleiss reduziert, aber zugleich die Lärmbelastung durch ein daraus resultierendes sogenanntes „Schienensingen“ erhöht. Grundsätzlich gibt es noch viel Forschungs- und Handlungsbedarf, da es sinnvoller ist, den Lärm an der Wurzel zu beheben, anstatt ihn durch aufwendige, landschaftszerschneidende Lärmschutzmassnahmen zu dämmen. Weiter besteht das Problem, dass die hohe Lebenserwartung der Fahrbahnkomponenten zwar gewünscht und sehr wichtig ist, aber Änderungen sich damit nur sehr träge umsetzen lassen, da es nicht nachhaltig ist, eine intakte Infrastruktur zu ersetzen.

Im Kontext der Lärm- und Vibrationsreduktion wurde von der Expertenseite die Erforschung und Entwicklung eines neuen gummigefederten Rades nahegelegt. Es wurde beschrieben, dass sich diese Technologie für die Erschütterungs- und Vibrationsreduktion gut eigne.

Ein Experte vertritt im Bereich Lärm- und Vibrationsreduktion den Standpunkt, dass bei dieser Thematik gar kein Handlungsbedarf besteht.

### 3.2.5.7 Nachhaltigkeit durch Refite

Mehrere Experten sind sich einig, dass die hohe Lebensdauer von Schienenfahrzeugen, welche deutlich über 40 Jahren beträgt, ein erhebliches Potential für die Nachhaltigkeit, Wirtschaftlichkeit, sowie den Ressourceneinsatz mit sich bringt. Die Elektronik in den Fahrzeugen muss aber in der Regel nach 20 Jahren erneuert werden. Eine Verkürzung der Fahrzeuglebensdauer auf 20 bis 25 Jahre wurde als nicht nachhaltig bezeichnet und deutlich kritisiert. Daher wird es von der Expertenseite empfohlen, nach ungefähr 20 Jahren einen Refit durchzuführen, bei diesem die Elektronik erneuert wird.

Hierfür wurde empfohlen, Neufahrzeuge so auszulegen, dass diese langfristig gewartet und erhalten werden können, um dieses Nachhaltigkeitspotential zu nutzen. Als Lösungsansatz wurden modulare Konstruktionen mit offenen Systemschnittstellen erwähnt.<sup>18</sup>

Es wurde betont, dass Refite eine extrem hohe lokale Wertschöpfung haben und zugleich deutlich günstiger als Neubeschaffungen sind. Dies bringt Umweltvorteile mit sich und spart gleichzeitig Kosten. Daher wurde nahegelegt, Subventionen von Refiten in Erwägung zu ziehen, da diese nachhaltiger als Neubeschaffungen sind.

Andere Experten sehen einen Nachteil in der langen Fahrzeuglebensdauer, da es bei langen Fahrzeuglebenszeithorizonten zunehmend schwerer ist, auf die momentanen Kundenanforderungen einzugehen. Ein Problem ist hierbei die Abschätzung des notwendigen Fahrgastfassungsvermögens der Triebwagen, da die Länge der Triebwagen nachträglich nahezu nicht mehr geändert werden kann<sup>19</sup>.

### 3.2.5.8 Notbremsüberwachung

#### **Detailaspekt 16 – Notbremsüberwachung**

*Verwendung einer Notbremsüberwachung, sodass bei Notbremsungen sowohl elektrisch, als auch mechanisch gebremst wird, damit der Bremsweg reduziert wird.*

Einige Experten haben keine Stellungnahme gemacht und begründeten dies damit, dass sie diese Problematik nicht kannten. Die Experten, welche eine Stellungnahme abgegeben haben, antworten ziemlich übereinstimmend und sehen einen Nutzen bei der Bremswegreduktion.

Es wurde beschrieben, dass in der Schweiz bis vor wenigen Jahren die elektrische Bremse bei einer Notbremsung die Notbremse unterstützt hat. Das heutige Abschalten der elektrischen Bremse bei einer Notbremsung wird als bedenklich gesehen, da dies den Bremsweg verlängert und schlimmstenfalls tödliche Folgen haben kann.

---

<sup>18</sup> Anmerkung: Refite sind bei Lokomotiven/Triebköpfen und Reisezugwagen tendenziell einfacher als bei Triebwagen umzusetzen. Dies resultiert zum einen daraus, dass Triebwagen tendenziell komplexer sind, weil sie gleichzeitig die Funktionalität des Triebfahrzeuges und des Personenwagens erfüllen müssen. Zum anderen ist die Triebwagenbauweise tendenziell ungünstiger, weil die Komponenten über das gesamte Fahrzeug verteilt sind und zugleich der Bauraum sehr knapp ist, was den Einbau neuer Komponenten erschwert.

<sup>19</sup> Anmerkung: Grundsätzlich sind Längenveränderungen von Triebwagen zwar technisch nicht unmöglich. In vielen Fällen sind sie aber technisch sehr aufwendig, teuer und mit einigen Nachteilen verbunden.

Derzeit sind in der Industrie Überlegungen im Gange das Problem zu lösen. Diese könnten jedoch an der Vorschrift scheitern, welche explizit das Abschalten der elektrischen Bremse fordert und gar nicht auf eine mögliche Notbremsüberwachung eingeht.

### 3.2.5.9 Oberbauwerkstoffe

Die Experten erwarten nur marginale Innovationen im Oberbau. Es werden eher punktuelle Weiterentwicklungen erwartet. Zu diesen zählen bspw. die Schotterverklebungen und weiterentwickelte Schwellen. Gegebenenfalls sind auch recycelte Schwellen zu erwarten.

Langfristig wünschenswert sehen die Experten eine Entwicklung von Komponenten bestehend aus selbstheilenden<sup>20</sup> Materialien (insbesondere für Schwellen und Schienen).

### 3.2.5.10 Personentracking

#### **Detailaspekt 17 – Personentracking**

*Einsatz von Personentracking (bspw. durch Bluetooth, Infrarot, WLAN) an Bahnhöfen um den Bahnbetrieb nachfrageorientiert zu optimieren.*

Von der Expertenseite wurde klargestellt, dass solche Systeme schon einige Zeit Stand der Technik sind und keine neue Technologie darstellen.

Es wurde beschrieben, dass Bewegungsprofile erstellt werden können, ohne dass der Nutzer eine App installieren muss. Dies funktioniert bspw. über GSM-Ortung, W-LAN-Tracking oder Bluetooth-Tracking. Bei der GSM-Ortung findet die Datenerfassung über die Mobilfunkbetreiber statt. Beim W-LAN-Tracking, sowie dem Bluetooth-Tracking, wird die jeweilige MAC-Adresse, welche jedes Smartphone und somit seinen Nutzer eindeutig identifiziert durch einen Empfänger (bspw. ein W-LAN-Router oder ein anderes Smartphone) erfasst. Letzteres kann theoretisch von jedem praktiziert werden, es funktioniert aber nur solange das W-LAN und/oder Bluetooth bei dem georteten Smartphone eingeschaltet ist.

Es wurde beschrieben, dass die einzelnen Bewegungsprofile nützlich sein können, die einzelnen öV-Kunden genauer zu untersuchen und deren Bewegungs- und Verhaltensmuster zu verstehen. Weiter wurde erwähnt, dass Aussagen zu der individuellen Sitzplatznutzung technisch möglich sind, sodass freie Sitzplätze erkannt und gemeldet werden können<sup>21</sup>.

Von einigen Experten wurden zu diesem Thema starke Datenschutzbedenken geäußert, eine Anwendung solcher Technologien deutlich abgelehnt und sehr stark kritisiert.

---

<sup>20</sup> Anmerkung: Für Anwendungsfelder ausserhalb der Bahnbranche werden selbstheilende Werkstoffe derzeit schon erforscht.

<sup>21</sup> Anmerkung: Mit Bluetooth-Tracking ist eine Positionsbestimmung im Meterbereich möglich.

### 3.2.5.11 Roboter

#### **Detailaspekt 18 – Roboter**

*Intelligente Roboter zur Reparatur und Wartung der Infrastruktur.*

Die Experten sind sich hierbei teilweise unentschlossen. Teilweise werden eine Anwendbarkeit und ein Nutzen gesehen und teilweise weniger. Es besteht auch Unstimmigkeit, unter den Experten, ob Roboter in Zukunft eingesetzt werden oder nicht.

Sollte es in Zukunft geeignete Roboter geben, werden sie wohl eingesetzt. Sie könnten im Zusammenhang mit dem Fachpersonalmangel, zur Unterstützung, zur Qualitätsverbesserung, sowie bei gefährlichen Aufgaben nützlich sein. Der Mensch wird aber auf absehbare Zeit wahrscheinlich nicht komplett verschwinden.

Spezifisch, für sehr divers und unterschiedlich aufgebaute Anlagen sind Roboter wahrscheinlich eher weniger geeignet.

Zeitnah könnten eher Schweißroboter in der Fahrzeuginstandhaltung sinnvoll sein, da diese eine höhere Qualität als der Mensch liefern. Laut Experten könnten, in absehbarer Zeit Exoskelette zur Entlastung der Arbeiter eingesetzt werden. Dabei wird eher eine evolutionäre Einführung erwartet.

### 3.2.5.12 Streckensperrungskostenbeurteilung

Von Expertenseite wird beschrieben, dass es mittlerweile gut möglich ist, ideale Wartungstermine zu prognostizieren.

Viele technische Komponenten besitzen die Eigenschaft, dass die Instandhaltungskosten bis zu einem Punkt X moderat sind, aber schon kurze Zeit später sprunghaft ansteigen. So kann es sein, dass die Wartung einer Weiche im Monat X bspw. 5000 CHF kostet und einen Monat später das zehnfache.

Eine verzögerte Wartung, die daraus resultiert, dass der Betrieb weiterlaufen muss, lässt sich gut in Kosten beschreiben. Der betriebliche Einfluss bzw. Nachteil einer Sperrung hingegen lässt sich nicht mit Kosten beschreiben. Somit ist es derzeit nicht möglich zu sagen, wie viel die Verfügbarkeit des öVs in der Schweiz kostet.

Daher lassen sich derzeit keine Abwägungen machen, ob es sinnvoller ist, die Wartung in dem Monat X durchzuführen oder die deutlich teurere Wartung einen Monat später in Kauf zu nehmen, wenn diese dann sowieso in einem vorhandenen Wartungsintervall liegt.

### 3.2.5.13 Systembasierte Simulationen

#### **Detailaspekt 19 – Systembasierte Simulationen**

*Erweiterter Einsatz von systembasierten Simulationen, welche zur Entscheidungsfindung herangezogen werden können.*

Die Experten sehen den Einsatz einer Simulationstechnik im Allgemeinen als sinnvoll an und begründen dies, dass Simulationen die Entscheidungsfindung unterstützen und beschleunigen können. Der Praxisbezug darf aber nicht darunter leiden.

### 3.2.5.14 Tunnelbau

Von der Expertenseite wurde hinsichtlich des Tunnelbaus angemerkt, dass die Verlagerung von Verkehrswegen in Tunnel, im Vergleich zu oberirdischen Verkehrswegen, die Kosten für den Bau und Unterhalt vervielfacht. Hierzu wurden Zahlen genannt, dass die Baukosten pro Kilometer Tunnel meist über 100 Mio. CHF liegen und im Vergleich dazu oberirdische Doppelspurstrecken lediglich rund 20 Mio. CHF pro Kilometer kosten<sup>22</sup>. Des Weiteren stellt der Tunnelbau selbst einen extremen logistischen Aufwand dar, welcher beim Bau einen Einfluss auf die direkte Umgebung und die Umwelt hat.

### 3.2.5.15 Wälzlager

#### **Detailaspekt 20 – Wälzlager mit integrierten Sensoren**

*Verwendung von Wälzlagern mit integrierten Sensoren zur Schadenserkennung, damit die optimale Lebensdauer ausgenutzt wird und die Sicherheit verbessert wird.*

#### **Erklärung:**

*Damit sich Komponenten, wie bspw. Radsätze, Zahnräder oder Motoren drehen können, werden diese mit Wälzlagern/Kugellagern gelagert. Ein Verschleiss an diesen Lagern kann zur Schädigung und anschliessend zur Überhitzung führen. Die Extremfolge kann ein Achsbruch mit anschliessender Entgleisung sein.*

Die Experten sehen im Allgemeinen einen technischen und wirtschaftlichen Nutzen. Solche Systeme tragen zur Schadenserkennung, zur Verlängerung der Lebensdauer und zur Erhöhung der Sicherheit bei.

Ein Teil der Experten sieht es als zwingend erforderlich, solche Systeme zeitnah einzusetzen. Von der anderen Seite wird erwähnt, dass solche Systeme eher gezielt, nur wo sie benötigt werden, eingesetzt

---

<sup>22</sup> Anmerkung: Oberirdische Lösungen werden erst dann teurer als der genannte Zahlenwert, wenn bspw. ein Konflikt mit Wohngebieten besteht.

werden sollen. Jeder zusätzliche Sensor erhöht die Komplexität und steigert das Ausfallrisiko des Systems. Es wird eher eine evolutionäre Einführung erwartet.

### 3.2.5.16 Zahnstangeneinfahrten

#### **Detailaspekt 21 – Zahnstangeneinfahrten optimieren**

*Einsatz optimierter Zahnstangeneinfahrten, damit Zahnradbahnen bei Zahnstangeneinfahrten nicht mehr so stark abbremsen müssen, sodass die Fahrzeiten und Bremsenergieverluste reduziert werden.*

Die Experten sehen ziemlich übereinstimmend, dass für die betroffenen Bahnen ein sehr hoher Nutzen vorhanden ist. Eine Verbesserung spart etwas Energie und zugleich wird die Fahrzeit massiv reduziert. Daher wurden hierzu schon einige Studien gemacht. Eine Lösung wurde bis jetzt noch nicht gefunden, da es kein einfaches Problem ist. Von der Expertenseite wird stark empfohlen, diese Thematik weiterzuerfolgen.

### 3.2.5.17 Zuggeschwindigkeitsbündelung

#### **Detailaspekt 22 – Zuggeschwindigkeitsbündelung**

*Zuggeschwindigkeitsbündelung / Homogene Züge / Homogener Verkehr (U-Bahn-ähnlicher Betrieb, kein Taktbetrieb)*

#### **Erklärung / Hintergrund:**

*Schnellfahrende Züge können in einem Abstand von circa 2 Minuten hintereinander herfahren und durch diese homogene Nutzung die Streckenkapazität effizient ausnutzen. Langsame Züge können ebenfalls in einem Abstand von circa 2 Minuten hintereinander herfahren.*

*Wenn abwechselnd langsame und schnelle Züge auf einer Strecke hintereinander herfahren, also die Strecke inhomogen betrieben wird, erhöht sich der Zugfolgeabstand, damit die langsamen Züge die schnellen nicht ausbremsen.*

Die Experten beschreiben einen homogenen Verkehr als nützlich um die Kapazitätsausnutzung zu verbessern. Gleichzeitig wird aber auch kritisiert, dass dies meist nicht so umsetzbar ist und die Attraktivität für den Kunden reduzieren würde. Dies resultiert aus dem Sachverhalt unterschiedlicher Zugkategorien und der Notwendigkeit auf gleicher Strecke Güterzüge, S-Bahn-Züge und schnelle Fernverkehrszüge fahren zu lassen. Nur so kann dem Kunden ein attraktives vollumfängliches Angebot zur Verfügung gestellt werden. Daher wurde auch von der Anwendung einer Zuggeschwindigkeitsbündelung in der Schweiz abgeraten.

## 3.3 Neue Materialien und Energielösungen

In diesem Kapitel folgt eine Synthese der Expertenbefragungen zum Thema neuer Materialien und Energielösungen. Im spezifischen werden die Themen: neue Materialien und digitalisierte Fertigungsprozesse, Motoren, Effizienz, Energiespeicher, Hybridantriebe, Condition Monitoring und weitere Aspekte beschrieben.

### 3.3.1 Neue Materialien und digitalisierte Fertigungsprozesse

#### **Hypothese ME 1 – Neue Materialien und digitalisierte Fertigungsprozesse**

*Neue Materialien und digitalisierte Fertigungsprozesse führen zu einem von Natur aus zuverlässigerem Rollmaterial mit deutlich reduziertem Wartungsaufwand.*

Die Pauschalisierung der Hypothese wurde von vielen Experten widersprochen und nur vereinzelt zugestimmt. Dies wird damit begründet, dass die Zuverlässigkeit grundsätzlich von der Entwicklung abhängt und wie ausgereift das Produkt ist.

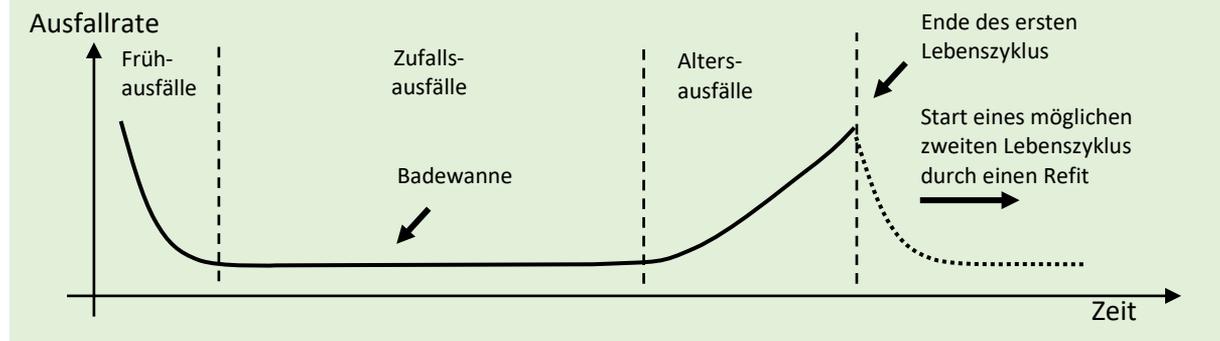
Das Ziel der Hypothese sollte zwar der Anspruch sein, in der Realität sind aber neue Produkte meist am Anfang weniger zuverlässig und erst durch Nachoptimierungen steigt deren Zuverlässigkeit. Erst mit der Zeit haben sie die Möglichkeit zuverlässiger als vorhandene Bestandprodukte zu werden.

Im Vergleich zu früher wird in der Zukunft bei Fahrzeugen der sogenannte „Badewannenefekt“ (siehe Erklärung unten) ausgeprägter sein. Am Anfang des Lebenszyklus, d.h. zur Einführung des Produktes wird es mehr Ausfälle, Hürden und Probleme geben, rein aufgrund der steigenden Systemkomplexität (der „Badewannenrand“ ist dann höher als bei früheren Fahrzeugen). Im mittleren Teil des Lebenszyklus wird es im Vergleich weniger Ausfälle und Wartungsbedarf als früher geben (die „Badewanne“ ist tiefer). Das Ende der Badewanne, also der Zeitpunkt, bei dem die Ausfälle auf Grund der Alterung zunehmen, wird aber im Vergleich zu früher nach weniger Betriebsjahren erreicht, weil Elektronik ersetzt werden muss. In solchen Fällen ist bei Fahrzeugen ein Refit zur Erneuerung der Elektronik erforderlich. Nach dem Refit beginnt der Badewannenzyklus von vorne. Insgesamt sind zwei bis drei Badewannenzyklen möglich.

Es wurde weiter erwähnt, dass 3D Drucker die Ersatzteilverfügbarkeit in der Zukunft verbessern können. Zudem wurde erwähnt, dass Umweltauflagen zu einem erhöhten Wartungsaufwand führen können.

### Erklärung

Der sogenannte *Badewanneneffekt* beschreibt die Ausfallrate über einen Lebenszyklus hinweg und wird so genannt, weil die grafische Darstellung einer Badewanne ähnelt.



## 3.3.2 Motoren, Effizienz, Energiespeicher, Hybridantriebe

### Hypothese ME 2 – Mehr Effizienz und Speichergeräte auf dem Fahrzeug

Effizientere Elektromotoren und eine verlustärmere Energieumwandlung ermöglichen eine Effizienzsteigerung. Speichergeräte an Bord oder gleisbasiert glätten Spitzen und ermöglichen eine quasi konstante Netzbelastung.

Die Hypothese NME 2 gliedert sich in zwei Teile: der erste beschreibt die Energieeffizienz und der zweite die Speichergeräte. Im Folgenden werden die einzelnen Teile gemeinsam mit den dazugehörigen Detailspekten beantwortet.

### Detailspekt 23 - Kombination von Synchron- und Asynchronmotoren

Kombination von Synchron- und Asynchronmotoren in einem Fahrzeug zur Effizienzsteigerung (bei Elektroautos, wurde das schon umgesetzt).

Bei den Elektromotoren erwarten die Experten keine grossen Verbesserungen. Auch ein Wechsel von Asynchronmotoren (ASM) hin zu Permanentmagnet Synchronmotoren (PMS) wird aus energetischen Gründen nicht sinnvoll sein. Der PMS ist lediglich bei hoher Last effizienter als der ASM. Bei Teillast ist der ASM effizienter. Da die Bahn häufig im Teillastbetrieb oder mit abgeschalteten Motoren fährt, ist der ASM über das gesamte Betriebsspektrum effizienter. Daher wird von einem Fahrzeug, welches einzig auf PMS Motoren setzt, abgeraten.

Eine Kombination beider Motortypen, wie sie bei der Automobilindustrie Standard ist, wird als machbar erachtet und der Vorteil einer Energieverbrauchsreduktion wird hierbei hervorgehoben.

Es wird jedoch argumentiert, dass durch die verschiedenen Motortypen die Instandhaltung und Ersatzteillagerhaltung aufwendiger wird. Weiter wird die Problematik gesehen, dass das Fahrzeug dann

die Nachteile der PMS Motoren hat. Diese sind unter anderem die Nichtabschaltbarkeit, welche bei Störungen kritisch wird und die Verwendung seltener Erden zur Herstellung der benötigten Magnete. Das Optimierungspotential wird eher bei den Stromrichtern gesehen, da sich dieser auch auf die Motorverluste auswirkt. Durch neue Stromrichter lässt sich die Effizienz bestehender Motoren erhöhen. Zudem wird gemäss Expertenaussagen heute häufig unterschätzt, dass die Betriebspunkte der Antriebskomponenten einen grossen Einfluss auf die Effizienz haben.

#### **Detailaspekt 24 - Multi-, Dual- und Hybrid-Traktionsantriebe**

*Multi-, Dual- und Hybrid-Traktionsantriebe basierend auf unterschiedlichen Energiespeichern oder Energiequellen (bspw. Züge haben einen Fahrleitungsbetrieb und einen Dieselantrieb/Batterieantrieb).*

#### **Detailaspekt 25 - Wasserstoff**

*Alternative Energiequellen aus Wasserstoff.*

#### **Detailaspekt 26 - Energiespeicherung auf dem Fahrzeug**

*Energiespeicherung auf dem Fahrzeug (Energierückgewinnung beim Bremsen und ggf. Onboard- oder Track-based Storage).*

Die Experten sind sich ziemlich einig, dass hybride Antriebssysteme bei gewissen Anwendungen zunehmend eine Rolle spielen werden und sinnvoll sind.

In der Schweiz ergibt sich der Anwendungsfall durch die Bedienung von Anschlussgleisen im Rahmen einer Abkehr vom Dieselantrieb, hin zu einem CO<sub>2</sub> neutralen Betrieb. Dabei wird in der Schweiz lediglich die Kombination aus dem Dualsystem Fahrleitung/Batterie erwartet. Dies begründet sich aus dem Sachverhalt, dass in der Schweiz nur wenige kurze Abschnitte bzw. Anschlussgleise nicht elektrifiziert sind, sodass es stets möglich ist, die Batterie in der Nähe über eine Fahrleitung wieder aufzuladen. Durch die allgegenwertigen Lademöglichkeiten in der Schweiz, ist die Ladegeschwindigkeit der wichtigere Faktor einer Batterie als die Gesamtkapazität (durch das Schnellladen müssen Batteriefahrzeuge nur circa 25% ihrer Betriebszeit unter der Fahrleitung sein).

Eine Anwendung von Wasserstoff wird in der Schweiz von den Schweizer Experten kaum gesehen. Dies wird mit dem Aspekt begründet, dass Wasserstoff eine Tankstellenlogistik benötigt, welche durch die Ladung über die Fahrleitung entfällt. Zudem ist der Wasserstoffbetrieb kommerziell noch nicht so weit entwickelt und verursacht nach dem heutigen Stand der Technik Wandlungsverluste, welche höher als die Lade- und Entladeverluste der Batterien sind. Lediglich für Spezialanwendungen wird in der Schweiz eine Anwendung von Wasserstoff gesehen.

International hingegen wird voraussichtlich sehr stark auf Wasserstoff gesetzt, da Batterien für längere nicht elektrifizierte Strecken ungeeignet sind. Im Gegensatz zu den Experten aus der Schweiz, welche

tendenziell ziemlich stark Batterielösungen empfehlen, sehen die Experten aus dem Ausland beide Lösungen als möglich.<sup>23</sup>

Als CO<sub>2</sub> freie Alternative zu Wasserstoff wurden auch noch synthetische CO<sub>2</sub> neutrale Treibstoffe nahegelegt. Diese würden eine gute Alternative darstellen, weil sie voraussichtlich mit Bestandsfahrzeugen und der vorhandenen Infrastruktur betrieben werden können. Zudem wurde angemerkt, dass es Sinn machen könnte, weitere zukünftige CO<sub>2</sub> Alternativen zu beobachten.

Zum Thema der Traktionsbatterien wird von der Expertenseite beschrieben, dass diese durch eine spezielle Steuerung dafür verwendet werden können, um Lastspitzen zu reduzieren. Wenn die Traktionsbatterien nicht gesteuert geladen werden, können sie aber auch Lastspitzen verursachen, wenn die hohen Ladeströme zu einem ungeschickten Zeitpunkt auftreten. Daher wurde, sofern viele Traktionsbatterien im Einsatz sein sollten, ein koordiniert gesteuertes Laden empfohlen, welches auch für die Lastspitzenreduktion genutzt werden kann.

Auf der anderen Seite wird jedoch betont, dass sich die Lastspitzen nicht vollständig glätten lassen und dass ein TradeOff zwischen Lastspitzen und Akkukosten existiert. Zudem wird davor gewarnt, dass Energieverluste, welche beim Laden und Entladen der Akkus entstehen, vergessen werden. Weiter wird betont, dass Traktionsbatterien die Fahrzeuge schwerer machen und durch das höhere Fahrzeuggewicht zusätzliche Energieverluste verursachen. Des Weiteren sind Batterien sehr teuer, machen das Fahrzeug komplexer und erhöhen die Instandhaltungskosten.

Durch diese Nachteile, wurde mehrfach betont, dass Traktionsbatterien auf Fahrzeuge beschränkt werden sollten, welche ohne Fahrleitung fahren müssen, da das Schweizer Bahnstromnetz normalerweise in der Lage ist, die anfallende Bremsenergie aufzunehmen.

Ein Sparpotential wird durch Batterien nicht erwartet. Durch diesen Aspekt und die weiteren Nachteile wurde davor abgeraten, Fahrleitungen zurückzubauen und durch einen Batteriebetrieb zu ersetzen. Lediglich bei kurzen Anschlussgleisen, welche sowieso nur von batteriebetriebenen Rangierfahrzeugen bedient werden, kann auf die Kosten für die Fahrleitungsanlage verzichtet werden.

Im Zusammenhang mit möglichen Umweltschädigungen durch die Herstellung und Entsorgung der Batterien, konnte lediglich ein Experte auf ein Second-Life-Pilotprojekt verweisen, welches dazu dient ausgediente Batterien weiterzuverwenden<sup>24</sup>.

---

<sup>23</sup> Anmerkung: Es gibt Ansätze, Wasserstoff zu produzieren, wenn bspw. durch Windkraftwerke oder Laufwasserkraftwerke mehr Strom produziert wird, wie dieser momentan verbraucht werden kann. So kann in diesen Zeiten überschüssige Energie gespeichert werden.

<sup>24</sup> Anmerkung: Mögliche Umweltschädigungen durch die Herstellung und Entsorgung der Batterien konnten im Rahmen dieser Studie nicht abgeklärt werden. Es wird empfohlen, diese Thematik frühzeitig für den Schienen- und Strassenverkehr abzuklären und ausführlich zu untersuchen um mögliche negative Umweltfolgen durch die Batterien zu vermeiden.

### 3.3.3 Condition Monitoring

#### **Hypothese ME 3 - Condition Monitoring**

*Condition Monitoring ermöglicht es, entstehende Fehler mit hoher Präzision zu erkennen. Durch den Zugbetrieb, autonome Fahrzeuge und intelligente ferngesteuerte Systeme werden Daten gesammelt, um ein höheres Mass an Sicherheit zu gewährleisten. Durch flexible Ressourcenallokation und sorgfältig geplante Reserven, werden entstehende Ausfälle zeitnah behoben, bevor es zu ungeplanten Systemausfällen kommt.*

#### **Detailaspekt 27 - Fahrzeug- und Infrastrukturmonitoring**

*Einsatz von Sensoren in Personenverkehrszügen, zum Fahrzeug- und Infrastrukturmonitoring (Intelligente Prognosen).*

#### **Erklärung**

*Das Condition Monitoring bei der Bahn ist ein Zustandsüberwachungskonzept, bei diesem kontinuierlich oder in regelmässigen Abständen mit Messgeräten verschiedenartige Messdaten auf regulären Personen- und Güterzügen erfasst werden. Anhand dieser Messdaten wird kontinuierlich der Fahrzeugzustand und/oder der Gleiszustand kontrolliert.*

Die Experten sehen ziemlich einheitlich ein grosses Potential durch das Condition Monitoring und stimmen im Allgemeinen der Hypothese zu. Es wird als evolutionärer machbarer Prozess angesehen, welcher die Instandhaltung optimieren und die Verfügbarkeit erhöhen kann. Die Experten gehen davon aus, dass sich diese Technologie in der Zukunft immer mehr durchsetzen wird.

Obwohl generell eine Zustimmung vorhanden ist, äussern Experten, welche einen Nutzen in der Technologie sehen, jedoch auch Vorbehalte. Unter anderem wird die erhöhte Sicherheit angezweifelt. Es wurden Probleme mit der Datenerzeugung, der Handhabung, sowie der Vergleichbarkeit erwartet. Des Weiteren wurde betont, dass es nicht einfach ist, einen Fehler genau vorherzusagen. Insbesondere haben kleinere Betreiber zu wenige Fahrzeuge um ausreichend Referenzdaten für die Vorhersagen zu sammeln. Zudem ist der fahrdynamische Vergleich baugleicher Fahrzeuge auf verschiedenen Strecken schwierig. Es wurde von der Expertenseite davor gewarnt, zu viele Ressourcen in die Ausfalldeduktion zu investieren, da es kein Ersatz dafür ist, die Systeme so zu optimieren, dass es zu weniger Ausfällen kommt.

## 3.3.4 Weitere Aspekte

### 3.3.4.1 Energieversorgung

Durch die steigende Elektromobilität und neue elektrische Heizsysteme, nimmt der Strombedarf und die Abhängigkeit vom Stromnetz zu. Durch den Abbruch des Rahmenabkommens wird die Schweiz zunehmend aus der Zusammenarbeit im europäischen Strommarkt ausgegrenzt, sodass die Versorgung in der Zukunft kritischer und/oder teurer wird. Insbesondere im Winter ist auch die SBB stark auf Importe angewiesen.

Die derzeit vorhandenen Wasserkraftwerke sind ein wichtiger Bestandteil zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit. Daher werden auch weiterhin neue Wasserkraftwerksanteile zur Bahnstromversorgung übernommen. Der Bau neuer Wasserkraftwerke wird als wichtig bezeichnet, um die Versorgung zu gewährleisten und die Klimaziele, sowie die Versorgungssicherheit zu erreichen. In diesem Zusammenhang wurde aber auch die Problematik des Neubaus von zusätzlichen Wasserkraftwerken betont. Dieser ist durch die derzeitigen Rahmenbedingungen kaum möglich. Auch die Rahmenbedingungen für Windkraftwerke, welche eine Alternative darstellen, werden als schlecht beschrieben. Als derzeit einzige mögliche Lösungen werden dezentrale Solaranlagen genannt. Diese liefern jedoch primär im Sommer Strom und erzeugen nur wenig im energieintensiven Winter. Andere Kraftwerke wie AKWs, sind wegen diverser Nachteile keine Alternative, so werden gerade AKW Anteile gezielt reduziert.

Grundsätzlich ist eine dezentrale Versorgung mit mehreren kleineren Kraftwerken und vielen Einspeisepunkten für die Ausfall- und Versorgungssicherheit vorteilhaft (sodass es Bestrebungen für weitere Wasserkraftwerke gibt). Zur Gewährleistung der Ausfall- und Versorgungssicherheit wird das Netz verdichtet, sodass es mehr Einspeisepunkte hat. Die Verfahren zum Bau neuer Leitungen dauern jedoch 20 bis 80 Jahre. Deshalb wird parallel gearbeitet Black-out-Auswirkungen zu reduzieren.

### 3.3.4.2 Klimaanlage

#### **Detailaspekt 28 - Klimaanlage**

*Intelligente Klimaanlage und Belüftung mit einem reduzierten Energiebedarf (ggf. CO<sub>2</sub> Sensoren oder Einsatz von Fenstersensoren, um geöffnete Fenster zu erkennen um die Klimaanlage abzuschalten).*

Solche Systeme werden von den Experten als Stand der Technik bezeichnet und als sinnvoll eingestuft. Dabei sind sie nicht nur aus Energieaspekten relevant, sondern auch für das Lastmanagement und den Komfort.

Verschiedene weitere Optimierungen wären grundsätzlich möglich. CO<sub>2</sub> Sensoren, auf welche heute primär gesetzt werden, können hierbei jedoch nicht alles abdecken. Sie können bspw. keine Viren und auch keine Geruchsbelästigungen erfassen. Zudem könnte eine sitzplatzbezogene bedarfsgerechte

Belüftung Energie sparen (manuell gesteuert ist dies bei Abteilwagen Stand der Technik). Bei Grossraumwagen wäre dies durch eine Sitzplatzbesetzungsdetektion denkbar. Energiesparpotential besteht auch durch eine gezielte Nutzung der Komponentenabwärme.

### 3.3.4.3 Kurzschlusserkennung

#### **Detailaspekt 29 - Kurzschlusserkennung**

*Kurzschlusserkennungssysteme für Strassenbahnen, sodass Oberleitungsschäden verlässlicher erkannt werden, damit die Sicherheit erhöht wird.*

#### **Erklärung**

*Bei Kurzschlüssen fliesst ein hoher Strom. Dieser Strom wird durch eine Automatik erkannt und die Oberleitung abgeschaltet. Wenn hohe Ströme im Betrieb normal sind, ist es schwerer, zwischen einem Normalbetrieb mit einem hohen Verbrauch und einem Kurzschluss zu unterscheiden. Durch die geringe Spannung im Strassenbahnbetrieb, liegen dort oft höhere Ströme, als im Eisenbahnbetrieb vor<sup>25</sup>.*

Für den Einsatz auf Strassenbahnstrecken sehen die Experten durchaus einen Nutzen. So wird beschrieben, dass die Kurzschlusserkennung bei geringen Spannungen und hohen Strömen generell schwerer ist. Die 15 kV Eisenbahn hat keinen Bedarf an solchen Systemen, da aufgrund der hohen Spannungen Kurzschlüsse einfach erkannt werden. Es wird davon ausgegangen, dass mittels einer Kommunikation des Fahrzeugstromrichters mit dem Netz, eine Kurzschlusserkennung mit geringen Kosten umsetzbar ist, wenn so ein System bei der Fahrzeugbeschaffung vorgesehen ist.

### 3.3.4.4 Leichtbau

Von der Expertenseite wird der Leichtbau bei gleichbleibender Stabilität als nützliches Ziel eingestuft. Dies würde Energie sparen und könnte auch im Güterverkehr höhere Zuladungen ermöglichen.

---

<sup>25</sup> Erklärung: Die elektrische Leistung ist das Produkt aus Spannung und Strom. Wenn eine Hochleistungslokomotive aus dem 15000 Volt Bahnstromnetz eine elektrische Leistung von 6400 kW bezieht, fliesst ein Strom von ungefähr 430 Ampere. Wenn eine Strassenbahn aus dem 600 V Strassenbahnnetz eine elektrische Leistung von 660 kW bezieht, fliesst bei diesem Normalbetrieb schon wegen der einen Strassenbahn ein Strom von ungefähr 1100 Ampere. Daher sind beim Strassenbahnbetrieb durch die niedere Spannung hohe Ströme normal.

### 3.3.4.5 Smart Grids

#### **Detailaspekt 30 - Smart Grids**

*Weite Verbreitung von Smart Grids, Smart Appliances, und PV-Produktion.*

#### **Erklärung:**

*Smart Grids sind dezentralisierte Stromnetzwerke bestehend aus vielen kleineren Energieerzeugern. Das Netzwerk wird aufgrund von Echtzeitdaten zu den Erzeugern und Verbrauchern im Netzwerk adaptiv gesteuert.*

Hinsichtlich dieses Aspektes besteht bei den Experten eine Kontroverse. Der grösste Teil sieht einen Nutzen, ein Teil ist im Mittelfeld und ein Teil stellt die Thematik in Frage. Lediglich die Solarzellen werden mehrheitlich als sinnvoll erachtet. Aktuell befindet sich in diesem Themengebiet schon einiges im Einsatz und es wird derzeit relativ ausgebaut.

### 3.3.4.6 W-Lan

#### **Detailaspekt 31 - W-Lan**

*Flächendeckende W-Lan Versorgung in Zügen.*

Hinsichtlich dem W-Lan besteht bei den Experten eine Kontroverse. Die eine Seite sieht keine Notwendigkeit und begründet dies mit der guten Mobilfunkabdeckung.

Die andere Seite bezeichnet W-Lan klar als notwendigen Standard. Dies wird unter anderem damit begründet, dass der Kunde für die Reiseinformation immer mehr auf das Mobiltelefon angewiesen ist. Zudem wurde betont, dass auch der Tourismus aus dem Ausland beachtet werden sollte. Gemäss Experteneinschätzung bestehe ohne W-Lan kein barrierefreier Zugang zum öffentlichen Verkehr für Touristen. Teure Roaming-Tarife stehen im Konflikt mit der zunehmenden Abhängigkeit des Kunden vom Internet (bspw. für Fahrplanauskünfte, den Ticketkauf etc.).

## 3.4 Neues Angebotsdesign und –steuerung

In diesem Kapitel folgt eine Synthese der Expertenbefragungen zum Thema neues Angebotsdesign und -steuerung. Dabei werden die Themen: Taktfahrplan, dynamischer Fahrplan, vernetzte Verkehrsträger, Kernnetz und weitere Aspekte beschrieben.

### 3.4.1 Taktfahrplan

#### **Hypothese AS 1 - Taktfahrplan**

*Im Jahr 2050 basieren die Fahrpläne nicht mehr (vollständig) auf dem ITF/TAKT (Der integrierte ITF/TAKT-Fahrplan stösst an seine Grenzen, da er ein limitierender Faktor für die Zuganzahl pro Stunden darstellt und zudem die Reisegeschwindigkeit limitiert).*

Ein Experte spricht sich für die Aufhebung des integralen Fahrplans aus und beschreibt die Vorteile für das Verkehrsunternehmen. So wird bei der Aufhebung ITF die Planung aus der Perspektive des Verkehrsunternehmens einfacher und die Knoten werden weniger belastet, sodass diese weniger Infrastruktur benötigen, weil nicht alle Züge gleichzeitig am Bahnhof sind.

Alle anderen Experten sind sich einig, dass ein Taktfahrplan als Grundangebot für den Kunden wichtig ist. Die Experten sind sich dabei bewusst, dass dies für den Betreiber aufwendiger ist. In diesem Zusammenhang wurde aber betont, dass es nicht das Ziel sein soll, den Betriebsablauf aus der Perspektive des Verkehrsunternehmens zu verbessern, sondern aus der Perspektive des Kunden, um Verkehrsabwanderungen auf des Privatauto zu vermeiden.

Dies wurde damit begründet, dass ein Fahrplan dem Kunden eine einfache und verständliche Planung ermöglichen muss. Das Angebot muss regelmässig und ohne Reservierungspflicht sein, damit es Neukunden einen einfachen Einstieg in den öV ermöglicht. Zudem muss der Fahrplan für den Kunden Anschlüsse mit guten Umsteigebeziehungen und kurzen Reisezeiten ermöglichen.

Ausnahmen vom Taktfahrplan, welche zusätzlich zu diesem angeboten werden, wurden jedoch grundsätzlich begrüsst. In diesem Zusammenhang wurden folgende Beispiele aufgezählt:

- Geringe Fahrzeitabweichungen an den Randzeiten, sowie Wochenenden.
- Geringe tageszeitabhängige Anpassungen im Halteregime.
- Bei Verbindungen in der Nacht.
- Bei Verdichtungszügen.
- Bei touristischen umsteigefreien Direktverbindungen, welche die grossen Knoten umfahren.  
Bspw. auf den Relationen:
  - Bern nach Chur ohne Halt in Zürich
  - Zürich nach Interlaken ohne Halt in Bern

- Bei zusätzlichen richtungsorientierten Zügen
  - Werktags im Berufsverkehr: morgens in die Stadt - abends aufs Land
  - Am Wochenende: morgens in die Berge, abends in die Städte

#### **Detailaspekt 32 – Metroähnlicher Betrieb**

*Einführung eines metroähnlichen Betriebes auf Hauptstrecken (kein Taktbetrieb, Bahnhomogenität) (d.h. zwischen wichtigen Städten, wie Bern und Zürich fährt bspw. alle 10 Minuten ein IC).*

Die Experten beantworten diese Frage kontrovers. Eine Taktverdichtung wird grundsätzlich begrüßt. Ein zusätzliches Umsteigen durch die Taktverdichtung wird jedoch abgelehnt, da Umsteigen die Attraktivität für den Kunden reduziert.

Ein schweizweites Volumen für einen 10 Minuten Takt wird angezweifelt und es wird eher eine derartige Taktverdichtung auf der Ost-West-Achse erwartet. Es wird jedoch nahegelegt, das übrige Netz nicht zu vernachlässigen und auch ausserhalb der Hauptachsen in den ländlichen Regionen den Takt zu verdichten.

### **3.4.2 Dynamischer Fahrplan**

#### **Hypothese AS 2 - Dynamischer Fahrplan**

*Im Jahr 2050 haben wir einen dynamischen Fahrplan, der im Laufe des Tages kontinuierlich angepasst wird. Während die groben Abfahrtszeiten den Kunden langfristig im Voraus mitgeteilt werden, werden die tatsächlichen Abfahrtszeiten nur Minuten vor der tatsächlichen Abfahrt mitgeteilt.*

#### **Detailaspekt 33 - Abschaffung des Fahrplans**

*Abschaffung des Fahrplans und anbieten des Bahnbetriebes in Abhängigkeit der momentanen Nachfrage.*

Alle Experten kritisieren eine Abschaffung des Fahrplans, den dynamischen Fahrplan und den on Demand Fahrplan<sup>26</sup>. Es wird betont, dass sich dadurch die Attraktivität des ÖVs für den Kunden erheblich reduziert. Die Experten aus der Schweiz betonen immer wieder sehr stark, dass die Verlässlichkeit und Planbarkeit entlang der gesamten Reisekette extrem wichtig für den Kunden ist. Die Experten aus dem Ausland nennen die Attraktivitätsreduktion, erwähnen aber nicht die von den Schweizerischen Experten immer wieder beschriebene «Notwendigkeit eines verlässlichen und planbaren öffentlichen Verkehrs».

---

<sup>26</sup> Anmerkung: Zur Ermöglichung eines einfachen Leseflusses, werden die Konzepte der „Abschaffung des Fahrplans“, des «dynamischen Fahrplans» und des «on Demand Fahrplans» mit dem Begriff «dynamischer Fahrplan» zusammengefasst.

Durch die reduzierte Planbarkeit des dynamischen Fahrplans wird sehr stark davon ausgegangen, dass dieser zu einer deutlichen Verkehrsverlagerung vom öV auf das Auto führt.

Der dynamische Fahrplan wird von der Expertenseite als Konzept beschrieben, welches glaubt den Betriebsablauf aus der Perspektive des Verkehrsunternehmens zu verbessern und dabei die Kundenbedürfnisse ignoriert.

Ein dynamischer Fahrplan hat die Eigenschaft, dass der Kunde nicht exakt planen kann, weil nicht frühzeitig bekannt ist, wann der Zug fährt. Daher muss der Kunde, wenn er unbedingt mitfahren möchte, vorsichtshalber ein paar Minuten früher an der Haltestelle sein und verliert dadurch Zeit. Durch den dynamischen Fahrplan werden Anschlüsse entweder nicht gewährleistet oder es müssen längere Umsteigezeiten eingeplant werden, sodass sich für den Kunde wiederum die Reisezeit verlängert. Wenn der Kunde sicher sein Ziel pünktlich erreichen möchte, muss er frühere Verbindungen wählen, wodurch wiederum Zeit verloren geht. Ein dynamischer Fahrplan verlängert somit durch mehrere Aspekte die Reisezeit. Bei der Bahn werden, im Gegensatz zum Auto, unerwartete Reisezeitverlängerungen kaum toleriert. Wenn der Kunde die genaue Ankunfts-, Abfahrts- und Reisezeit nicht einschätzen kann, ist eine deutliche Verkehrsverlagerung auf das Auto zu erwarten.

Ein dynamischer Fahrplan ist vergleichbar mit dem Fahrplan im Störfall, wenn das Verkehrsunternehmen sein System nicht im Griff hat. Solche Störungen kommen von alleine vor und reduzieren die Attraktivität. Von Schweizer Experten wurde beschrieben, dass heute eine Fahrplanabweichung von einer Minuten gerade noch akzeptiert wird, eine Abweichung von drei Minuten wird schon als zu viel bezeichnet.

Der dynamische Fahrplan ist für den Kunden nicht erlernbar. Zudem muss der Kunde die Fahrt vorab reservieren und während der Fahrt dauernd auf sein Handy schauen, weil sich die Reisekette ändern kann. Dies reduziert die Attraktivität, stellt eine Barriere dar und erschwert den Einstieg für Neukunden. Dabei wurde erwähnt, dass insbesondere in ländlichen Gebieten, mit einer geringen Taktdichte, die Planbarkeit wichtig ist.

Im Zusammenhang mit dem dynamischen Fahrplan wurden auch betriebliche Nachteile genannt. Es ist betrieblich extrem aufwendig, einzelne Züge durch spontane Nachfrageänderungen ausfallen zu lassen oder neu einzusetzen. Es kann immer nur ein ganzes Zugpaar (Hin- und Rückfahrt) umdisponiert werden. Zudem kann der Dienstplan des Personals auch nicht spontan angepasst werden.

Weiter wurden von der Expertenseite auch Sicherheitsbedenken geäußert. So ist ein korrekt geplanter Fahrplan ein Sicherheitselement, welches bekanntlich Kollisionen vermeidet<sup>27</sup>. Kollisionen finden gehäuft im Störfall statt, welcher quasi mit dem dynamischen Fahrplan vergleichbar ist.

Eine nachfrageorientierte Angebotssteigerung während den auslastungsstarken Hauptverkehrszeiten zusätzlich zum Grundangebot wurde aber mehrfach empfohlen.

---

<sup>27</sup> Anmerkung: Es gibt Betriebskonzepte, welche auf Zugsicherungen verzichten und die Kollisionsverhinderung durch das korrekte Einhalten des Fahrplans gewährleisten.

Im Gegensatz zum Eisenbahnverkehr, bei diesem die Experten von dem dynamischen Fahrplan abraten, wird ein bedarfsorientierter Fahrplan im Metro- oder Stadtverkehr als Möglichkeit erachtet, wenn eine hohe Taktdichte vorliegt und diese im Bedarfsfall noch verstärkt wird. Als Mindesttaktdichte für einen dynamischen Fahrplan wurde ein 5 Minutentakt genannt.

### 3.4.3 Vernetzte Verkehrsträger

#### **Hypothese AS 3 – Vernetzte Verkehrsträger**

*Das Eisenbahnsystem ist mit einer Vielzahl von Verkehrsträgern eng vernetzt. Das Angebot wird detailliert international geplant.*

Die Experten erachten einen national und international besser koordinierten Fahrplan als sehr wichtig. Auch wenn eine bessere internationale Koordination gewünscht ist, wird zugleich mehrfach angezweifelt, ob das wirklich möglich ist, da der öV in den Nachbarländern eine geringere Rolle als in der Schweiz spielt<sup>28</sup>.

Hierzu wurde angemerkt, dass ein Fahrplan eine Hierarchie benötigt, bei dieser die längeren Verbindungen oben sind und die Zubringer sich daran orientieren. Hierfür muss der Bus als Zubringer besser mit der Bahn verknüpft werden.

Weiter wurde angemerkt, dass Verknüpfungen zu Verkehrsträgern ausserhalb des Fahrplans (u.a. sharing) dem Kunden überlassen werden sollten und nicht alles zentral geplant werden sollte.

---

<sup>28</sup> Anmerkung: Durch verschiedene Systeme und Technologien gibt es technische Hürden im internationalen Verkehr. Trotzdem ist die technische Machbarkeit für einen internationalen Reisezugwagenverkehr mit lokbespannten Zügen längst vorhanden und einfach umsetzbar. Schon im 19. Jahrhundert fanden erste Normierungen für den internationalen Verkehr statt. Im 20. Jahrhundert gab es einen ausgeprägten internationalen TEE Verkehr (mit Lokomotiven, Triebköpfen und Triebzügen). Durch die UIC Reisezugwagen existiert längst eine internationale Standardlösung für Reisezugwagen, welcher einen einfachen internationalen Verkehr ermöglicht. Zum Vermeiden des Lokwechsels, haben sich schon seit Jahren fertig kaufbare Mehrsystemlokomotiven etabliert. Zum Vermeiden des Spurwechsels gibt es schon längst Fahrzeuge mit Spurwechseldrehgestellen zu kaufen. Lediglich ist der internationale Verkehr mit Triebzügen tendenziell aufwändiger, weil die Triebzüge im Vergleich zu lokbespannten Zügen weniger auf Standardlösungen zurückgreifen können.

### 3.4.4 Kernnetz

#### **Hypothese AS 4 - Kernnetz**

*Das Bahnnetz wird auf ein Kernnetz reduziert, dass der Mehrheit der Bevölkerung dient. Dieses Kernnetz ist mit anderen öffentlichen Verkehrsdiensten verbunden (bspw. Bussen) (d.h. es werden diverse Bahnstrecken stillgelegt und es werden nur noch Strecken beibehalten, auf denen eine sehr hohe Verkehrslast ist - bspw. Strecken mit IC Linien).*

**ODER:**

*Das Bahnnetz wird erweitert und für die tatsächliche Nachfrage angepasst, so dass mehr Passagiere angebunden werden, damit das Kernnetz effizienter genutzt wird und weniger Reisende auf den Individualverkehr angewiesen sind.*

#### **Detailaspekt 34 - Das Bahnnetz wird erweitert**

*Das Bahnnetz wird erweitert und für die tatsächliche Nachfrage angepasst, so dass mehr Passagiere angebunden werden.*

#### **Detailaspekt 35 - Kernnetz**

*Das Bahnnetz wird auf ein Kernnetz reduziert, dass der Mehrheit der Bevölkerung dient. Dieses Kernnetz ist mit anderen öffentlichen Verkehrsdiensten verbunden (bspw. Bussen) (d.h. es werden diverse Bahnstrecken stillgelegt und es werden nur noch Strecken beibehalten auf denen eine sehr hohe Verkehrslast ist - bspw. Strecken mit IC Linien).*

Diese Thematik wurde teilweise kontrovers betrachtet und lässt sich in drei Bereiche einteilen.

- Kein Experte ist für eine Reduktion auf ein Kernnetz - alle Experten haben eine radikale Reduktion auf ein Kernnetz abgelehnt.
- Ein Experte erachtet eine Stilllegung einzelner Strecken aus Finanzierungsgründen als wahrscheinlich, warnt aber zugleich vor zu radikalen Ansätzen.
- Die restlichen Experten sind für eine Beibehaltung des Netzes. Ein Teil davon sieht die Notwendigkeit eines Netzausbaues.

Der Experte, welcher Stilllegungen als wahrscheinlicher ansieht, begründet dies mit der Finanzierung und dem Aspekt, dass es sein kann, dass in der Zukunft mehr und mehr die Frage aufkommt, ob das bestehende Bahnnetz, sowie Ausbauten noch finanzierbar sind. Gleichzeitig wird vor radikalen Stilllegungen gewarnt. Es wurde beschrieben, dass es Strecken gibt, welche hinsichtlich ihrer Fahrgastauslastung sofort stillgelegt werden müssten. Es wurde aber betont, dass diese Strecken trotzdem nicht stillgelegt werden dürfen, weil dies die Durchgängigkeit, respektive Ausweichrouten im Störfall oder bei Bauarbeiten einschränken würden. Daher wurde nahegelegt, bei möglichen Stilllegungen grundsätzlich das Gesamtsystem und die Netzfunktionalität zu betrachten.

Von der Expertenseite, welche sich gegen Stilllegungen ausspricht, wurde gesagt, dass die «Forderung einer Reduktion auf ein Kernnetz zeigt, dass nicht verstanden wurde, wie ein Bahnnetz funktioniert». Es wurde erläutert, dass der Erfolg des Gesamtsystems von den Nebenstrecken, welche als Zubringerlinien fungieren, abhängt. Diese Zubringerlinien sind immer unwirtschaftlich, ein Entfernen dieser Linien reduziert aber die Nachfrage der verbleibenden Linien, sodass sich die Wirtschaftlichkeit des Kernnetzes reduziert. Grundsätzlich gibt es immer einen unwirtschaftlichen öV um dem wirtschaftlichen öV die nötige Auslastung zu liefern. Wenn die unwirtschaftlichen Nebenstrecken und/oder Randzeitenzüge weggestrichen werden, verwendet der Kunde ein Auto und das Kernnetz wird unwirtschaftlich.

Weiter wird erläutert, dass diverse europäische Länder in der Vergangenheit den Fehler des Stilllegens gemacht haben und im Rahmen der Verkehrswende<sup>29</sup> und einer steigenden Nachfrage nach dem öV diese extrem teuer und mühsam wiederaufbauen müssen. Dabei ist der Wiederaufbau, in dicht besiedelten Gebieten mit einer hohen Nachfrage gar nicht möglich, weil die Flächen mittlerweile anders genutzt werden.

Für die Zukunft wird erwartet, dass Bahnstrecken, welche heute nicht gut ausgelastet sind, durch die Einwohnerzunahme und zunehmende Verdichtung im ländlichen Raum in der Zukunft stärker ausgelastet und somit wirtschaftlicher werden. Weiter wird für die Zukunft erwartet, dass Bahnstrecken im ländlichen Raum die Attraktivität dieser Gebiete anheben und dadurch siedlungsmässig eine Entlastung der immer stärker überfüllten Städte ermöglichen. Zudem wurde erwähnt, dass schienengebundene Verkehrsmittel im Vergleich zu strassenbasierten Verkehrsmitteln einen Transport mit einem extrem geringen Platzbedarf ermöglichen.

Es wird betont, dass Busse, spurgeführte Busse (Strassenzüge) und ähnliche Systeme keine Alternative darstellen, da diese für den Fahrgast unattraktiver und unkomfortabler sind. Betrieblich sind Busse weniger verlässlich, weniger sicher, haben eine höhere Rollreibung und sind weniger energieeffizient. Zudem eignen sich strassengebundene Systeme im Winter bei schlechten Strassenverhältnissen weniger gut, als Bahnsysteme.

Abschliessend wurde angemerkt, dass eine Reduktion auf ein Kernnetz kontraproduktiv ist, wenn es das politische Ziel ist, den Modalsplit dahingehend zu verbessern, dass mehr Kunden den öV nutzen. Grundsätzlich entspricht das heutige Netz der heutigen Nachfrage und sollte daher in der jetzigen Form beibehalten und gestärkt werden. Eine grössere Änderung der Netzstruktur wurde nicht empfohlen (z.B. die Diskussion über das Croix Fédérale). Einer Reduktion auf ein Kernnetz wurde deutlich widersprochen, da sich dies unter anderem auch wirtschaftlich negativ auf das Gesamtsystem auswirken wird.

---

<sup>29</sup> Anmerkung: Als Verkehrswende wird insbesondere in Deutschland und Österreich das strategische Ziel bezeichnet, eine Verkehrsverlagerung von der Strasse zum öffentlichen Verkehr und auf die Schiene zu erzielen.

## 3.4.5 Weitere Aspekte

### 3.4.5.1 Echtzeitinformationen

#### **Detailaspekt 36 - Echtzeitinformationen**

*Verbesserte Echtzeitinformationen bei Betriebsstörungen (via Bahnhofsanzeige und/oder Anzeigetafel im Zug und/oder App etc.).*

#### **Detailaspekt 37 - Alternativfahrplan**

*Alternativfahrplan in Echtzeit.*

Über die Notwendigkeit solcher Technologien sind sich die Experten einig. Solche Systeme gibt es zwar schon, trotzdem sehen die meisten Experten die Notwendigkeit diese zu verbessern.

Als Detailpunkt wurde angemerkt, dass die Bedingung des automatischen Kundeninformationssystems bei Bauarbeiten, sowie im Störfall viel flexibler sein sollte, zudem sollte es schweizweit verkehrsunternehmensunabhängig sein.

Bei dieser Thematik besteht einzig eine deutliche Kontroverse hinsichtlich einer Anwendung auf der App. Die eine Seite argumentiert, dass ein digitaler Reisebegleiter als App zwingend erforderlich ist, weil dieser im Verspätungsfall dynamische Routen vorschlagen kann und somit mehr Informationen als die Anzeigetafel liefert.

Die andere Seite sieht die Notwendigkeit einer App kritisch. Zum einen wird kritisiert, dass es lästig ist, wenn der Fahrgast während der gesamten Fahrt immer wieder auf sein Smartphone schauen muss. Weiter wurde kritisiert, dass die Notwendigkeit einer App eine Barriere für den Einstieg in den ÖV darstellt. Diese Barriere ist insbesondere für Touristen aus dem Ausland sehr problematisch. Zudem wird reklamiert, dass Personen aus dem Ausland durch die teuren Roaming Tarife und ohne flächendeckendes W-Lan, Probleme haben werden, wenn sie auf eine App angewiesen sind.

### 3.4.5.2 Resilienz in der Planung

#### **Detailaspekt 38 - Resilienz in der Planung**

*Resilienz in der Planung - Simulationsbasierte Zeitreservedefinition (statistische Methoden) (d.h. die Fahrplanpufferzeitreserven werden individuell und passend definiert).*

Hinsichtlich dieser Technologie besteht eine Kontroverse. Der grössere Teil der Experten beschreibt dies als wichtig. Die andere Seite kommentiert, dass vergleichbare Ergebnisse mit guten Mitarbeitern und einem gut geplanten Fahrplan ebenfalls erreichbar sind.

### 3.4.5.3 Komfort

#### **Detailaspekt 39 - Komfort**

*Komforterhöhung im Nah- und Fernverkehr zur Attraktivitätssteigerung und Kundenneugewinnung.*

Diese Thematik wird von den Experten kontrovers gesehen. Die eine Seite sieht Komfortsteigerungen eher kritisch, da diese die Kosten erhöhen können. Von dieser Seite wird primär die Notwendigkeit gesehen, einen Basis-Komfort zur Verfügung zu stellen. Dieser Basis-Komfort soll dem Kunden genügend Platz, wenig Lärm und eine Steckdose zur Verfügung stellen.

Die andere Seite, welche die Mehrheit darstellt, erachtet diese Thematik als wichtig, ist sich aber auch der Kosten bewusst. Es wird die Notwendigkeit gesehen, den Komfort gegenüber der heutigen Situation zu verbessern. Diese Verbesserung betrifft sowohl den Reisekomfort als auch den Fahrkomfort. Hierbei wurde von der Expertenseite deutlich kritisiert, dass der Fahrkomfort der verschiedenen neuen Triebzüge schlechter ist, als der des Personenwagentyps vom Typ EW 4. Es wurde betont, dass die Komfortverschlechterung der letzten Jahre bedenklich und nachteilhaft ist.

### 3.4.5.4 Kurswagen

#### **Detailaspekt 40 – Kurswagen**

*Kurswagenverkehr wird regelmässig eingesetzt (z.B. für Nachtzüge und internationale Verbindungen), aufgrund verbesserter Rangierprozesse, unterschiedlicher Vorschriften, Personaleinsatz oder der Möglichkeit angetriebene Wagen zu verwenden.*

Der internationale Kurswagenverkehr wird von den Experten kontrovers angesehen. Hierbei wird diese Verkehrsart tendenziell mehr von den Experten aus der Schweiz angezweifelt, aber kaum von den Experten aus dem Ausland.

Von der einen Seite wird eine Umsetzung nicht empfohlen und auf Optimierungen des heutigen internationalen Verkehrs gesetzt. Dabei werden Zweifel hinsichtlich des Marktes und der wirtschaftlichen Rentabilität geäußert. Zudem wurde erwähnt, dass ein Einsatz des Kurswagenverkehrs von der Zusammenarbeit mit den Nachbarländern und den machbaren Umlaufplänen abhängt.

Von der anderen Seite wird der Einsatz des Kurswagenverkehrs als sehr sinnvoll beschrieben, da dieser umsteigefreie Verbindungen ermöglicht und dadurch die Attraktivität des Bahnverkehrs erhöht. Insbesondere in Kombination mit minimal motorisierten Wagen, welche das Rangieren vereinfachen, kann dies gegenüber dem alten Kurswagenverkehr eine Innovation darstellen. Weiter wurde betont, dass die Interoperabilität eines Verkehrs (mit Kurswagen/Reisezugwagen) deutlich einfacher ist, als ein internationaler Triebwagenverkehr. So gibt es bei einem internationalen Triebwagenverkehr z.B. die Hürden der Signalsysteme und die Notwendigkeit, dass die Triebfahrzeugführer aus dem Ausland die jeweilige triebfahrzeugspezifischen Ausbildungen benötigen. Zudem wird ein deutlicher Nutzen für

die Umwelt gesehen, da der Kurswagenverkehr eine umweltfreundliche Alternative zum Flugzeug darstellt.

### 3.4.5.5 Spurwechselfahrzeuge

#### **Detailaspekt 41 – Spurwechselfahrzeuge**

*Aufhebung der spurweitenbezogenen Systemgrenzen durch den Einsatz von Spurwechselfahrzeugen, damit Züge unabhängig die Normalspur und Meterspur verwenden können und neue Direktverbindungen entstehen, sodass eine Attraktivitätssteigerung ermöglicht wird.*

Von der Expertenseite wird diese Technologie als technisch beherrschbar eingestuft. Eine sinnvolle Anwendung wird für ausgewählte touristische Verbindungen gesehen. Der Nutzen eines grossflächigen Einsatzes wird kontrovers gesehen. Es wurde auf der einen Seite beschrieben, dass diese Systeme die Attraktivität für den Kunden deutlich erhöhen würden. Diesem Vorteil wurde entgegengehalten, dass diese Fahrzeuge komplexer und teurer sind. Weiter wurde auf die Problematik hingewiesen, dass diese Fahrzeuge immer die Parameter und Fahrzeugabmessungen des kleineren Systems übernehmen müssen.

### 3.4.5.6 Störungsmanagementsystem

#### **Detailaspekt 42 - Störungsmanagementsystem**

*Störungsmanagementsystem zum frühzeitigen Erkennen von Betriebsstörungen, damit frühzeitig reagiert werden kann.*

Hinsichtlich der Notwendigkeit des Störungsmanagements besteht bei den Experten eine Kontroverse. Die Mehrheit beschreibt solche Systeme als notwendig und sieht einen grossen Nutzen darin. Die andere Seite kommentiert, dass erfahrene Disponenten mit technischen Hilfsmitteln besser sind.

## 3.5 Güterverkehr

In diesem Kapitel folgt eine Synthese der Expertenbefragungen zum Thema Güterverkehr. Dabei werden die Themen: Marktanteil, Querverschiebevorrichtungen, Verkehrsfluss, gemischte Züge und neue Ansätze, sowie weitere Aspekte beschrieben.

### 3.5.1 Marktanteil (Güterverkehr)

#### **Hypothese G1 - Marktanteil (Güterverkehr)**

*Der Schienengüterverkehr wird wichtiger im Transportsegment, sodass eine Verkehrsverlagerung auf die Schiene stattfindet. Der Schienengüterverkehr trägt auch zu einer schnellen Verteilung relativ kleiner Sendungen in Verteilerzentren in städtischen Gebieten bei.*

Die Experten beurteilen diese Hypothese kontrovers. Der eine Teil stimmt der Hypothese zu und der andere Teil bezeichnet sie als zu optimistisch. Es wurde mehrfach beschrieben, dass der Güterverkehr technisch seit mehr als 50 Jahren stehen geblieben ist.

Es wurde beschrieben, dass der heutige schweizerische Schienengüterverkehr im internationalen Vergleich zwar schon sehr gut ist. Gleichzeitig wurde mehrfach deutlich betont, dass sich weiterhin viel verbessern muss. Anderenfalls würde sich in den nächsten Jahren sehr viel Verkehr auf die Strasse verlagern.

Es wird nahegelegt, dass der Schienengüterverkehr alleine schon wegen des Klimawandels seinen Marktanteil erhöhen muss.

### 3.5.2 Querverschiebevorrichtungen

#### **Hypothese G2 - Querverschiebevorrichtungen**

*Neue, einfache Umschlag- und Verkehrsträgerwechsel ermöglichen ein schnelles Umladen mit geringem infrastrukturellen und personellen Aufwand (z.B.: Bei einer Querverschiebevorrichtung wird kein Kran benötigt, der LKW muss nur neben einem abgestellten Güterwagen parken, sodass der Container automatisch querverschoben werden kann).*

#### **Detailaspekt 43 - Querverschiebevorrichtungen**

*Einfaches Beladen von Güterwagen mit Containerquerverschiebevorrichtungen, damit Container ohne Kran von LKWs auf Güterwagen verladen werden können.*

Die Mehrheit der Experten sieht einen grossen Nutzen und ist grundsätzlich für solche Systeme. Lediglich ein Experte zeigt sich grundsätzlich skeptisch gegenüber Neuentwicklungen im Güterverkehr.

Der Vorteil dieser Systeme besteht darin, dass sie den Umschlag vereinfachen und den Infrastrukturaufwand reduzieren. Problematisch wird jedoch der Aspekt der Investition gesehen. So muss entweder der LKW-Betreiber oder der Wagenhalter in die Umrüstung investieren.

Daher ist zu erwarten, dass an grossen und mittleren Terminals die Verladekräne weiterhin notwendig sind. Querverschiebevorrichtungen ermöglichen es jedoch, sehr kleine neue Terminals aufzubauen, bei denen sich eine Investition in Kräne nicht lohnen würde. Potentielle Anwendungen solcher Terminals sind beispielsweise in den Bereichen Nahversorgung und Citylogistik.

### 3.5.3 Verkehrsfluss

#### **Hypothese G3 - Verkehrsfluss**

*Der Güterverkehr fährt mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit, die mit den Personenzügen vergleichbar ist, wodurch die Trassen- und Infrastrukturkapazität optimal ausgenutzt wird (d. h. 160 km/h; oder langsamer, aber vergleichbar mit IR-Zügen, wenn Haltestellen enthalten sind).*

Wenn der Personenverkehr die Infrastruktur noch dichter als heute nutzen möchte, sehen die Experten es als Notwendigkeit, dass Güterzüge in Zukunft abschnittsweise schneller als 120 km/h fahren müssen. Bei ausreichender Streckenkapazität ist jedoch eine Güterzuggeschwindigkeit von 120 km/h sinnvoll.

Grundsätzlich wurde betont, dass der Güterzug nicht kontinuierlich 160 km/h fahren soll. Es ist viel wichtiger, dass der Güterzug in der Zukunft jeweils so schnell fährt, damit er im Verkehrsfluss mitfahren kann, sodass er den Personenzügen/Fernverkehrszügen nicht im Weg ist und nicht zur Seite gestellt wird, und die Personenzüge (insbesondere ICs) überholen können. Dabei ist das Problem, dass das zur Seite stellen eines Güterzuges extrem viel Energie kostet<sup>30</sup> und der Güterzug sehr viel Zeit dadurch verliert<sup>31</sup>. Dies kann vermieden werden, wenn der Güterzug in der Lage ist, bei Bedarf schneller als 120 km/h zu fahren.

Technologisch gibt es schon seit Jahrzehnten Güterwagen für 160 km/h zu kaufen. Höhere Güterzuggeschwindigkeiten als 160 km/h werden für die Schweiz jedoch kaum empfohlen, weil die Güterwagen bei mehr als 160 km/h dann aufwendig und teuer werden. Trotzdem werden aufgrund eines zukünftigen Marktpotentials derzeit 200 km/h Güterwagen entwickelt<sup>32</sup>.

---

<sup>30</sup> Erklärung: Güterzüge bremsen überwiegend mit ihren mechanischen Bremsen ohne Energie zurück ins Netz zu speisen. Dadurch wird fast die gesamte kinetische Energie in den mechanischen Bremsen in Wärme umgewandelt.

<sup>31</sup> Anmerkung: Jedes Mal, wenn ein Güterzug zur Seite gestellt wird, kostet das nicht nur sehr viel Energie. Es verursacht auch noch bei weitem nicht vernachlässigbare Instandhaltungskosten durch den Verschleiss der Bremsbelege.

<sup>32</sup> Anmerkung: Technisch ist auf der Schiene auch bei 200 km/h und höheren Geschwindigkeiten eine Achslast von 22.5 Tonnen möglich. Hohe Achslasten bei hohen Geschwindigkeiten sind im Allgemeinen aber aufwändiger und teurer in der Anschaffung sowie im Unterhalt. Daher wird üblicherweise bei höheren Geschwindigkeiten die Achslast reduziert. Aus diesem Grund ist trotz der technischen Machbarkeit zu erwarten, dass bei 160 km/h die maximale Achslast geringer als 22.5 Tonnen sein wird. Voraussichtlich befindet sich die Güterwagenachslastgrenze im Bereich von: 18 Tonnen bei 160 km/h, 20 Tonnen bei 140 km/h und 22.5 Tonnen bei 120 km/h. Je nach Drehgestell- und Infrastrukturbauart können die Achslasten jedoch auch noch tiefer liegen. Grundsätzlich ist es aber nicht ausgeschlossen, dass Güterwagendrehgestelle für höhere Achslasten entwickelt werden können.

Als Problem einer Geschwindigkeitserhöhung zur besseren Kapazitätsausnutzung wird nicht die technische Machbarkeit gesehen, sondern vielmehr der Aspekt, dass sehr viele Schweizer Güterwagen nur für maximal 120 km/h zugelassen sind und eine Umstellung erst im Rahmen einer kontinuierlichen Neubeschaffung von 160 km/h über einen längeren Zeithorizont umsetzbar wäre, sodass sie langfristig vorausgedacht werden muss.

Alternativ wurde beschrieben, dass es für die Kapazitätsausnutzung ebenfalls verbessert werden kann, wenn die Güterzüge bessere Beschleunigungseigenschaften aufweisen würden (technisch umsetzbar bspw. durch eine Doppeltraktion<sup>33</sup>).

Eine grosse Problematik zu den obigen Anliegen ist laut Experten die Finanzierung. Der Güterverkehr verfüge über keine finanziellen Mittel für jegliche Optimierungen, welche zu einer besseren Kapazitätsausnutzung führen.

### 3.5.4 Gemischte Züge und neue Ansätze

#### **Hypothese G4 – Verschiedene Verkehrsansätze**

*Bessere Streckenkapazitätsnutzung durch teilweise gemischten Personen- und Güterverkehr (d.h. neue physische, automatische, virtuelle, dynamische Kupplungstechnologien ermöglichen es, Güterzüge unkompliziert an Personenzüge zu koppeln).*

#### **Detailaspekt 44 - Gemischte Passagier-/Güterzüge**

##### *Gemischte Passagier-/Güterzüge*

Grundsätzlich sehen die Experten Mischzüge im Allgemeinen tendenziell skeptisch. Dies wird damit begründet, dass eine Integration in den Betriebsablauf insbesondere bei den grossen, heute schon stark ausgelasteten Bahnhöfen, wie Zürich HB problematisch ist. Zudem sind die Zentren des Personenverkehrs meist nicht deckungsgleich mit denen des Güterverkehrs.

Eine Anwendung von Mischzügen, wie es beispielsweise bei der Rhätischen Bahn stattfindet, wird aber als sehr sinnvoll und nützlich erachtet. Grundsätzlich wird ein Nutzen einer solchen Anwendung auch für Normalspurnebenhauptbahnen gesehen, da es durch gemischte Züge möglich ist, einen Warentransport ohne zusätzliche Güterzüge anzubieten. Wahrscheinlich werden Mischzüge aber ein Nischenprodukt sein.

---

<sup>33</sup> Anmerkung: Der Einsatz einer Doppeltraktion verursacht zusätzliche Kosten.

Hinsichtlich des Abkuppelns während der Fahrt wird für die Zukunft ein Potential bis 2050 gesehen<sup>34</sup>, an diesem derzeit im Ausland geforscht wird. So könnte es möglich sein, dass die Güterwagen während der Fahrt auf dem Streckengleis von durchfahrenden Zügen abgekuppelt werden und auf das jeweilige Bediengleis rollen, sodass der aufwendige Rangierprozess eingespart werden kann.<sup>35</sup>

---

<sup>34</sup> Anmerkung: Das Abkuppeln von einzelnen oder mehreren Wagen während der Fahrt bei durchfahrenden Zügen, wurde im Rahmen des sogenannten «Slippings» über hundert Jahre lang erfolgreich praktiziert und fand dabei in mehreren Ländern Anwendung. Mit dem sogenannten «ungekuppelten Nachschieben» gibt es auch heute ein Betriebsszenario, bei diesem während der Fahrt eine Zugtrennung stattfindet.

<sup>35</sup> Anmerkung: Dieser Ansatz ist nicht zu verwechseln mit den im Einsatz befindlichen Abrollbergen zur Güterwagensortierung.

## 3.5.5 Weitere Aspekte

### 3.5.5.1 Automatische Bremsprobe

Die Experten beschreiben die automatische Bremsprobe als ein sehr wichtiges Element der Produktivitätssteigerung, da der Rangierer ohne automatische Bremsprobe den gesamten, bis zu 750 Meter langen Zug, hin und zurück laufen muss, um jede Bremse einzeln zu prüfen. Mit einer automatischen Bremsprobe reduziert sich der Zeitbedarf bei Zugszusammenstellungsänderungen und die Produktivität steigt deutlich.

### 3.5.5.2 Automatische Kupplung

#### **Detailaspekt 45 – Verbesserung der UIC Schraubekupplung**

*Längere und schwere Güterzüge sind möglich durch verbesserte bestehende Kupplungssysteme (z.B. eine Schraubekupplung).*

#### **Detailaspekt 46 – Automatische Kupplung für schwere Güterzüge**

*Längere und schwere Güterzüge sind möglich durch komplett neue Kupplungssysteme.*

#### **Detailaspekt 47 – Automatische Kupplung**

*Flächendeckender Einsatz automatischer physischer Kupplungssysteme (z.B. Scharfenbergkupplung).*

Die Experten sind sich einig, dass eine Weiterentwicklung der Schraubekupplung bei Normalspurbahnen nicht zielführend ist und kein Zukunftspotential hat.

Weiter besteht Einigkeit, dass automatische Kupplungen einen grossen Nutzen bringen. Eine automatische Kupplung steigert die Produktivität durch eine bessere Kraftübertragung und mögliche Personalreduktionen. Eine automatische Kupplung ermöglicht längere Züge, verbessert die Bremsfähigkeit und muss ein integraler Bestandteil der Digitalisierung sein.

Es ist dabei notwendig, dass eine automatische Kupplung, genauso wie die heutige Schraubekupplung, mit allen Normalspurzügen europaweit kompatibel sein muss. In diesem Zusammenhang wurde von Experten kritisiert, dass es heute in der Schweiz viele automatische Kupplungen im Personenverkehr gibt, welche nicht miteinander kompatibel sind.

Generell wird die Kompatibilität und Einführung automatischer Kupplungen eine komplexe Herausforderung, da solche Kupplungen neben dem mechanisch und pneumatischen Teil, auch einen elektrischen und digitalen Teil beinhalten. Der elektrische Teil ersetzt dabei die Zugsammelschiene. Der digitale Teil ersetzt das Zugbuskabel und soll die Zugintegritätskontrolle für ETCS 3 ermöglichen.

Neben der Vereinfachung des Kuppelns und der besseren Kraftübertragung bietet die automatische Kupplung auch eine Umsetzungsgrundlage für eine automatische Bremsprobe, welche die Produktivität des Rangierens und insbesondere des Einzelwagenverkehrs deutlich steigern wird (siehe 3.5.5.1). Die automatische Kupplung ist eine Grundvoraussetzung für einen zukünftig automatischen Rangierbetrieb mit selbstfahrenden Fahrzeugen.

Obwohl sich die Experten hinsichtlich der Vorteile einig sind, sehen die Experten erhebliche Hürden bei der Umsetzung dieser technologischen Weiterentwicklung. Diesbezüglich wurden immer wieder die Migrationsproblematik und die hohen Kosten für eine flächendeckende Umsetzung betont. Eine finanziell und technologisch realisierbare Migrationsstrategie wird benötigt.

### 3.5.5.3 Container- und Güterwagentracking

#### **Detailaspekt 48 - Container- und Güterwagentracking**

*Elektronisches Tracking von Containern und Güterwagen, zur zuverlässigen Warenverfolgung.*

Die Experten beschreiben dies als vorhandene und grossteils umgesetzte Technologie. Die Technologie an sich ist relativ kostengünstig und ist sehr stark vom Kunden gewünscht. Das Güterwagen- und Containertracking vereinfacht dem Kunden die Planung und Disposition. Zudem ist es möglich, dem Kunden Informationen über den Zustand seiner Ware zu liefern. Derzeit liegen die Systemgrenzen lediglich bei der Energieversorgung, welche über Batterien stattfinden muss, weil Solarzellen gestohlen werden.<sup>36</sup>

### 3.5.5.4 Einzelwagenverkehr

Die Experten sehen (sofern eine Verkehrsverlagerung auf die Schiene gewünscht ist) die Notwendigkeit, den Einzelwagenverkehr auszubauen. Weiter wird eine Notwendigkeit für kleinere Transporteinheiten, wie beispielsweise mini-Container bis hin zur Lieferung einzelner Paletten gesehen.

### 3.5.5.5 Getrennte Infrastruktur

#### **Detailaspekt 51 - Getrennte Infrastruktur**

*Die Güterverkehrsinfrastruktur wird auf Langstrecken vom Personenverkehr getrennt.*

Die Experten sehen aus Kapazitätsgrenzen die Notwendigkeit neue Gleise und Strecken zu bauen. Diese Notwendigkeit resultiert aus der gewünschten Verkehrsverlagerung auf die Schiene unter der

---

<sup>36</sup> Anmerkung: Teilweise gibt es Güterwagen, auf denen der Wagen und der Container gleichzeitig einen Tracker haben, sodass beide parallel Aufzeichnungen und Daten liefern.

Berücksichtigung, dass es technologisch kaum möglich ist, die Kapazitätsausnutzung auf Bestandstrecken zu erhöhen.

Eine grundsätzliche Trennung zwischen Personen- und Güterverkehr ist aus Sicht des Güterverkehrs nicht zwangsläufig erforderlich, sofern die Kapazität für alle Züge ausreichend ist. Von einer Trennung profitiert der Personenverkehr jedoch stark, da die langsamen Güterzüge durch ihre geringen Geschwindigkeiten insbesondere IC Züge ausbremsen. Durch die homogeneren Geschwindigkeiten und den besseren Verkehrsfluss führt eine Verkehrstrennung zu einer besseren Kapazitätsausnutzung.

Als Hauptproblem zusätzlicher Trassen, wurden die Kosten, die Flächenverfügbarkeit und die Anwohnerakzeptanz genannt. Die Experten sehen daher zusätzliche Trassen und eine Verkehrstrennung primär auf Abschnitten, mit hoher Auslastung, welche bereits heute schon nahe der Kapazitätsgrenze betrieben werden müssen.

Dabei wurde von verschiedenen Experten kritisiert, dass es vielen nicht bewusst ist, wie knapp die Streckenkapazitäten heute schon sind und dass eine technische Steigerung kaum noch möglich ist. Für eine Verkehrswende und mehr Verkehr auf der Schiene sind daher dringend weitere Gleise und Trassen von Bedarf.

### **3.5.5.6 Integration in das Gesamtschieneangebot**

Von der Expertenseite wird es als sehr wichtig erachtet, dass der Güterverkehr in das Gesamtschieneangebot der Bahn besser integriert wird. Das Ziel sollte darin bestehen, dass ein gemeinsamer Flow entsteht, bei diesem der Güterverkehr Schritt halten kann und nicht als Nebenthema abgestuft wird. Dies betrifft alle Themenfelder inklusive zukünftige Entwicklungen, damit der Güterverkehr für die Zukunft besser aufgestellt ist.

### **3.5.5.7 Kapazitätsausnutzung der Nebenstrecken**

Von der Expertenseite wird beschrieben, dass sich die Kapazitätsausnutzung auf den Hauptstrecken am Limit befindet und auch mit neuen Technologien kaum noch gesteigert werden kann. Gleichzeitig gibt es auf den Nebenstrecken noch freie Kapazitäten für Güterzüge.

Daher wurde nahegelegt zu prüfen, wie viele Güterzüge auf die schwach ausgelasteten Nebenstrecken verlagert werden können.<sup>37</sup> Dies würde die Kostendeckung der Nebenstrecken steigern und zugleich die Hauptstrecken etwas entlasten.<sup>38</sup>

### **3.5.5.8 Kapazitätsmanagement**

Die Experten empfehlen zur besseren Ausnutzung der vorhandenen Trassen und Zugkapazitäten eine Optimierung des Kapazitätsmanagements.

---

<sup>37</sup> Anmerkung: Es ist nicht pauschal jede Nebenstrecke für zusätzliche Güterzüge geeignet.

<sup>38</sup> Anmerkung: Alternativ zu Güterzügen wäre auch die Nutzung durch Triebzug- und/oder Loküberführungsfahrten möglich.

Es wird beschrieben, dass heute spontane Ad-hoc Anfragen für Trassen des Güterverkehrs oder von Extrazügen lediglich vorab geplante, noch nicht belegte Systemtrassen verwenden. Dies ist eine direkte Konsequenz aus der heute noch sehr unflexiblen und statischen Fahrplanerstellung. Eine revolutionäre Systemänderung, welche einen positiven Effekt auf die Produktivität hat, wäre ein System, welche einen Fahrplan, häufig und flexibel anpassen kann.

### 3.5.5.9 Kombiniertes Verkehr

Von Expertenseite wurde eine bessere Zusammenarbeit mit der Strasse gewünscht, da die Zukunft in einem kombinierten Verkehr gesehen wird. Es wurde betont, dass weniger gegeneinander gedacht und gehandelt werden sollte, sondern mehr in Kombination.

Der Warentransport sollte kombiniert stattfinden. Von der Expertenseite wurde in diesem Zusammenhang gewünscht, dass Transporte über 50 Kilometern zum Erreichen der Klimaziele von der Bahn durchgeführt werden sollen und der Warentransport unterhalb von 50 Kilometern, sowie die Feinverteilung durch LKWs stattfinden kann.

### 3.5.5.10 Kühlwagen

#### **Detailaspekt 50 – Kühlwagen**

*Einsatz von Achsgeneratoren zur umweltfreundlicheren Versorgung von Kühlwagen (eventuell als Hybrid mit Akkus oder der heute eingesetzte Dieselmotor, um eine Kühlung im Stillstand zu ermöglichen).*

Durch die steigenden Klimaanforderungen sehen die Experten den Bedarf, die Kühlung in Zukunft CO<sub>2</sub> neutral umzusetzen. Als eine Variante wird ein Betrieb über eine Zugsammelschiene gesehen, als andere Variante der Achsgenerator. Es wurde betont, dass diese Umsetzung direkt in die Beschaffungsstrategie einfließen muss, da eine nachträgliche Umrüstung möglich, aber aufwendiger ist. In beiden Fällen wird die Batterie als das limitierende Element gesehen. Diese ist bspw. für Situationen notwendig, bei denen der Wagen ohne externe Stromversorgung abgestellt wird.<sup>39</sup>

---

<sup>39</sup> Anmerkung: Aktuell gibt es in diesem Bereich Projekte, welche Umsetzungsszenarien ausarbeiten.

### 3.5.5.11 Roboter

#### **Detailaspekt 51 - Roboter**

*Intelligente Roboter entladen und sortieren Fracht / Fortschrittliche Umschlaganlagen ermöglichen einen schnellen Umschlag.*

Grundsätzlich schliessen die Experten den Einsatz von Robotern nicht aus, sofern diese Technologie eines Tages zur Verfügung steht. Es bestehen jedoch Zweifel an der Anwendbarkeit beim Verladen, da der Containerumschlag mit Kränen durchgeführt wird. Fortschrittliche Umschlaganlagen werden als nützlicher beurteilt.

### 3.5.5.12 Scheibenbremsen

#### **Detailaspekt 30 - Scheibenbremsen**

*Scheibenbremsen für Güterwagen.*

Die Mehrheit der Experten beurteilt den Einsatz von Scheibenbremsen bei Güterwagen vorteilhaft. Hierbei wurde mehrfach betont, dass Scheibenbremsen wichtig sind, weil sie die Lärmemission deutlich reduzieren können. Weiter verursachen Scheibenbremsen keine thermische Belastung der Räder, sodass die Radlebenserwartung im Vergleich zu Klotzbremsen länger ist.

Ein Umbau von Bestandfahrzeugen wurde als machbar eingestuft, aber weniger favorisiert. Es wurde stattdessen empfohlen bei der Beschaffung von Neufahrzeugen auf Scheibenbremsen zu setzen. Als weiterer Vorteil wurde angemerkt, dass Scheibenbremsen höhere Geschwindigkeiten ermöglichen. Kritisiert wurden an Scheibenbremsen insbesondere die Kosten für einen möglichen Umbau oder eine Neubeschaffung. Zudem wurde darauf hingewiesen, dass die Vorteile der Scheibenbremsen erst dann richtig zur Geltung kommen, wenn der gesamte Zug mit Scheibenbremsen ausgestattet ist.

### 3.5.5.13 Verladestellen und letzte Meile

Die Experten beschreiben eine Verbesserung, Beschleunigung und Automatisierung der letzten Meile als sehr wichtigen Bestandteil um die Produktivität zu verbessern. Nachdem ein Streckenzug von A nach B fährt, kostet heute die Verteilung an der letzten Meile extrem viel Zeit und Geld. Diese muss beschleunigt und mit einem höheren Automatisierungsgrad versehen werden um die Produktivität zu steigern. Ein höherer Automatisierungsgrad ist nicht nur für die Kostenreduktion nützlich, sondern auch erforderlich, um den Mangel an ausreichend qualifiziertem Personal in diesem Bereich zu kompensieren.

In einem ersten Schritt braucht es für diese Produktivitätssteigerung:

- Automatische Kupplung.
- Automatische Bremsprobe.

- Einen flächendeckenden Einsatz der Funkfernsteuerung, damit das Rangieren einfacher und mit einem Mann umgesetzt werden kann. Zusätzlich lässt sich durch eine Kamera an der unbesetzten Zugspitze der Rangierablauf deutlich beschleunigen und Personal sparen.

Experten warnen davor, die Verladestellenanzahl weiter zu reduzieren. Für einen flächendeckenden Güterverkehr wäre es im Gegenteil vorteilhaft, mehr Verladestellen anzubieten. Ein Ausbau ist im Interesse einer besseren Feinverteilung und einer klimafreundlicheren Transportkette. Als kostengünstiger Ansatz wurde angeregt, dass Firmen ihre Verladegleise vermarkten. Zudem ist es bei kleinen Verladestellen möglich auf teure stationäre Kräne zu verzichten, wenn Technologien, wie Containerquerschiebevorrichtungen eingesetzt werden.

#### **3.5.5.14 Vertrieb (Güterverkehr)**

Von Expertenseite wird eine Notwendigkeit gesehen, die Vertriebsformen zu verbessern. Heute besteht das Problem, dass es Neukunden sehr schwer haben von der Strasse auf die Bahn zu wechseln. Die Vertragsverhandlung ist kompliziert und sehr langwierig. Es gibt keine Standarddienstleistung. Es gibt kein elektronisches Buchungssystem, bei dem sich der Kunde im Internet vorab über Preise informieren kann. Es gibt keinerlei Transparenz über Marktpreise (nicht einmal die Bahnen wissen genau, was marktgerecht ist).

Es wurde der Vergleich gebracht, dass ein Kunde, welcher heute ein Paket verschicken möchte, nicht mit der Post den Paketpreis aushandelt. Der Kunde kann vorher schauen, was das Paket kostet und die Anbieter, sowie deren Dienstleistung vergleichen.

Daher wurde die Idee vorgeschlagen, für den Güterverkehr neue Vertriebsformen zu realisieren, damit der Kundenzugang erleichtert wird. Hierfür wurde eine unternehmensübergreifende Buchungsplattform vorgeschlagen, wie sie beispielsweise vom Hotelbuchen, Gebrauchtwarenkauf etc. bekannt sind. Diese würde einen einfachen Buchungsprozess ermöglichen. Dabei sollte es auch möglich sein, verschiedene Transportdienstleistungen, beginnend von einzelnen Paletten, über Einzelwagen bis hin zu einem Ganzgüterzug zu buchen.

## 3.6 Revolutionäre Systemänderungen

Revolutionäre Systemänderungen sind Änderungen, welche Sprünge verursachen und oft nicht schrittweise umsetzbar sind. Sie unterscheiden sich von Anpassungen und Reformen, welche oft weniger sprunghafte Änderungen mit sich führen. Dabei haben revolutionäre Systemänderungen ein höheres Risiko zu scheitern.

In diesem Kapitel folgt eine Synthese der Expertenbefragungen zum Thema revolutionäre Systemänderungen sowie Aspekte, welche revolutionäre Auswirkungen haben können. Dabei werden die Themen: Vakuümzüge, Gütertransportsysteme unter der Erde, dynamischer Fahrgastwechsel, sowie dynamisches Kuppeln und weitere Aspekte beschrieben.

### 3.6.1 Vakuümzüge

#### **Hypothese R1 - Vakuümzüge**

*Vakuümzüge verkehren in einem zu den Bahnen komplementären Netz und haben eine Reichweite von ~50 Haltestellen in der Schweiz, was den Hochgeschwindigkeitsverkehr für Passagiere ermöglicht und infrastrukturelle und technologische Herausforderungen meistert.*

#### **Detailaspekt 53 - Hochgeschwindigkeitsverkehrssystem in einer Vakuümrohre**

*Hochgeschwindigkeitsverkehrssystem in einer Vakuümrohre (z.B. Hyperloop).*

#### **Erklärung**

*Unter dem Begriff Vakuümzüge werden Transportsysteme behandelt, welche einen Transport mit Kapseln in nahezu luftleeren Röhren ermöglichen und dadurch Geschwindigkeiten in der Grössenordnung von rund 1000 km/h erreichen. Hierzu zählen auch ähnliche Systeme, wie bspw. Hyperloop oder Swiss-metro.*

Die Experten schliessen Einzelanwendungen irgendwo auf der Welt zwar nicht komplett aus, von einer Anwendung in der Schweiz raten die Experten ziemlich einstimmig ab.

Hinsichtlich des Verkehrsvolumens sind die Vakuümzüge vernachlässigbar, weil diese sehr wenig Kapazität haben.

Technologisch sind diverse Fragen offen. Derzeit befindet sich die Entwicklung auf dem Level von Konzeptstudien. Es sind nur Punkt zu Punkt Verbindungen möglich, da Weichen, Spurwechsel und Zwischenhalte extrem aufwendig und deren Realisierbarkeit fraglich ist, sodass kein Netzaufbau möglich ist. Zudem sind diverse Sicherheitsproblematiken ungelöst. So muss bspw. die Evakuierung gewährleistet werden, was bei einem System, welches sehr schnell fährt und sich im Teilvakuum befindet ein annähernd unlösbares Problem darstellt. So müsste die Röhre alle 330 Meter eine Sicherheitsschleuse haben, was erhebliche Kosten verursacht.

Die Infrastrukturkosten sind extrem hoch und werden aktuell sehr stark unterschätzt. Diese teuren komplexen Infrastrukturen müssten über mehrere 100 Kilometer gebaut werden. Dadurch entstehen Kostengrößenordnungen, welche sich niemals rentieren werden.

Eine Nutzung der hohen Geschwindigkeiten ist auf den kurzen Distanzen der Schweiz nicht gegeben, sodass eine sinnvolle Anwendung in der Schweiz nicht möglich ist. 50 Haltestellen in der Schweiz sind unrealistisch, wenn überhaupt, nicht viel mehr als 5 Haltestellen machbar.

Die Schweiz und auch deren Städte sind zersiedelt, sodass nur ein sehr kleiner Teil der Bevölkerung einen direkten Zugang zu den wenigen Haltestellen haben wird. Der Grossteil der Bevölkerung benötigt ein Zubringertransportmittel. Dadurch sind die Verbindungen unterbrochen und mehrfache zeitintensive Umstiege notwendig.

Nur sehr wenige Fahrgäste werden die notwendigen Ticketpreise bezahlen, da das Preisniveau weiterhin durch den Individualverkehr bestimmt wird (im besten Fall können die Preise gegenüber der konventionellen Bahn etwa verdoppelt werden). Da sich die Mehrkosten nicht einholen lassen, wird ein extrem unwirtschaftlicher stark subventionierter Betrieb erwartet, welcher nur einer extrem kleinen Bevölkerungsgruppe nützt.

Als Alternative zu Vakuumzügen wurde empfohlen, über den Einsatz konventioneller Hochgeschwindigkeitszüge nachzudenken, da diese für die mittleren Distanzen der Schweiz geeignet sind und in die bisherige Netzstruktur mit Zwischenhalten eingebunden werden können. Mit der Bahn ist ein wirtschaftlich und technisch kosteneffizient realisierbarer Verkehr mit 320 km/h möglich.

## 3.6.2 Gütertransportsysteme unter der Erde

### **Hypothese R2 - Güterverkehr verlagert sich unter die Erde**

*Der Güterverkehr verlagert sich unter die Erde, wodurch Kapazitäten auf dem Schienennetz für weitere Personenzüge frei werden.*

### **Detailaspekt 54 – Unterirdischer Gütertransport in Städten**

*Unterirdische Frachtpipelines für den Gütertransport in Städten.*

### **Erklärung**

*Mit der Verallgemeinerung des unterirdischen Gütertransports, werden Gütertransportsysteme gemeint, welche die Güter automatisch in unterirdische Tunnelsysteme transportieren. Hierzu zählt beispielsweise Cargo Sous Terrain.*

Die Experten sehen zwar die grundsätzliche Machbarkeit eines solchen Systems im Zeithorizont bis 2040. Die Experten haben jedoch einstimmig massive Zweifel an der Kostenseite. Es wird angenommen, dass bei diesem System die Kosten zur Realisierung und für den Betrieb extrem unterschätzt werden.

Der Güterverkehr ist extrem kostenorientiert. Wenn ein System nicht billiger ist, wird es nicht verwendet. Bei einer Betrachtung der Gesamtkosten ist eine Vervielfältigung der Kosten durch Cargo Sous Terrain zu erwarten. Dies liegt zum einen daran, dass es sich hierbei durch die Tunnelbaukosten und die Zuganganlagen mit Aufzügen um ein System mit einer sehr aufwendigen Infrastruktur handelt. Zum anderen ist aus dem heutigen Gütertransport bekannt, dass die Warenumschnitte sehr hohe Kosten verursachen und sich sehr nachteilhaft auf die Wirtschaftlichkeit auswirken. Bei diesem System entstehen zwei zusätzliche Warenumschnitte. Zudem wird mit diesen gebrochenen Transporten der Vorlauf und Nachlauf sehr ungünstig und sehr unwirtschaftlich (kurze Distanzen, in der Regel nicht-paarige Verkehre). Diese zwei Warenumschnitte resultieren aus dem Sachverhalt, dass diese Systeme nicht für die Feinverteilung, welches ein Hauptproblem des heutigen Güterverkehrs ist, geeignet sind. Denn unterirdische Transportmittel benötigen für die Feinverteilung unzählige Anschlusstunnels mit Zugängen und Aufzügen, was extrem kostenintensiv wäre.

Von der Expertenseite wird betont, dass ein wirtschaftlicher automatischer Güterverkehr grundsätzlich vorstellbar ist, aber nicht unter der Erde, sondern bspw. als Zubringer in Häfen. Nicht einmal als Verbindung der ineinander gewachsenen Städte im Ruhrgebiet<sup>40</sup> ist es zu erwarten, dass so ein System wirtschaftlich betreibbar ist.

---

<sup>40</sup> Anmerkung: Das Ruhrgebiet hat rund 5 Mio. Einwohner (Ruhr, 2021)

### 3.6.3 Dynamischer Fahrgastwechsel, sowie dynamisches Kuppeln

#### **Hinweis**

*Im Folgenden werden vier miteinander verwandte und teilweise aufeinander aufbauende Technologien betrachtet und in einem gemeinsamen Kontext erörtert.*

#### **Detailaspekt 55 – Abkuppeln während der Fahrt**

*Dynamisch mechanisches Abkuppeln von Zügen um ein Flügeln während der Fahrt zu ermöglichen (d.h. Züge werden während der Fahrt getrennt, ähnlich wie es beim Nachschiebebetrieb gemacht wird oder in Grossbritannien beim Slipping gemacht wurde).*

#### **Erklärung**

*Bei dieser Technologie handelt es sich um das Abkuppeln von zwei Zügen, während der Fahrt. Das heisst dass bspw. zwei Züge zusammengekuppelt in Bern losfahren, damit sie auf der Schnellfahrstrecke nur eine anstatt zwei Trassen belegen. Dann könnte sich bspw. kurz vor Olten der hintere Zugteil während der Fahrt abkuppeln und der vordere Zugteil ohne anzuhalten direkt nach Zürich oder Basel weitefahren.*

Die Experten betrachten diese Technologie kontrovers. Die eine Hälfte (bestehend aus sechs Experten) sieht klar einen Nutzen. Begründet wird dies durch die bessere Streckennutzung und mit zusätzlichen Direktverbindungen, welche einen direkten Kundennutzen haben. So sind durch die Direktverbindungen erhebliche Nachfragesteigerungen zu erwarten. Eine mögliche Umsetzung wurde als machbar eingestuft und eine erste Anwendung könnte im Zeithorizont 2030 möglich sein. Zudem wurde von den Experten hervorgehoben, dass das Abkuppeln während der Fahrt auch einen signifikanten Nutzen für die Feinverteilung von Gütern hat.

Die zweite Hälfte (bestehend aus zwei Experten) beurteilt die Technologie des Abkuppelns kritisch. Die Umsetzung wird als anspruchsvoll angesehen, insbesondere werden Konflikte mit bestehenden Sicherheitsnormen<sup>41</sup> erwartet.

---

<sup>41</sup> Erklärung: Heute fordern die Sicherheitsnormen, dass die Bahn immer mit einfach belegten Blockabschnitten im absoluten Bremswegabstand fährt. Bei dieser Technologie fahren die Züge aber auch im relativen Bremswegabstand.

### **Detailaspekt 56 – Ankuppeln während der Fahrt**

*Dynamisch mechanisches Ankuppeln von Zügen um ein Flügeln während der Fahrt zu ermöglichen (d.h. Züge werden während der Fahrt abgekuppelt oder angekuppelt).*

#### **Erklärung**

*Bei dieser Technologie handelt es sich um die Erweiterung des Abkuppelns mit dem Ankuppeln während der Fahrt.*

Die Experten betrachten diese Technologie ähnlich kontrovers, wie das Abkuppeln während der Fahrt. Eine Hälfte sieht klar einen Nutzen. Es werden wiederum Kapazitätssteigerungen und zusätzliche Direktverbindungen erwartet, sodass eine erhebliche Nachfragesteigerung zu erwarten ist. Eine mögliche Umsetzung wurde jedoch im Vergleich zum reinen Abkuppeln während der Fahrt, als komplexer eingestuft.

Die zweite Hälfte der Experten sieht auch hier die Umsetzung als anspruchsvoll und weist erneut auf potenzielle Konflikte mit den bestehenden Sicherheitsnormen<sup>42</sup> hin.

### **Detailaspekt 57 – Virtuelles Kuppeln**

*Virtuelle Kupplung von Zügen (d.h. Züge sind nicht physikalisch miteinander gekuppelt und fahren in sehr kurzem Abstand hintereinander her, welcher kürzer als der absolute Bremswegabstand ist).*

Auch diese Technologie wird von den Experten kontrovers betrachtet. Ebenso wie beim An- und Abkuppeln während der Fahrt wird auch hier ein Nutzen bei der Kapazität und durch mehr Direktverbindungen gesehen.

Auch hier wird die Umsetzung als anspruchsvoll beschrieben und auf potentielle Konflikte mit den bestehenden Sicherheitsnormen<sup>43</sup> hingewiesen.

---

<sup>42</sup> Erklärung: Heute fordern die Sicherheitsnormen, dass die Bahn immer mit einfach belegten Blockabschnitten im absoluten Bremswegabstand fährt. Bei dieser Technologie fahren die Züge aber auch im relativen Bremswegabstand.

<sup>43</sup> Erklärung: Heute fordern die Sicherheitsnormen, dass die Bahn immer mit einfach belegten Blockabschnitten im absoluten Bremswegabstand fährt. Bei dieser Technologie fahren die Züge aber auch im relativen Bremswegabstand.

### **Hypothese R3 - Dynamischer Fahrgastwechsel während der Fahrt**

*Neue Technologien ermöglichen es, dass Fahrgäste, in einen Zug einsteigen, umsteigen oder aussteigen, ohne dass Züge anhalten müssen. Verspätungen durch überfüllte Bahnhöfe (umfangreiches Einsteigen und Aussteigen zu Stosszeiten) würden nicht mehr auftreten.*

### **Erklärung**

*Diese Technologie erweitert das An- und Abkuppeln während der Fahrt indem ein Fahrgastwechsel mithilfe von Frontübergängen ermöglicht wird (technisch ähnlich, wie bei dem Dänischen IC3).*

Die Experten beurteilen auch diese Hypothese kontrovers. Die eine Hälfte zweifelt die Umsetzbarkeit aufgrund der bestehenden Sicherheitsnormen<sup>44</sup> an.

Die andere Hälfte ist sich zwar über den Konflikt mit den aktuellen Sicherheitsnormen bewusst, sieht aber diverse Vorteile. Eine solche Technologie sei eine echte Veränderung und möglicherweise die Zukunft der Eisenbahn. Weiter wurde betont diesen Ansatz nicht gleich auszuschliessen, sondern zu-erst weitere Untersuchungen durchzuführen.

Von Expertenseite wurde betont, dass die vier<sup>45</sup> beschriebenen Technologien grundsätzlich mögliche Zukunftsthemen mit Potential darstellen, jedoch mehrere regulatorische Aspekte gegen deren Entwicklung sprechen.

---

<sup>44</sup> Erklärung: Heute fordern die Sicherheitsnormen, dass die Bahn immer mit einfach belegten Blockabschnitten im absoluten Bremswegabstand fährt. Bei dieser Technologie fahren die Züge aber auch im relativen Bremswegabstand.

<sup>45</sup> Abkuppeln während der Fahrt, Ankuppeln während der Fahrt, Fahrgastwechsel durch An- und Abkuppeln während der Fahrt, sowie das virtuelle Kuppeln.

## 3.6.4 Weitere Aspekte

### 3.6.4.1 Alternative Antriebsarten

#### **Detailaspekt 58 - Alternative Antriebsart**

*Alternative Antriebsart z.B. Propellerantrieb, Magnetschwebbahn, Vakuumzüge.*

Die Experten sind sich einig, dass keine der drei Technologien sinnvoll in der Schweiz einzusetzen sind. Wenn eine davon zu erwarten ist, wird es die Magnetschwebbahn sein. Magnetschwebbahnen haben ihre Berechtigungen für bestimmte Einsatzzwecke, kommen aber über Einzelanwendungen nicht hinaus. Sie sind bspw. vorteilhaft für Strecken mit engen Kurven und starken Steigungen.

Die Frage der Antriebsart wird von der Expertenseite aktuell jedoch nicht als Frage der Zukunft angesehen, da aktuell nichts Besseres als der elektrische Antrieb bekannt ist.

### 3.6.4.2 Pods

#### **Detailaspekt 59 - Persönliche Rapid Transit Pods<sup>46</sup>**

*Persönliche Rapid Transit Pods*

#### **Detailaspekt 60 - Pods für Frachten**

*Pods für Frachten*

Diese Technologie wird von den Experten kontrovers beurteilt. Einerseits sieht ein Teil der Experten diese Technologie als Forschungsthema für die Zukunft, welches weiterverfolgt werden sollte.

Von der anderen Seite, werden die hohen Kosten und die eingeschränkte Linienführung, einer eigens für die Pods notwendigen Infrastruktur, erwähnt. Weiter wird erwartet, dass diese Technologie beim Frachtverkehr, durch die Anbindung jedes einzelnen Kunden, extrem teuer werden wird. Experten betonten ebenfalls, dass diese Technologie immer wieder unter wechselnden Namen und etwas unterschiedlichen Ansätzen, schon seit weit über einem halben Jahrhundert ein Forschungsthema ist und es seit den 1970iger Jahren bereits Prototypen gibt. Ebenso wurde an der Nachhaltigkeit dieser Technologie gezweifelt.

---

<sup>46</sup> Anmerkung: Pod oder ähnliche Transportkonzepte sind im Allgemeinen führerlose, vollautomatische, fahrplanlose, individuell bestellbare Transporteinheiten.

### 3.6.4.3 Selbstantriebener Batteriebetrieb

#### **Detailaspekt 61 - Selbstantriebener Batteriebetrieb**

*Selbstantriebener Batteriebetrieb beim Rangieren.*

Die Experten sehen einen hohen Nutzen der Technologie und eine technische Umsetzung von minimal motorisierten Fahrzeugen als machbar. Laut Experten existiert bereits ein Prototypenbetrieb. Eine Anwendung ist neben dem Güterverkehr auch beim Rangieren des Kurswagenverkehrs möglich.

Ob diese Technologie grossflächig eingesetzt wird, hängt von der Wirtschaftlichkeit solcher Systeme ab.

Es wurde aber angemerkt, dass im Allgemeinen batteriebetriebene Züge keinen Ersatz für eine Fahrleitung darstellen.

### 3.6.4.4 Skalierung der Fahrzeuggrösse und Flotte

#### **Detailaspekt 62 - Optimale Dimensionierung - Fahrzeuggrösse**

*Optimale Dimensionierung der Shuttle-Fahrzeuggrösse autonomer Züge (Vehicle Sizing).*

#### **Detailaspekt 63 - Optimale Dimensionierung - Flotte**

*Optimale Dimensionierung der Flotte (autonome Züge) auf das Netzwerk und den Bedarf.*

Die Experten sind sich einig, dass eine optimale Dimensionierung sinnvoll ist. Es besteht jedoch eine Kontroverse hinsichtlich der Umsetzung. Die eine Seite vertritt den Standpunkt, dass es für die Skalierbarkeit die Automatisierung braucht, die andere Seite sieht auch ohne Automatisierung die Möglichkeit das Angebot zu skalieren.

Auf der einen Seite wird es empfohlen, an Systeme wie Sessellifte zu denken, welche die Plätze und Kapazität, dynamisch an das Fahrgastaufkommen anpassen, sodass ein kontinuierlicher Verkehr mit einer höheren Taktdichte möglich wird, sodass sich die Fahrgäste die Wartezeiten sparen.

Auf der anderen Seite wird kritisiert, dass heutige Triebzüge keine optimale Skalierbarkeit ermöglichen und dass es einfach skalierbare Züge braucht um den Zug optimal und effizient an das Fahrgastaufkommen anzupassen. Hierfür wird der Anspruch gestellt, dass Züge gut skalierbar sein müssen ohne die Notwendigkeit, dass jede einzelne Beförderungseinheit eine volle Ausrüstung haben muss.

### 3.6.4.5 Spurbusse oder ähnliche Systeme

Es wurden mehrfach Spurbusse, sowie Weiterentwicklungen und ähnliche Systeme dieser Technologie erwähnt<sup>47</sup>. Es wurde beschrieben, dass Spurbussysteme keine revolutionäre Systemänderung darstellen, da solche Systeme seit den 1970er Jahren im Einsatz sind und sich trotz aufwendiger Weiterentwicklungen der Spurführungsmechaniken bis hin zu verschiedenen elektronischen Spurführungen ein Nischenprodukt geblieben sind. Durch erhebliche technische Probleme und Kosten wurden diese Systeme teilweise schon aufgegeben und durch Strassenbahnen ersetzt.

Ein Experte sieht Vorteile durch Spurbussysteme mit optischer Spurführung und begründet dies mit der Kombination des Strassenverkehrs mit den Fähigkeiten des Bahnsystems.

Alle anderen Experten warnen eindringlich vor diesen Systemen, sowie den Modifikationen und begründen dies mit erheblichen technischen Problemen, welche aus den Nachteilen dieser Systeme resultieren und trotz vieler Entwicklungsprojekte seit den 1970ern bis heute nicht gelöst wurden.

Als Hauptproblem wurde hierbei die Materialpaarung Gummi/Strasse beschrieben, welche bei jeglicher Spurführung (auch bei elektronischer und optischer Spurführung) zu Spurrillen und zu sehr ungünstigen Verschleisskonstellationen führt (auch bei geringen Achslasten). Trotz des Einsatzes hochentwickelter faserverstärkter Spezialbetonfahrbahnbeläge zeigen sich teilweise schon nach kurzer Betriebszeit erste Fahrbahnschädigungen, welche zeitnah repariert werden müssen, um noch stärkere Schädigungen zu vermeiden. Dadurch entsteht im Vergleich zum Rad/Schiene System ein erheblich häufiger Instandhaltungsbedarf. Weiter haben diese Systeme grundsätzlich eine starke Tendenz zu unkomfortablen und schlechten Fahreigenschaften, was unter anderem auch aus der Verschleissproblematik resultiert.

Eine optische Spurführung ist bei verschmutzten oder winterlichen Strassen nicht geeignet. Bei Schnee oder Schmutz sind die Spurmarkierungen nicht zu erkennen. Zudem neigen mögliche Spurrillen stark zur Glatteisbildung<sup>48</sup>.

Auch hinsichtlich des Energieverbrauches sind diese Systeme gegenüber der Schiene nachteilhaft. Einerseits aufgrund höherer Rollreibung, andererseits auf Grund der Energieversorgung. Wenn ein elektrischer Betrieb ohne Oberleitung stattfindet, lässt dieser sich entweder mit Akkus oder mit einer induktiven Energieübertragung umsetzen. Akkus haben nicht vernachlässigbare Lade- und Entladeverluste und erhöhen das Gewicht. Mehr Gewicht erhöht den Energieverbrauch und den Fahrbahnverschleiss. Die induktive Energieübertragung verursachte neben der EMV Problematik nicht vernachlässigbare Energieübertragungsverluste und sehr hohe Infrastrukturkosten.

---

<sup>47</sup> Anmerkung: Hierzu zählt neben klassischen Spurbussen beispielsweise auch Systeme wie: TVR (Tramway sur pneumatiques), Translohr, CiVis, ART (Autonomous Rail Rapid Transit)

<sup>48</sup> Anmerkung: Dieses winterliche Problem, der Glatteisbildung, sowie das Problem, dass optische Markierungen durch Schnee bedeckt werden, lässt sich bei Bedarf durch Fahrbahnheizungen technisch beheben. Eine Fahrbahnheizung hat jedoch auch Nachteile. Sie benötigt abhängig von der Umgebungstemperatur erhebliche Mengen an Energie, zudem verursacht der Einbau und Unterhalt hohe Infrastrukturkosten.

### 3.6.4.6 Weiterentwickelte Standseilbahnen & Peoplemover

#### **Detailaspekt 64 – Weiterentwickelte Standseilbahnen & Peoplemover**

*Nutzung von Standseilbahnen, Aufzüge oder Peoplemover, welche an Zwischenstationen halten können, obwohl das umlaufende Seil weiterläuft (ähnlich wie Cabelcars in den USA).*

Die Experten sind sich einig und sehen in solchen Technologien ein Potential. Raumplanerisch können solche Technologien nützlich sein, um anspruchsvolle Topologien zu erschliessen. Wahrscheinlich werden seilgezogene Systeme aber weiterhin ein Nischenprodukt sein.

### 3.6.4.7 Zweisystem-Stadtbahnen

#### **Detailaspekt 65 – Zweisysteme-Stadtbahnen**

*Zweisystem-Stadtbahnen (Tram-trains), oder andere hybride Lösungen, welche auch auf der Eisenbahn und Strassenbahn fahren können (wie sie z.B. in Deutschland seit mehr als 30 Jahren im Einsatz sind).*

Die Experten sind sich einig und sehen in solchen Technologien ein sehr grosses Potential.<sup>49</sup> Zweisystem-Stadtbahnen fahren in der Stadt als Strassenbahn und auf ganz normalen Eisenbahnstrecken als S-Bahn. Dadurch ermöglichen sie schnelle umsteigefreie Direktverbindungen vom Stadtzentrum aufs Land.<sup>50</sup>

Es wird von der Expertenseite ein deutliches Bedauern geäussert, dass sich diese Technologie derzeit nicht in der Schweiz einsetzen lässt, da alle Strassenbahnen nicht normalspurig, sondern meterspurig gebaut wurden, sodass ein Spurweitenunterschied besteht.<sup>51</sup>

Aufgrund des grossen Potentials wird empfohlen, im Rahmen einer Neueinführung einer Strassenbahn diese auch als Normalspur zu planen und eine Anwendung dieser Technologie ernsthaft zu prüfen. Zudem wurde betont, dass sich Investitionen in Zweisystem-Stadtbahnen auch wirtschaftlich lohnen.

---

<sup>49</sup> Anmerkung: In Deutschland hat die Einführung dieses Systems und die dadurch ermöglichte Direktverbindung vom Umland ins Stadtzentrum die Fahrgastzahlen von bspw. 2000 auf 18000 Fahrgäste pro Tag gesteigert (AVG, 2015).

<sup>50</sup> Anmerkung: Das häufige Problem bei der Erschliessung eines Ortskernes mit der S-Bahn besteht darin, dass eine S-Bahn, wie jede Eisenbahn mit einer separaten Infrastruktur mit grossen Radien gebaut wird, für diese es innerorts oberirdisch meist keinen Platz gibt, sodass für die letzten 1 bis 2 Kilometer zum Ortskern meist nur eine kostenintensive unterirdische Streckenführung möglich ist. Bei der Erschliessung eines Ortskernes mit einer Strassenbahn mit kleinen Radien, besteht das Problem, dass eine Strassenbahn, wie jedes öffentliche Verkehrsmittel, eine Mindestlinienlänge von einigen Kilometern benötigt, damit sie ein ausreichend grosses Gebiet für die notwendige Nachfrage erschliesst. Zudem wird Initialinfrastruktur benötigt (bspw. Tramdepot). Bei der S-Bahn verhindern meist die Tunnelkosten für die letzten 1-2 Kilometer den Bau in den Ortskern. Bei der Strassenbahn verhindern die hohen Initialkosten und die Mindestlänge meist den Bau.

Bei der Technologie der Zweisystemstadtbahn ist es möglich, eine S-Bahn die letzten 1-2 Kilometer zum Ortskern mit engen Radien im Strassenverkehr oder durch die Fussgängerzone als Strassenbahn fahren zu lassen, sodass eine vergleichsweise kostengünstige Anbindung eines Ortskernes oder Wohngebiets an das umliegende S-Bahn-Netz besteht.

<sup>51</sup> Anmerkung: Grundsätzlich gibt es drei Anwendungskonzepte für diese Technologie:

- Verbindung eines neu gebauten Strassenbahnnetzes mit dem umliegenden S-Bahn-Netz.
- Verlängerung einer Stichstrecke zu einem Ortskern, Wohngebiet oder touristischen Ziel (bspw. Einsiedeln).
- Umsteigefreie direkte Eisenbahnverbindung einer Normalspurstrecke, welche nicht mit 15 kV 16.7 Hz elektrifiziert ist, zu den nächstgelegenen grösseren Städten (bspw. Orbe-Chavornay-Yverdon oder Orbe-Chavornay-Lausanne).

## 3.7 Themenübergreifende Aspekte

In diesem Kapitel folgt eine Synthese der Expertenbefragungen zu verschiedenen themenübergreifenden Aspekten.

### 3.7.1 Allgemeine Aspekte zur Innovation

#### Ausgangssituation

Von der Expertenseite wird beschrieben, dass die Bahn historisch gewachsen ist, wodurch es ihr häufig schwer fällt sich weiter zu entwickeln. Es wurde von Experten kritisiert, dass die Bahn eher der Meister darin ist, zu erklären, warum etwas nicht funktioniert, anstatt funktionsfähige Lösungen zu entwickeln.

#### Fehlende Transparenz

Von der Expertenseite wird beschrieben, dass Bahnunternehmen oft schlecht in der Anwendung neuer Innovationen sein können und es keinem auffällt, solange der Kunde nicht direkt davon betroffen ist. Es wurde von Experten ebenfalls bemängelt, dass bei den Bahnen häufig die Transparenz fehlt und zunehmend weniger über neue Technologien und neue Fahrzeuge öffentlich berichtet wird.

#### Potenzielle Teststrecken

Bezüglich potenzieller Teststrecken für neue Technologien wurde von Experten betont, dass sich insbesondere kleine Meterspurbahnen sehr gut dazu eignen, neue Technologien auszuprobieren und Testfahrten durchzuführen. Dieses Potential sollte in Zukunft stärker genutzt werden.

#### Forschung

Forschungsprojekte sind hinsichtlich der Finanzierung im Abgeltungsverkehr aus Expertensicht sehr problematisch. Daher wurde von der Expertenseite betont, dass Finanzierungsmöglichkeiten für Forschung und Entwicklungen im Bahnbereich für kleine Forschungsprojekte benötigt werden, welche möglichst schnell beantragt werden können.

#### Zeithorizonte

Ein Teil der Experten gibt Zeithorizonte an, welche teilweise stark für ein und das selbe Technische Umsetzungsziel divergieren (teilweise 5 bis 50 Jahre). Der andere Teil hat es bewusst abgelehnt Zeithorizonte anzugeben und dies damit begründet, dass die Zeithorizonte durch diese Einflussgrößen so unterschiedlich sein können.

In diesem Zusammenhang wurde von der Expertenseite beschrieben, dass technologische Weiterentwicklungen und deren Zeithorizonte extrem stark von den Rahmenbedingungen (bspw. politischen oder betrieblichen Voraussetzungen) und dem Vorhandensein von qualifiziertem Personal abhängen. Weiter wurde bemängelt, dass die heutigen Einflussgrößen dazu führen, dass die Zeithorizonte im Vergleich zu früher immer länger werden.

### 3.7.2 Behindertengleichstellungsgesetz

Es ist sehr wichtig, dass für alle Personen ein diskriminierungsfreier und barrierefreier Zugang zum öffentlichen Verkehr gewährleistet ist. Um dies für Personen mit körperlichen Einschränkungen zu ermöglichen, sind technische Anpassungen an den Fahrzeugen notwendig.

In diesem Zusammenhang wird von der Expertenseite kritisiert, dass das Behindertengleichstellungsgesetz Anforderungen beinhaltet, welche sogar nachteilhaft für Menschen mit körperlichen Einschränkungen sind. Dabei wurde reklamiert, dass Verbesserungen, welche gemeinsam mit körperlich eingeschränkten Personen in deren Interesse entwickelt wurden, nicht anwendbar sind, wenn das finale Produkt nicht dem Behindertengleichstellungsgesetz entspricht. Weiter wurde beschrieben, dass sich dadurch die Lösungsfindung an den juristischen Rahmenbedingungen orientiert und weniger an den Erfordernissen der Menschen mit körperlichen Einschränkungen.

### 3.7.3 Fachkräftemangel und fehlendes Know-How

Experten aus verschiedenen Bereichen der Bahnbranche reklamieren, dass im Bahnbereich ein zunehmender Mangel an qualifiziertem<sup>52</sup> Personal besteht um die Bahnen zu betreiben. Die Schweiz investiert sehr viel in das Bahnsystem, investiert aber kaum in die Ausbildung. Es wird beschrieben, dass die Schweizerische Hochschulausbildung im eisenbahnspezifischen Ingenieurwesen sehr schlecht ist, da Eisenbahningenieursqualifikationen in den Vorlesungen fast gar nicht mehr gelehrt werden. Als Resultat ist die Schweiz darauf angewiesen, qualifizierte<sup>53</sup> Ingenieure aus dem Ausland anzuwerben.

Weiter wurden Bedenken geäussert, dass das eisenbahnspezifische Ingenieurwissen in der Schweiz verloren geht. Eine grosse Herausforderung ist es daher, das Wissen beizubehalten.

Als Folge mangelnder Fachkompetenz wird beschrieben, dass technische Systeme oft Probleme haben, welche auf mangelnde Ingenieurskompetenz zurückzuführen sind und hohe unnötige Kosten verursachen. Eine weitere Folge ist der Aspekt, dass sehr viele Verkehrsunternehmen viele Innovationen gar nicht mehr verfolgen können, weil das qualifizierte Personal fehlt.

### 3.7.4 Kosten

Es wurde von Experten bemängelt, dass es Bereiche gibt, bei denen sehr viel Geld investiert wird und bei anderen fehlen schon die kleinsten Geldbeträge (bspw. bei Innovationen). Weiter wurde beschrieben, dass die Kosten im Bereich der Digitalisierung und der Verwaltung immer weiter steigen. Es wurde aber auch kritisiert, dass der zunehmende Kostendruck bei Fahrzeugen zu einer schlechteren Qualität führt und die Umsetzung der Weiterentwicklungen verhindert wird.

---

<sup>52</sup> Anmerkung: In diesem Satz ist das Adjektiv «qualifiziertes» wesentlich, da es in der Schweiz viele Arbeitnehmer gibt.

<sup>53</sup> Anmerkung: In diesem Satz ist das Adjektiv «qualifizierte» wesentlich, da es in der Schweiz viele Ingenieure gibt.

Als konkretes Beispiel wurde die Einführung diverser neuer Systeme zur Datenverwaltung oder für das Projektmanagement genannt (bspw. ERP-Systeme<sup>54</sup>). Hierzu wurde beschrieben, dass diese Systeme erhebliche Mehrkosten und Mehraufwände im Vergleich zu den alten Lösungen verursachen. Dies resultiert zum einen aus den Lizenzgebühren und zum anderen aus dem Aspekt, dass die Bedienung zeitintensiver ist, sodass die gleichen Aufgaben im Vergleich zu früher erheblich viel mehr Arbeitszeit benötigen. Zudem wurde die Problematik genannt, dass das Personal diese Systeme häufig gar nicht vollständig ausnutzen kann.

Als weiterer Bereich, bei welchem Kosten explodieren, wurde die Stellwerkstechnik genannt. Es wurde erwähnt, dass bereits darüber nachgedacht wurde, auf alte Stellwerkstechnologien, wie Relaisstellwerke zurückzukehren.

Zudem wurde von der Expertenseite beschrieben, dass der zunehmende Kostendruck bei der Fahrzeugbeschaffung zu einer schlechteren Qualität führt und Weiterentwicklungen behindert. Im Gegensatz zu heute wurde bei der Entwicklung und dem Bau der SBB Re 460 damals viele neue innovative Technologien eingebracht und es war die Bereitschaft vorhanden, dafür auch das Geld auszugeben. Das Resultat war eine sehr hochwertige und gute Lokomotive, welche sehr zuverlässig und verschleissarm ist, sowie eine lange Lebenserwartung hat. Heute erlaubt bei der Fahrzeugbeschaffung der Markt mit seinem Kostendruck dies nicht mehr. Bei der Automatisierung und Fahrzeugweiterentwicklung besteht ein sehr hoher Kostendruck, welcher dazu führt, dass Hersteller nur noch mindergute Lösungen umsetzen. Wenn Technologien keinen kurzfristigen Gewinn ermöglichen, sind Weiterentwicklungen und Innovationen gar nicht mehr möglich.

### 3.7.5 Normen und Zulassung

Von den Experten wird wiederholt kritisiert, dass Normen und darauf basierende Zulassungsprozesse ein zunehmendes Innovationshindernis darstellen. Zulassungsprozesse werden immer stärker papierlastig, was sehr viele, der bereits wenig vorhandenen Ingenieure in Anspruch nimmt. Dadurch geht der Bezug zum Schienenfahrzeug verloren und Personal für die Weiterentwicklungen und Ingenieursarbeiten fehlt.

Weiter wurde betont, dass insbesondere Meterspurbahnen pragmatische und kostengünstige Lösungsansätze benötigen und viele EU Normen zwangsweise gar nicht einhalten können, weil diese Normen eigentlich für die normalspurigen Vollbahnen vorgesehen wurden. Experten warnen, dass ein finanziell vertretbarer Betrieb der Meterspurbahnen nicht mehr möglich sein wird, wenn alle EU-Normen umgesetzt werden müssen.

Im Allgemeinen werden Normen von den Experten aber nicht grundsätzlich abgelehnt. So werden Normierungen zur Standardisierung als sinnvoll erachtet, sofern sie pragmatisch und zielführend sind.

---

<sup>54</sup> Erklärung: ERP-Systeme (Enterprise Resource Planning) sind Softwarelösungen zur Ressourcenplanung, Organisation, Steuerung, Prozessabwicklung etc.

### 3.7.6 Planungs- und Zulassungsverfahren

Von der Expertenseite wurde kritisiert, dass die Planungs- und Zulassungsverfahren im Vergleich zu früher immer aufwendiger werden und immer länger dauern. Diese Entwicklung ist zunehmend innovationsschädlich und führt in absehbarer Zeit zu einem Stillstand der Weiterentwicklung.

### 3.7.7 Rolle der Schweiz gegenüber Europa

Die Experten sind sich einig, dass die Schweiz einen interoperablen grenzüberschreitenden Verkehr unbedingt anstreben und fördern soll. Gleichzeitig wird jedoch sehr stark davor gewarnt, im inner-schweizerischen Verkehr einzig auf EU-Normen zu setzen. Insbesondere Meterspurbahnen können zwangsweise viele EU-Normen nicht einhalten und benötigen pragmatische und kostengünstige Lösungsansätze. Wenn die Meterspurbahnen alle EU-Normen umsetzen müssten, wäre ein finanziell vertretbarer Betrieb nicht mehr möglich.

Es wurde beschrieben, dass das Schweizer Bahnsystem dem europäischen Bahnsystem voraus ist und dass die Schweiz bei neuen Technologien nicht auf andere Länder warten soll. Ein Warten würde für die Schweiz einen mehrere Jahrzehnte langen Stillstand zur Folge haben. Die Schweiz sollte ihre technologische Vorreiterrolle beibehalten. Sollte es mehrere Vorreiter bei einer Entwicklung geben, so müsse bei der finalen Anwendung die Interoperabilität gewährleistet sein. Zudem wird empfohlen, dass die Schweiz bei europäischen Technologieentwicklungen teilnimmt.

Es wurde auch empfohlen, den Ausbau des internationalen Personenverkehrs weiter voranzutreiben.

### 3.7.8 Rolle gegenüber dem Bus

Von der Expertenseite wird der Bus als Zubringer gesehen und sollte deshalb besser mit der Bahn verknüpft werden.

Der Bus wird nicht als Alternative oder Ersatz für die Bahn gesehen, da dieser für den Fahrgast unattraktiver und unkomfortabler ist. Weiter hat der Bus kein Potential für mittlere und hohe Reisegeschwindigkeiten. Das Sicherheitslevel für den Fahrgast ist deutlich geringer, als bei der Bahn. Es werden beim Busbetrieb viele Aspekte erlaubt, welche für die Bahn vom BAV niemals genehmigt werden würde.

Betrieblich gesehen ist der Bus weniger verlässlich, hat eine höhere Rollreibung und eine geringere Energieeffizienz. Zudem entstehen im Batteriebetrieb nicht vernachlässigbare Lade- und Entladeverluste. Insbesondere im Winter bei schlechten Strassenverhältnissen eignet sich der Bus weniger gut, als Bahnsysteme.

Von der Expertenseite wurde betont, dass bei Vergleichen im Transportwesen die externen Kosten berücksichtigt werden müssen. Hierfür werden aber realistische objektive Vergleiche benötigt (es ist

nicht objektiv einen 300 km/h fahrenden zu 30 % gefüllten Hochgeschwindigkeitszug mit einem 80 km/h fahrenden 100 % vollen Bus zu vergleichen). Wenn alle externen Kosten berücksichtigt werden und objektiv verglichen werden würde, würde deutlich werden, dass die Bahn effizienter als der Bus ist und dass die Bahn auch auf Nebenstrecken gegenüber dem Bus vorteilhaft ist.

### 3.7.9 Rolle gegenüber dem PKW

Strategien, welche darauf basieren, eine Zunahme des öV-Anteils durch politische Entscheidungen zu erreichen, welche die Freiheit der Autofahrer und das Autofahren einschränken, werden von den Experten kritisch gesehen. Für solche politischen Entscheidungen wird nur eine geringe Akzeptanz in der Bevölkerung erwartet.

Es wird von der Expertenseite viel mehr empfohlen, das Potential der Bahn zu nutzen und das System zu verbessern, sodass die Menschen freiwillig den öffentlichen Verkehr verwenden. In diesem Zusammenhang wurde explizit die Reisegeschwindigkeit betont. Die Reisegeschwindigkeit muss erhöht werden, damit sich der Kunde für die Bahn entscheidet. In diesem Zusammenhang wurde gesagt: «die grösste Sünde in den letzten Jahrzehnten ist, dass das Geschwindigkeitspotential, welches die Bahn im Vergleich zu anderen Verkehrsmitteln hat, nicht ausgenutzt wurde»

Weiter wird nahegelegt, ein Verkehrssystem zu realisieren, welches es dem Kunden ermöglicht, komplett auf den PKW zu verzichten. Das GA mit dem Pauschaltarif ist dabei schon ein erster wichtiger Schritt für die Verkehrsverlagerung in Richtung des öVs.

Mit einem zunehmenden Anteil an Elektroautos, schwindet der Umweltvorteil der Bahn. Wenn in Zukunft noch selbstfahrende PKWs folgen, erwarten Experten eine Verkehrsverlagerung auf die Strasse. Dem kann nur entgegengewirkt werden, sofern die Bahn ihre Vorteile, welche sie gegenüber dem PKW hat, voll ausnutzt. Gegenüber dem Auto hat die Bahn das Potential, dass sie schon heute sicherer und mit einer deutlich höheren Geschwindigkeit betrieben werden kann (von der Expertenseite wurde betont, dass die Bahn das technische Potential bietet um einen wirtschaftlich und technisch kosteneffizienten realisierbaren Verkehr mit 320 km/h zu ermöglichen).

### 3.7.10 Rolle gegenüber dem Kunden

Von der Expertenseite wird kritisiert, dass die öV Betreiber häufig sehr einseitig optimieren und dabei lediglich ihren Fokus auf betriebliche und technische Verbesserungen setzen. Bei Optimierungen wird kaum auf die Kundenbedürfnisse und Attraktivität des Angebots für den Kunden geachtet.

Ob der Kunde den öV nutzt, hängt aber ganz von der Attraktivität des Angebots ab. Gleichzeitig benötigen die Betreiber des öVs mehr Kunden um überlebensfähiger und wirtschaftlicher zu werden.

Daher wurde dringendst empfohlen, bei technischen Weiterentwicklungen des Bahnsystems diese so durchzuführen, dass diese auch dazu beitragen, die Attraktivität des Angebots zu verbessern. Um dies

zu ermöglichen sind die zwei wichtigsten Faktoren, welche in der Schweiz für die Verkehrsträgerwahl des Kunden entscheidend sind, genannt worden:

- Angebotsqualität (Verfügbarkeit<sup>55</sup> und Komfort)
- Reisezeit (Absolut und im Vergleich zum PKW)

### 3.7.11 Sicherheit

Die steigenden Sicherheitsanforderungen im Eisenbahnbereich werden von vielen Experten stark kritisiert und immer wieder erwähnt. Die Bahn ist das sicherste Transportsystem. Es wird betont, dass das heutige Level bereits extrem hoch sei und mehr als ausreichend ist. Weitere Erhöhungen werden sogar als innovationsschädlich bezeichnet. Durch mehr Sicherheit wird das System tendenziell teurer und langsamer und verliert an Leistungsfähigkeit. Es wurde die Gefahr genannt, dass noch höhere Sicherheitsanforderungen die Abwicklung eines Eisenbahnbetriebes verhindern. Es wurde betont, dass die Sicherheit zielgerichtet sein muss und mit einem gesunden Menschenverstand betrachtet werden sollte.

Durch den Sachverhalt, dass die Sicherheitssysteme immer komplexer werden, nehmen die Störungen dieser Systeme zu. Heute besteht das grösste Sicherheitsproblem bei der Bahn, wenn ein Sicherheitssystem eine Störung hat und abgeschaltet werden muss, sodass dann auf einmal kein Sicherheitssystem mehr zur Verfügung steht.

Es wurde als „paradox“ bezeichnet, dass das BAV auf der Strasse (Busse, PKWs, etc.) ein derart unsicheres und gefährliches System erlaubt und gleichzeitig bei der Bahn, welches viel sicherer ist, die Sicherheit immer weiter erhöhen möchte, sodass dadurch Verkehrsverlagerungen auf die Strasse stattfinden.

### 3.7.12 STEP 2040

Von der Expertenseite wurde zum nächsten Angebotsschritt 2040 angemerkt, dass hierbei der Fokus sein sollte, das Angebot zu verbessern und eine Attraktivitätssteigerung für den Kunden zu erzielen. Es wurde betont, dass eine Verkehrsverlagerung auf den öV nötig sei, um die Verkehrsprobleme zu lösen und die Klimaziele zu erreichen. Das heutige Angebot wird von den Kantonen geplant, welche nur den Fokus auf ihre eigenen individuellen Ziele haben, anstatt die schweizweiten gesamtheitlichen Ziele zu verfolgen.

---

<sup>55</sup> Erklärung: Verfügbarkeit bezieht sich neben der Taktfrequenz und den Betriebszeiten auch auf den grundsätzlichen Aspekt, ob ein Ort überhaupt mit einer öV Linie angebunden ist.

### 3.7.13 Tram

Von der Expertenseite wird die Tram als leistungsfähigstes Verkehrsmittel im städtischen Raum beschrieben. Durch den Vorteil, dass es sich um ein schienengebundenes Verkehrsmittel handelt, kann sie mit einem sehr geringen Platzbedarf, sehr grosse Verkehrsströme befördern. Als Schienentransportmittel ist sie im Vergleich zu Bussen merklich energieeffizienter, trotzdem steht sie unter einem zunehmenden extremen Konflikt, da die städtischen Lebensräume immer enger werden.

Weiter wurde nahegelegt, dass beim Bau neuer Trambetriebe ein systemübergreifender Betrieb der Tram mit der Eisenbahn zum einen für den Kunden und zum anderen aus wirtschaftlicher Sicht sehr vorteilhaft ist. Daher wurde nahegelegt ein Betrieb mit Zweisystem-Stadtbahnwagen in Erwägung zu ziehen (siehe auch 3.6.4.7).

### 3.7.14 Trennung von Fahrzeug und Infrastruktur

Die Experten kritisieren die Bestrebungen einer zunehmenden Trennung von Netz (EIU) und Betrieb (EVU), da sich diese negativ auf die technologische Weiterentwicklung des Bahnsystems auswirkt, weil das Bahnsystem nur mit einer gesamtheitlichen Systembetrachtung funktioniert. Es wurde beschrieben, dass viele technisch notwendigen Optimierungen und Innovationen nur möglich sind, wenn gleichzeitig das Fahrzeug und die Gleisinfrastruktur gemeinsam berücksichtigt werden. Daher wird explizit darauf hingewiesen, dass ausbleibende technische Optimierungen und Innovationen, welche durch die zunehmende Trennung verhindert werden, auf verschiedenen technischen Ebenen einen erheblichen wirtschaftlichen Schaden verursachen werden.

### 3.7.15 Unternehmensübergreifende Zusammenarbeit

Von der Expertenseite wurde beschrieben, dass eine stärkere technische horizontale Zusammenarbeit der Bahnunternehmen sehr wichtig ist.

Dies ist insbesondere für die Meterspurbahnen wichtig. Dies resultiert aus dem Sachverhalt, dass solche Bahngesellschaften zum einen zu klein sind um sich für alle Gebiete Ingenieure zu leisten und zum anderen daran, dass es nicht ausreichend qualifizierte Ingenieure gibt.



die Einstufungssymbolik. Dabei dient die Spalte «Anmerkung» der jeweiligen Tabellen als kurze Erklärung und verfügt nur über einen Inhalt, wenn das Potential nicht mit einem «+» eingestuft wurde.

Legende für die Spalten <b>Potential</b>	Legende für die Spalten <b>Einfluss</b>	Legende für die Spalten <b>Horizont</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aktuell kein signifikantes Potential, im Vergleich zu anderen Aspekten für die Anwendung in der Schweiz erkennbar</li> <li>o Konkrete Einstufung nicht möglich</li> <li>+ Potential vorhanden</li> <li>++ Ein überdurchschnittliches Potential ist möglich</li> <li>+++ Ein hohes Potential ist möglich</li> </ul>	<p><b>Einfluss auf das Bahnsystem</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Eher Einzelanwendungen</li> <li>•• Mittlerer bzw. durchschnittlicher Einfluss möglich</li> <li>••• Grosser Einfluss möglich</li> <li>•••+ Grosser, sowie internationaler Einfluss möglich</li> </ul> <p><b>Einfluss auf den Strassenverkehr (optional)</b> <sup>56</sup></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>+ Entlastung des Strassenverkehrs durch eine Verkehrsverlagerung auf den öV möglich<sup>57</sup></li> <li>- Zusätzliche Belastung des Strassenverkehrs durch eine Verkehrsverlagerung auf die Strasse möglich<sup>58</sup></li> </ul>	<p>Eine technische Umsetzung ist<sup>59</sup>,</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•oo kurzfristig möglich oder schon vorhanden</li> <li>••o kurz- oder mittelfristig möglich</li> <li>••• kurz-, mittel-, oder langfristig möglich</li> <li>o•o eher mittelfristig möglich</li> <li>o•• eher mittel- oder langfristig möglich</li> <li>oo• nicht ausgeschlossen, aber eher langfristig möglich</li> </ul>
<p>Hinweis zu der Legende und den Tabellen:                  Der Potentialvergleich sowie der Einflussvergleich betrachtet allgemeine Fälle und ist als ungefähre Grössenordnung zu interpretieren, da es auch Fälle gibt, bei denen das Potential und/oder der Einfluss grösser oder kleiner als eingestuft ist.                  Die Zeithorizonte sind lediglich als ungefähre Grössenordnung zu interpretieren, da Zeithorizonte für Entwicklungen und Umsetzungen durch diverse Einflussgrössen unterschiedlich sein können. So sind Zeithorizonte extrem stark von den Rahmenbedingungen (bspw. politische, regulatorische, finanzielle und betriebliche Voraussetzungen) sowie dem Vorhandensein von qualifiziertem Personal abhängig (siehe Kap. 3.7.1; 3.7.3).</p>		

**Tabelle 4 – Legende für die Tabelle 5, Tabelle 6, Tabelle 7 und Tabelle 8.**

<sup>56</sup> Diese Einstufung wird nur optional vergeben, wenn ein erhöhter Einfluss möglich ist. Wenn nur ein kleiner Einfluss erwartet wird, wird diese Einstufung nicht vergeben.

<sup>57</sup> Bedingt durch den Sachverhalt, dass der Strassenverkehr in der Schweiz zunehmend an der Überlastungsgrenze ist und Strassenausbauten häufig kaum oder nur mit hohen Kosten realisierbar sind, ist es vorteilhaft, wenn das Bahnsystem einen Beitrag dazu leisten kann, die Strasse zu entlasten.

<sup>58</sup> Bedingt durch den Sachverhalt, dass der Strassenverkehr in der Schweiz zunehmend an der Überlastungsgrenze ist, werden Massnahmen dessen Auswirkungen noch mehr Verkehr auf die Strasse bringen können, als nachteilhaft eingestuft.

<sup>59</sup> Einzelne Technologien/Aspekte sind zwar teilweise schon vorhanden, da die Umsetzung im grösseren Umfang jedoch zeitintensiv sein kann, können auch schon teilweise umgesetzte Technologien/Aspekte bspw. als mittelfristig eingestuft werden.

Aspekte im Bereich Angebot	Potential	Einfluss	Horizont	Anmerkung	Kapitel
Geschwindigkeit & Reisezeitreduktion	+++	●●●+ 🚗+	●●●	Heute sind die Tür-zu-Tür-Reisezeiten des öV im Vergleich zum Individualverkehr häufig signifikant höher. Dies trägt dazu bei, dass der Individualverkehr im Modalsplit dominant ist. Gegenüber dem Individualverkehr hat die Bahn das Potential sicher und effizient höhere Geschwindigkeiten zu fahren. Höhere Geschwindigkeiten und die daraus resultierenden Reisezeitreduktionen tragen dazu bei, dass die Bahn attraktiver wird und dienen einer Verkehrsverlagerung auf die Schiene.	3.2.1
Sitzplatzabstand	-	●●● 🚗-	●●●	Der heutige Sitzplatzabstand bzw. -raum sowie die Fahrgastbelegung im öV ist häufig grenzwertig gering. Es ist zu erwarten, dass die Akzeptanz für noch weniger Platz pro Fahrgast nicht vorhanden ist und zu einer Verkehrsverlagerung vom öV auf den Individualverkehr führen wird. <sup>60</sup>	3.2.4
„Einfaches“ Netz	-	●●●+ 🚗-	○●●	Das Prinzip des sogenannten „einfachen Netzes“ hat eine Reduktion der Direktverbindungen zur Folge, sodass die Fahrgäste dadurch häufiger umsteigen müssen. Das Umsteigen ist im Allgemeinen jedoch nicht erwünscht, sodass mit einer Verkehrsverlagerung auf den Individualverkehr zu rechnen ist.	3.2.5.4
Personentracking	-	●●	○●●	Personentrackingssysteme haben erhebliche Einführungshürden sowie Aufwände und erfassen lediglich einen Teil der Fahrgäste. Gleichzeitig sind schon heute in den meisten Fahrzeugen automatische Fahrgastzählsysteme <sup>61</sup> installiert, welche bis zu 99% der Fahrgäste erfassen. Die Auswertung dieser vorhandenen Fahrgastzählsysteme kann zu sehr guten Ergebnissen führen.	3.2.5.10
W-Lan	+	●●	●●○		3.3.4.6
Taktfahrplan	++	●●● 🚗+	●○○	Der integrale Taktfahrplan hat eine Vielzahl bekannter Vorteile und hat zu einer Verkehrsverlagerung auf die Schiene beigetragen.	3.4.1
	-	●●● 🚗-	●○○	Wenn der starre integrale Taktfahrplan bspw. zusätzliche Verstärkerzüge, Taktverdichtungen, Beschleunigungen etc. verhindert, wird zugleich eine Angebotsverbesserung und weitere Verkehrsverlagerungen verhindert.	
Dynamischer Fahrplan	-	●●●+ 🚗-	●○○	Die Planbarkeit ist für den Kunden im öV extrem wichtig. Ein dynamischer Fahrplan reduziert diese.	3.4.2
Vernetzte Verkehrsträger	+	●●	○●●		3.4.3
Kernnetz	-	●●● 🚗-	●●●	Streckenstilllegungen führen zu erheblichen Verkehrsverlagerungen auf die Strasse. Dadurch müssen die Strassen im Vergleich zu heute erheblich ausgebaut werden. Dies ist problematisch, da das flächennutzungshochoeffiziente Verkehrsmittel Bahn durch den flächennutzungseffizienten Strassentransport ersetzt wird. Zudem reduziert sich die Wirtschaftlichkeit der verbleibenden Kernnetzstrecken.	3.4.4
Resilienz in der Planung	+	●●	○●●		3.4.5.2
Komfort	++	●●● 🚗+	○●●	Der Komfort ist ein wichtiger Einflussfaktor der Verkehrsmittelwahl. Der Schienenverkehr hat das Potential einen guten Reisekomfort zu bieten. Eine Nutzung dieses Potentials und die Erhöhung des Komforts im öV trägt zu einer Verkehrsverlagerung von der Strasse auf die Schiene bei.	3.4.5.3
Marktanteil (Güterverkehr)	+	●●● 🚗+	○●●		3.5.1
Einzelwagenverkehr	+++	●●● 🚗+	●○○	Der Einzelwagenverkehr trägt dazu bei, dass mehr Güter auf der Schiene transportiert werden. Ohne das Angebot eines Einzelwagenverkehrs und Transport von kleineren Transporteinheiten wie Minicontainern, haben viele Firmen keine Möglichkeit ihre Waren auf der Schiene zu transportieren, da ihr Transportvolumen nicht für ganze Züge ausreicht.	3.5.5.4
Integration von Güterverkehr ins Gesamtschienenangebot	+	●●●+ 🚗+	○●●		3.5.5.6
Kombinierter Verkehr	+	●●● 🚗+	○●●		3.5.5.9
Vertrieb (Güterverkehr)	+++	●●● 🚗+	○●●	Neue einfache und barrierefreie Vertriebsformen im Güterverkehr können einen erheblichen Beitrag zur Güterverkehrsverlagerung auf die Schiene leisten.	3.5.5.14
Skalierung der Fahrzeuggrösse	+	●●	●○○		3.6.4.4
Behindertengleichstellungsgesetz	○	●●●	●●○	Keine Beurteilung möglich, da nicht ausreichend Hintergründe vorhanden sind.	3.7.2
Rolle der Schweiz gegenüber Europa	++	●●●+ 🚗+	●●○	Ein Ausbau des Internationalen Verkehrs dient dem umweltfreundlichen Transport und dem Reisen.	3.7.7
Rolle gegenüber dem Bus	+	●●● 🚗+	●●○		3.7.8
Rolle gegenüber dem PKW	++	●●● 🚗+	●●○	Die Bahn hat gegenüber dem PKW einige Vorteile (Geschwindigkeit, Sicherheit, Komfort, etc.), welche für eine Verkehrsverlagerung auf die Schiene nützlich sind.	3.7.9
Rolle gegenüber dem Kunden	++	●●●+ 🚗+	●●○	Bei Optimierungen ist es wichtig, den Stellenwert des Kunden zu erhöhen um den öV Anteil zu erhöhen.	3.7.10
Tram	++	●● 🚗+	●●●	Die Tram ist ein umweltfreundliches und sehr platzeffizientes Verkehrsmittel, deren Vorteile durch die zunehmende städtische Raumknappheit immer wichtiger werden. <sup>62</sup>	3.7.13

Tabelle 5 – Detailvergleich des Bereiches Angebot

<sup>60</sup> Der Bedarf an grosszügigen Raumverhältnissen wird insbesondere bei einem Blick in den Automobilbereich offensichtlich, da im Automobilbereich in der Schweiz zunehmend grössere Fahrzeuge gekauft werden, welche immer mehr Platz und einen immer grösseren sowie bequemen Innenraum aufweisen.

<sup>61</sup> An den meisten Türen sowie an vielen Wagen- und Abteilübergängen befinden sich schon heute automatische Fahrgastzählsysteme, welche mittels Bewegungsmeldern bei einer Genauigkeit von bis zu 99% die Fahrgäste anonym zählen.

<sup>62</sup> International bauen seit einigen Jahren immer mehr Städte komplett neue Strassenbahnbetriebe auf.

Aspekte im Bereich Betrieb	Potential	Einfluss	Horizont	Anmerkung	Kapitel
30% mehr Züge auf derselben Infrastruktur	+	●●●	○○●	Es existiert ein nicht vernachlässigbares Potential die Schienenkapazität durch neue Technologien besser auszunutzen.	3.1.2
	-	●●●	○○●	Die für eine Verkehrsverlagerung erforderlichen Steigerungen sind wahrscheinlich nicht möglich, wenn einzig auf neue Technologien gesetzt wird.	
	+++	●●●	○○●	Daher braucht es in den nächsten Jahren auch an einigen Orten neue Gleise bzw. Strecken, um eine Kapazitätssteigerung zu ermöglichen.	
Interoperabilität vs. Kapazitätserhöhung	++	●●●+	○○●	Ein grösseres Lichtraumprofil kann im Güterverkehr sowie auch im Personenverkehr einen deutlichen Nutzen haben.	3.2.3
Baustellenbetrieb	+				3.2.5.1
Rad-Schiene & Drehgestelle	++	●●	○○●	Insbesondere, dass die Unterhaltskosten bei Triebwagen deutlich höher, als die bei Lokzügen beschrieben wurden, generiert Optimierungspotential.	3.2.5.2
Fahrzeuginnovation & Beschaffung	+	●●			3.2.5.5
Lärm- und Vibrationsreduktion	+	●●	●●●		3.2.5.6
Nachhaltigkeit durch Refite	+	●●	●○○		3.2.5.7
Streckensperrungskostenbeurteilung	+	●●	○○○		3.2.5.12
Zuggeschwindigkeitsbündelung	+	●●			3.2.5.17
Kurswagen	++	●● 	●○○	Das signifikante Potential resultiert aus den zusätzlichen Direktverbindungen und der vorhandenen Interoperabilität der Reisezugwagen.	3.4.5.4
Verkehrsfluss	+	●●	○○●		3.5.3
Gemischte Züge	+	●			3.5.4
Getrennte Infrastruktur	-	●	○○●	Eine Verkehrstrennung in Güterverkehr und Personenverkehr hat wenige Vorteile.	3.5.5.5
	++	●●●	○○●	Eine Verkehrstrennung in langsamen und schnellen Verkehr ist zielführender.	
Kapazitätsausnutzung Nebenstrecken	++	●●	●○○	Durch Verwendung der Nebenstrecken für den Güterverkehr können hoch belastete Hauptstrecken entlastet werden und zugleich erhöht sich die Kostendeckung der Nebenstrecken. Ein entsprechendes Trassenpreissystem kann hierfür Anreize schaffen.	3.5.5.7
Kapazitätsmanagement	+	●●●	○○●		3.5.5.8
Verladestellen & letzte Meile	+++	●●●+ 	●●○	In diesem Bereich gibt es ein vordringliches Optimierungspotential um den Güterverkehr zu verbessern und somit den Strassentransport zu reduzieren.	3.5.5.13
Allgemeine Aspekte zur Innovation	o	●●●	●●●		3.7.1
Fachkräftemangel und fehlendes Know-How	++	●●●	○○●	Die Ausbildung ist ein sehr wichtiges Thema, welches sehr langfristig angegangen werden muss, weil der Fachkräftemangel durch Weiterbildungen nur bedingt behebbar ist. So lässt sich bspw. eine fundierte universitäre Ingenieurausbildung nicht durch nebenberufliche Weiterbildungen substituieren.	3.7.3
Kosten	+	●●●	●●●		3.7.4
Sicherheit	+	●●	●●○		3.7.11
STEP 2040	+	●●●	●●○		3.7.12
Trennung von Fahrzeug und Infrastruktur	-	●●●	●●○	Die Trennung von Fahrzeug und Infrastruktur hat erhebliche technische Nachteile, welche sich ungünstig auf die Kosten auswirken.	3.7.14
Unternehmensübergreifende Zusammenarbeit	+	●●	●○○		3.7.15

Tabelle 6 – Detailvergleich des Bereiches Betrieb

Aspekte im Bereich Technologien Allgemein	Potential	Einfluss	Horizont	Anmerkung	Kapitel
Moderne Signalanlage	+	●●	○●●		3.1.3
Steuerung durch ein System	+	●●	○●●		3.1.4
Automatische Entgleisungserkennungssysteme	+	●●	●●○		3.1.5.3
ETCS	++	●●●+	●●○	ETCS Level 2 und ggf. Level 3 ist mit hoher Wahrscheinlichkeit die Zukunftstechnologie. Ohne die Kapazitätsreduktion wäre das Potential jedoch höher.	3.1.5.6
	+++	●●●+	○●●	Ein neu zu definierender noch nicht existierender Standard: ETCS L2 HC <sup>63</sup> oder ggf. ETCS L3 HC, welcher jeweils keine Kapazitätsreduktion hat, würde ein sehr hohes Potential haben. <sup>64</sup>	
Fahrassistenzsysteme	+	●●	●○●		3.1.5.7
Künstliche Intelligenz	+	●●	●●●		3.1.5.8
Drohnen	+	●●	●●○		3.2.5.3
Notbremsüberwachung	+	●●	○●○		3.2.5.8
Oberbauwerkstoffe	+	●●	●●●		3.2.5.9
Systembasierte Simulationen	+	●●	●●○		3.2.5.13
Tunnelbau	-	●	○●●	In Bereichen, in denen eine betrieblich gleichwertige oberirdische Streckenführung möglich ist, überwiegen die hohen Kosten und weitere Nachteile der Tunnels <sup>65</sup> .	3.2.5.14
	++	●●● 	○●●	In Bereichen, in denen Tunnels den Betrieb sowie das Angebot im Vergleich zur oberirdischen Streckenführung verbessern, können neue Tunnels erheblich zur Optimierung des Verkehrssystems beitragen <sup>66</sup> .	
Wälzlager	+	●●	●●○		3.2.5.15
Zahnstangeneinfahrten	++	●	●●○	Eine Einzelanwendung, welche für die betroffene Zahnradbahnen durch Reisezeiterparnis und Fahrplanstabilität sehr nützlich ist.	3.2.5.16
Neue Materialien	+	●●	●●●		3.3.1
Motoren, etc., Hybridantriebe	+	●●	●●○		3.3.2
Condition Monitoring	++	●●		Condition Monitoring trägt dazu bei, den Unterhalt effizienter zu gestalten und die Kosten zu reduzieren.	3.3.3
Energieversorgung	+	●●●	○●●		3.3.4.1
Klimaanlage	+	●●	●●●		3.3.4.2
Kurzschlusserkennung	+	●●	●●○		3.3.4.3
Leichtbau	+	●●	●●○		3.3.4.4
Smart Grids	+	●●	○●●		3.3.4.5
Echtzeitinformationen	+	●●	●●●		3.4.5.1
Spurwechselfahrzeuge	++	● 	●●○	Bei Einzelanwendungen sehr nützlich, da diese Technologie Direktverbindungen ermöglicht.	3.4.5.5
Störungsmanagementsystem	+	●●	●●●		3.4.5.6
Querverschiebevorrichtungen	++	●● 	○●○	Diese Technologie hat das Potential, neue kleine und kostengünstige Güterumschlagsanlagen zu ermöglichen.	3.5.2
Container Tracking	+	●●	●○●		3.5.5.3
Kühlwagen	+	●●	●●○		3.5.5.10
Scheibenbremsen	+	●●	●●●		3.5.5.12
Vakuumzüge	-	●	○●●	Es besteht ein mögliches erhebliches Kostenproblem. Diverse ungeklärte technische Fragen. Keine Anwendung in der Schweiz erkennbar.	3.6.1
Güter unter der Erde	-	● 	○●●	Es besteht ein mögliches erhebliches Kostenproblem.	3.6.2
Dynamische Fahrgastwechsel, sowie Dynamisches Kuppeln	++	●● 	○●●	Das dynamische Kuppeln ist eine Gruppe von Technologien, welche sich in der Erforschung sowie teilweise schon in der Entwicklung befindet und das Potential hat, das Bahnsystem und komplette neue Betriebsszenarien zu verbessern. Ein erster Prototyp einer möglichen Ausführungsform wurde bereits auf der Innotrans vorgestellt.	3.6.3
Alternative Antriebsarten	○	●	○●●	Aktuell keine Anwendung in der Schweiz erkennbar.	3.6.4.1
Pods	-	●	○●●	Hat diverse Nachteile und befindet sich schon seit über 50 Jahren immer noch in der Prototypenentwicklung.	3.6.4.2
Selbstangetriebener Batteriebetrieb	+	●●	●●○		3.6.4.3
Spurbusse und ähnliche Systeme	-	●	○●○	Diese Technologie hat sehr viele Nachteile, da sie quasi die Nachteile des spurgeführten Verkehrs mit denen des Strassenverkehrs kombiniert.	3.6.4.5
Weiterentwickelte Standseilbahn & Peplomover	+	●	●●○		3.6.4.6
Zweissystem-Stadtbahnen	+++	●● 	○●○	In vielen Ländern ein immer stärker verbreitetes System, welches erhebliche Verkehrsverlagerungen auf die Schiene erreicht hat.	3.6.4.7
Normen & Zulassung	++	●●	●●○	Normen und Zulassungsprozesse sind wichtige Instrumente. Sie können jedoch auch hinderlich für Innovationen sein, sodass ein Potential vorhanden ist, durch optimierte Strukturen Innovationen besser zu ermöglichen.	3.7.5
Planung und Zulassungsverfahren	+	●●	●●○		3.7.6

Tabelle 7 – Detailvergleich des Bereiches Technologien Allgemein

<sup>63</sup> Die Abkürzung «HC» würde hierbei für «High Capacity» stehen.

<sup>64</sup> In der Schweiz wird ETCS L1 Limited Supervision eingesetzt, da es im Gegensatz zu dem ETCS L1 Full Supervision eine deutlich höhere Kapazitätsausnutzung aufweist.

<sup>65</sup> Tunnels verursachen nicht nur beim Bau, sondern auch beim darauffolgenden Unterhalt im Vergleich zu einer offenen Streckenführung erheblich höhere Kosten. Die zusätzlichen Sicherheitsanforderungen bei Tunnels im Vergleich zu einer offenen Streckenführung und mögliche zukünftige steigende Sicherheitsanforderungen, mit damit verbundenen Folgeinvestitionen, verursachen erhebliche Kosten und Risiken. Weiter zählt zu den Nachteilen, zusätzlich zu dem Energiebedarf sowie dem Umwelteinfluss beim Bau, auch der Eigenenergiebedarf zum Betreiben des Tunnels (bspw. Lüftung, Licht, Sicherheitsausrüstung, etc.), sowie der zusätzliche Traktionsenergiebedarf durch den erhöhten Fahrwiderstand.

Aspekte im Bereich <b>Technologien Automatisierung</b>	Potential	Einfluss	Horizont	Anmerkung	Kapitel
Hochautomatisierter Zugbetrieb	-	●●	○○●	Durch den Aspekt, dass die Störungsbehebung noch nicht automatisierbar ist, hat ein flächendeckender GoA 4 Betrieb mittelfristig noch kein Potential. Ohne diese Problematik hätte der hochautomatisierte Zugbetrieb ein hohes Potential.	3.1.1
	+++	●	●○○	Bei speziellen Anwendungen (bspw. U-Bahnen) hat ein GoA 4 Betrieb gesamtheitlich schon heute ein hohes Potential.	
ATO Umsetzung	++	●●	○○●	Eine schrittweise ATO GoA 2 bis 3 Umsetzung ist die Grundlage für diverse Optimierungen im Bahnbereich.	3.1.5.1
Automatisch erstellte Fahrpläne	+	●●	●●●		3.1.5.2
Verkehrsmanagement	+	●●	○○●		3.1.5.4
Cybersicherheit	+	●●●	●●○		3.1.5.5
Roboter	+	●	○○●		3.2.5.11 3.5.5.11
Automatische Bremsprobe	+++	●●●	●●○	Ermöglicht eine erhebliche Zeitersparnis bei der Zugabfertigung.	3.5.5.1
Automatische Kupplung	+++	●●●+	○○●	Ist eine wichtige Voraussetzung für viele Optimierungen.	3.5.5.2

**Tabelle 8 – Detailvergleich des Bereiches Technologien Automatisierungen**

<sup>66</sup> Tunnels, welche zu erheblichen Verkehrssystemverbesserungen geführt haben, sind: Gotthard-Basistunnel, Lötschberg-Basistunnel, Vereinatunnel und auch viele kleinere Tunnels.

## 5 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

### Kundenattraktivität und Verkehrsverlagerung

Der Modalsplit, also die Verteilung des Transportaufkommens auf die verschiedenen Verkehrsträger resultiert aus einer Balance. Änderungen des Modalsplits bzw. Verkehrsverlagerungen vom Individualverkehr zum öffentlichen Verkehr resultieren aus einer Änderung dieser Balance. Grundsätzlich lässt sich diese Balance durch Push-Massnahmen (Reduktion der Attraktivität des Individualverkehrs z.B. durch Gebühren, Mobility Pricing, Einschränkungen etc.) oder durch Pull-Massnahmen (Verbesserung der Systemeigenschaften des öffentlichen Verkehrs) beeinflussen. In diesem Zusammenhang ist bekannt, dass Attraktivitätssteigerungen in verschiedensten Bereichen (bspw.: Barrierefreiheit, Komfort, Reisezeit, Sauberkeit, Sicherheit, Taktfrequenz, Umsteigen, ...) nicht nur den Modalsplit beeinflussen, sondern auch weiteren Verkehr induzieren können. Sofern zusätzlicher Verkehr unerwünscht ist, kann dieser auf strategischer und politischer Ebene durch Push-Massnahmen gehandhabt werden.

Ein entscheidender Vorteil und wichtige Pull-Massnahmen des öffentlichen Verkehrssystems resultieren aus dem Komfort und auf längeren Strecken der nutzbaren Reisezeit. Optimierungen zur Vermeidung überfüllter Züge in den Spitzenzeiten können dazu beitragen, den Komfort zu erhalten.

Weiter ist die Tür-zu-Tür Gesamtreisezeit ein wichtiger Faktor bezüglich des Modalsplits. Um die Kundenattraktivität des Bahnsystems zu erhöhen, sollte eine Erhöhung der Reisegeschwindigkeit angestrebt und priorisiert werden.

Ein weiterer sehr wichtiger Aspekt zur Beeinflussung des Modalsplits ist der Takt. Hierfür sollte der 30 Minutentakt auch im ländlichen Raum sowie im Busverkehr der Mindeststandart sein, da insbesondere bei kurzen und mittellangen Verbindungen eine hohe Taktdichte sehr wichtig ist. Zudem ist eine bessere Synchronisation im öffentlichen Verkehr, sowie ein Angebot, welches die tatsächliche Nachfrage berücksichtigt, ebenfalls vorteilhaft.

Die Einflussgrößen der Fahrgastzufriedenheit und Verkehrsträgerwahl sind bereits gut erforscht und ergeben sich aus Kompromisslösungen zwischen langen Linien, den Umsteigevorgängen, den Taktfrequenzen, dem Fahrzeug- oder Infrastrukturbedarf, der Geschwindigkeit, der Zugänglichkeit und den Kosten. Die technologische Entwicklung des Eisenbahnsystems sollte darauf zielen, die Balance zwischen diesen Einflussgrößen zu verbessern. Hierbei sollten sowohl die technologischen Entwicklungen, die organisatorischen Entwicklungen (bessere Ressourcennutzung, optimierte Betriebskonzepte), sowie die nachfrageseitigen Massnahmen (Berücksichtigung der Nachfrage vom Ausgangspunkt bis zum Zielort) die Wünsche und Bedürfnisse der Kunden einbeziehen.

Im Zusammenhang mit der Nachfrage und Auslastung können Überfüllungsanzeigen (Prognosen, wie sie in einer einfachen Form schon auf der SBB-Fahrplan-App angezeigt werden) nützlich sein, den Kundenkomfort zu erhöhen. So wird der Kunde von hochausgelasteten Verbindungen gewarnt und kann sich für weniger volle Verbindungen entscheiden und durch den leeren Zug einen grösseren Komfort

geniessen. Daher hat auch eine Verbesserung der Überfüllungs- und Auslastungsprognosen einen Kundennutzen. Um die Grundlage für eine flexible Reisezeit zu ermöglichen, sind flexible Arbeitszeiten und Home-Office-Lösungen hilfreich.

Grundsätzlich ist es für die technologische Entwicklung der Eisenbahn nützlich, sich darauf zu konzentrieren, die Kernstärken des Eisenbahn- und des öffentlichen Verkehrssystems zu erhalten, sowie zu verbessern (die Bahn ist bspw. ein sicheres schnelles Landverkehrsmittel und kann dadurch die Tür-zu-Tür Reisezeit reduzieren). Aber es ist auch nützlich, die inhärenten Schwächen des Systems so weit wie möglich zu optimieren (bspw. das Umsteigen reduzieren). Durch eine gezielte Optimierung, sowie Nutzung der Potentiale der Bahn und eine Reduktion der Schwächen, ist es möglich die Kundenattraktivität zu steigern.

### **Fahrplanangebot und Netzdesign**

Die technologische Entwicklung der Eisenbahn erfordert nach wie vor eine genaue Planung zum optimalen Nutzen der knappen Ressourcen (Infrastruktur und Fahrzeuge). Im Fahrplan sollten Einflussgrößen, wie die Kundensicht (Verständlichkeit, Planbarkeit, Planungssicherheit) und die Verkehrsleistung (Taktfrequenz, Geschwindigkeit, Umsteigebeziehungen, Zugänglichkeit, Zuverlässigkeit) optimiert sein. Dabei ist es wichtiger, den Fahrplan an den Kunden und dessen Nachfrage zu orientieren, anstatt ihn einzig an der jeweiligen Verkehrsebene auszurichten.

In der Schweiz wurde viel in eine praktikable Umsetzung des Taktfahrplans investiert. Allerdings sollten zudem auch weitere Optionen, mit einer höheren Leistungsfähigkeit oder bspw. einer höheren Taktfrequenz (durch zusätzliche Züge auf ausgewählten Strecken bis hin zu einer U-Bahn-ähnlichen Zugfolge, sofern der Bedarf dafür vorhanden ist) betrachtet werden. Möglicherweise könnten solche Konzepte besser auf Nachfrageschwankungen eingehen, als ein starres, regelmässiges homogenes Angebot. In diesem Zusammenhang ist es wichtig, die nachfragebasierten Extrazüge den Reisenden möglichst frühzeitig mitzuteilen, damit diese damit planen können. Ein vollständig reaktives System, d.h. ein nachfragebasierter Fahrplan, welcher kurz vor der Abfahrt mitgeteilt wird, kann lediglich bei sehr hohen Taktdichten (bspw. 5 Minuten Takt) oder sehr spezifischen Einzelfällen nützlich sein.

Das heutige Bahnnetz entspricht der heutigen Nachfrage und kann in der jetzigen Form weiter gestärkt werden. Bei Kapazitätsengpässen können jedoch zusätzliche Gleise erforderlich sein. Im Falle weiterer Nachfrageentwicklungen oder zur Begünstigung der Nachfrageentwicklung, können weitere Strecken nützlich sein (insbesondere um dem Wachstum der Agglomerationen und dem Freizeitverkehr Rechnung zu tragen). Die heutige Nachfrage ist sehr stark mit den vorhandenen Verkehrsverbindungen gewachsen und konzentriert sich deshalb auf diese. Einer Kundennachfragesteigerung kann durch einen Ausbau in diesen Gebieten mit hoher Nachfrage nachgekommen werden. Es ist zu erwarten, dass eine grössere Änderung der Netzstruktur sehr hohe Kosten verursacht und sich zugleich über einen sehr langen Zeithorizont erstreckt. Der Mehrwert solcher Änderungen ist schwer abschätzbar (z.B. die Diskussion über das Croix Fédérale).

## **Automatisierung, Infrastrukturentwicklung und Kapazitätsverbesserungen**

Ein Teil des Bahnnetzes ist zu bestimmten Tageszeiten bereits sehr stark ausgelastet, sodass es am Kapazitätslimit betrieben wird. Andere Strecken werden in absehbarer Zukunft noch nicht ihr Kapazitätslimit erreichen, daher ist eine nachfrageorientierte Kapazitätserweiterung sinnvoll, welche die Wettbewerbsvorteile der Bahn (und des öVs), insbesondere im Agglomerations- und Fernverkehr enthält, nutzt und ausbaut. Kapazitätserweiterungen können durch ein Zusammenspiel der Automatisierung und dem Ausbau der Infrastruktur erfolgen. So kann bei einigen Strecken die Automatisierung des Betriebs die erforderliche Kapazitätserweiterung flexibel und schnell erbringen. Auf anderen Strecken, bei denen deutlich mehr Nachfrage als Kapazität besteht, sind in Zukunft Infrastrukturausbauten erforderlich. Lediglich zu einem Teil kann die Nachfrage durch aktive Beeinflussung verteilt werden (z.B. Verteilung der Nachfragespitzen und aktives Nachfragemanagement) um die verfügbare Kapazität über den ganzen Tag gleichmässiger zu nutzen.

Systeme für einen sicheren und leistungsfähigeren Bahnbetrieb (ATO, CCS, ...), sollten zum einen modular aufgebaut sein und zum anderen so konzipiert werden, dass sie schrittweise entwickelt, eingeführt und aufgerüstet werden können. Dabei bietet die Modularität meist den Vorteil, dass grossflächige Ausfälle im System verhindert oder zumindest schneller behoben werden können. Grundsätzlich sollte dabei neben den Kosten, die Systemleistung zur Erfüllung der Anforderungen und auch die langfristige Lebenszyklusperspektive (bspw. Upgrade-Fähigkeit) berücksichtigt werden.

## **Fahrzeug- und Infrastrukturressourcen und ihr Lebenszyklus; Bedarf an zusätzlichen Ressourcen, wie der Energie**

Bei der Eisenbahn haben die meisten Komponenten eine sehr lange Nutzungsdauer. Dies ist auf der einen Seite sehr gut für die Nachhaltigkeit und für die Abschreibungskosten. Auf der anderen Seite besteht aber die Problematik, dass Anpassungen an neue Anforderungen nur in sehr langfristigen Zeithorizonten umsetzbar sind. Die Technologie- und Ressourcenwahl sollte daher möglichst alle damit verbundenen Aspekte der Lebenszyklen umfassen (bspw.: Anschaffungs-, Betriebs- und Wartungskosten, erhöhter möglicher Verschleiss- und/oder Personalaufwand, Auswirkungen auf andere Komponenten, Systeme, sowie auf die Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems). Simulationen und digitale Modelle sind in sehr vielen Bereichen des Bahnsystems sehr nützlich um diese Aspekte quantitativ zu bewerten und die Komplexität zu beherrschen. Darüber hinaus sollten Systeme explizit dafür ausgelegt sein, dass es möglich ist, diese im Rahmen von Umbauten oder Refits an neue Anforderungen anzupassen. Diese Anpassbarkeit, Planung und Weitsichtigkeit ist notwendig, da das Bahnsystem in der Zukunft zum einen mit Ressourcenbeschränkungen konfrontiert sein kann und zum anderen aufgrund der langen Zeithorizonte der Kapazitätserweiterungen, Neubeschaffungen etc. auf schwankende schnell ändernde zukünftige Randbedingungen möglichst flexibel eingehen können muss.

## Güterverkehr

Der Güterverkehr hängt stark von der technologischen Entwicklung der spezifischen Unternehmensstrukturen, der Politik und der Finanzierung ab. Abgesehen von den zukünftigen technologischen Entwicklungen besteht viel Potential, derzeit existierende Technologien zu nutzen und einzusetzen (z.B. automatische Bremsprobe, automatische Kupplung, Funkfernsteuerung, direkte Be- bzw. Entladung über eine Querschiebevorrichtung<sup>67</sup>, RoLa<sup>68</sup>). Ebenfalls grosses Potential resultiert durch Verbesserungen bei der Infrastruktur, den Fahrzeugen, im Hardware- und Softwarebereich, dem Vertrieb (z.B. einheitlicher Ansprechpartner, Vertriebsplattformen) und der Organisation (Option eines flexiblen Transportvolumens - vom Minicontainer über Einzelwagen bis hin zu Ganzgüterzügen). Damit der Güterverkehr die Chance hat, die verfügbare Infrastruktur bestmöglich zu nutzen, ist eine bessere Integration in den Personenverkehr und in das Gesamtsystem durch entsprechende Geschwindigkeiten wichtig, welche durch Verbesserungen am Fahrzeug, den Betriebsvorschriften, der Planung und der Steuerung erreicht werden können.

Basierend auf den Aussagen der Interviews, liegt der grösste Handlungsbedarf des Güterverkehrs auf der ersten und letzten Meile. Daher muss vor allem der Güterumschlag verbessert werden. Dies ist zum einen durch die zunehmende Automatisierung der Abläufe möglich (automatische Kupplungen und Bremsproben, Funkfernsteuerungen, Rückfahrkameras, ...), zum anderen kann möglicherweise eine Integration in städtische Logistiklösungen (kleine Güterumschlagsanlagen, Consolidation & Distribution Centers, ...) oder das Integrieren in politische Lösungen, helfen.

## Normen, Zulassung und Sicherheit

Das System Eisenbahn weist eine sehr hohe Eigensicherheit auf und es ist wichtig die Eisenbahn auch weiterhin auf diesem Level zu betreiben. Sehr viele Experten aus allen Bereichen warnten während den Interviews jedoch vor aktuellen Tendenzen, welche zu einer Überregulierung führen können, wodurch nicht nur die Innovationsfähigkeit der technischen Weiterentwicklung leidet, sondern auch die Leistungsfähigkeit und Nutzbarkeit des Bahnsystems leiden kann. Es könne sein, dass dadurch der Betrieb immer aufwendiger, personalintensiver, sowie teurer werden kann. In diesem Zusammenhang wurde von den Experten verglichen, dass andere Verkehrssysteme (unter anderem auch Busse) und andere Lebensbereiche weniger starken Sicherheitsanforderungen unterliegen.

Es ist die schwere Aufgabe für die Aufsichtsbehörden eine sinnvolle, zielführende und gesamtheitliche verkehrssystemübergreifende Balance zwischen der Innovationsfähigkeit, der Leistungsfähigkeit, sowie der Nutzbarkeit und den regulatorischen Erfordernissen anzustreben.

---

<sup>67</sup> Erklärung: Hierbei handelt es sich um eine existierende schon im Einsatz befindliche etablierte Technologie, welches es ermöglicht Container zwischen einem LKW und einem Güterwagen quer zu verschieben, um einen Warenumschat ohne Kran an kleinen Umschlagstellen zu ermöglichen.

<sup>68</sup> Erklärung: «RoLa» ist die Abkürzung für die sogenannte «Rollende Landstrasse». Diese ist ein im Einsatz befindliches etabliertes System, welches mit speziell entwickelten Niederflurwagen den Transport kompletter Lastwagen auf der Bahn ermöglicht um damit den Verkehr auf der Strasse zu entlasten.

## Meterspurbahnen

Die schweizerischen Meterspurbahnen unterscheiden sich in vielerlei technischer und betrieblicher Hinsicht erheblich vom normalspurigen Eisenbahnsystem und ermöglichen es dadurch Gebiete zu erschliessen, welche mit Normalspurbahnen nicht oder nur sehr schwer und teuer erreichbar wären. Durch die vielen Unterschiede ist die Meterspur ein eigenes System, welches bei der Erstellung von Normalspurbahnnormen meist nicht berücksichtigt wurde. Aufgrund dieser anderen spezifischen Anforderungen ist der heutige Ansatz, dass die Meterspurbahnen eigene Normenwerke, Richtlinien und Lösungen haben, der zielführende Weg einen zukunftstauglichen und effizienten Meterspurbetrieb zu ermöglichen.

## Evolution und Revolution; Innovationen und deren Potential

Das Schweizer Bahnsystem ist in einigen Punkten vielen europäischen Ländern um Jahrzehnte voraus. Wenn die Schweiz wartet, bis andere Länder neue (vergleichbare) Technologien entwickelt haben, kann dies zum Stillstand bei der Weiterentwicklung des Schweizer Bahnsystems führen, was vermieden werden sollte.

Das Eisenbahnsystem ist auf Langfristigkeit ausgerichtet und hat lange Lebenszyklen, sodass Innovationseinführungen oft langsam erfolgen. Um die Innovationsakzeptanz im Bahnsystem zu erhöhen, ist es sinnvoll, zeitgleich möglichst viele verschiedene Innovationen parallel zu entwickeln, da es nicht ideal ist, nur auf eine oder wenige Grossentwicklungen zu setzen. Mögliche Innovationen können durch Studien, Prototypenentwicklungen, digital twins oder durch Simulationen bewertet und voran gebracht werden. Bei der Bewertung ist zu beachten, dass eine solche Umsetzung auch einen einschränkenden Faktor hat, da es sein kann, dass das volle Potenzial erst bei vollständiger Umsetzung genutzt werden kann. Die Frage, wer die Innovationsführung übernehmen sollte (beispielsweise Bahnunternehmen, Industrie oder Behörden), ist auf politischer Ebene zu beantworten.

Es wurden revolutionäre neue Systeme vorgeschlagen, einige Experten befürworteten diese, andere Experten warnten vor deren überschätzten Machbarkeit, den unterschätzten Kosten und den damit verbundenen Risiken. Beispielsweise ist die technologische Machbarkeit bei dem Hyperloop-System fraglich und die wirtschaftliche Machbarkeit muss beispielsweise beim System Cargo Sous Terrain überprüft werden. Schlussendlich sind Aspekte der Finanzierung, dem Nutzen und dem Erzielen des Endergebnisses wichtig.

Die Angabe von Zeithorizonten für die einzelnen Technologien wurde von vielen Experten abgelehnt und damit begründet, dass Entwicklungen sehr stark von den Rahmenbedingungen und dem Vorhandensein von qualifiziertem Personal abhängen. Daher ist es wichtig das Bahnsystem für die Zukunft flexibler zu gestalten. In der Zukunft werden wahrscheinlich einige Innovationen eingeführt bzw. müssen eingeführt werden (ETCS 2), welche teilweise zu einer Verringerung der Leistung führen. Bei neuen Entwicklungen sollte daher auch der Einfluss auf das Gesamtsystem stärker berücksichtigt werden. Es sollte keine Verbesserung bestimmter Prozesse (oder Akteure, EVU/ EIU) auf Kosten anderer Teilpro-

zesse/Akteure und der Gesamtleistung des Systems stattfinden. Einige einfache Innovationen, die offensichtliche Systemverbesserungen mit nur geringen Mehrkosten bewirken könnten, sollten durch Anpassungen in den Normen und Betriebsprozessen in ihrer Einführung unterstützt werden.

## 6 Anhang

### 6.1 Projektteam

#### **Michael Nold, Dipl.-Ing.**

Studium des Maschinenbaus am KIT Karlsruhe. Mehrfach beurkundeter Erfinder. Bisherige Tätigkeiten (Auswahl): Projektleitungen, Systemverantwortungsführung, Entwicklungsprojekte, Strategische Projekte sowie Innovationsmanagement. Bisherige Eisenbahningenieurstätigkeitsfelder (Auswahl): Bremssysteme, Fahrzeugbeschaffung, Fahrzeugleittechnik, Hilfsbetriebe, Prüfer- und Gutachtertätigkeiten, Unfalluntersuchungen, Simulationen, Spezifikationen, Traktionssysteme, Zugsicherungssysteme, Zulassung & Abnahmen.

#### **Beda Büchel, Dr., Msc ETH**

Studium der Bauingenieurwissenschaften an der ETH Zürich. Projektingenieur, Infrastructure Management Consultants GmbH. Wissenschaftlicher Mitarbeiter am IVT.

#### **Florin Leutwiler, MSc ETH**

Studium des Maschinenbaus an der ETH Zürich. Doktorand/wissenschaftlicher Mitarbeiter am IVT.

#### **Samantha Lotz, BSc ETH**

Studentische Assistentin am IVT.

#### **Alessio Daniele Marra, Dr.**

Studium der technischen Informatik an der Universität Roma TRE. Wissenschaftlicher Mitarbeiter am IVT.

#### **Francesco Corman, Prof. Dr. Ing.**

Studium der Informatikingenieurwissenschaften, sowie Management & Automation Ingenieurwissenschaften an der Universität Roma TRE. Promotion in «Real-time Railway Traffic Management». Diverse Projekte in der Forschung als Wissenschaftler sowie später als Assistenzprofessor und Senior Datenwissenschaftler in der Industrie. Seit 2017 Professor für Transportsysteme am IVT mit den aktuellen Forschungsschwerpunkten: Analytik, Optimierung und Überwachung von Transportsystemen, Öffentlicher Verkehr, Bahnnetze, Logistiksysteme.

## 6.2 Experten

Im Folgenden werden die Experten, welche an den Interviews teilgenommen haben, alphabetisch nach Nachnamen aufgelistet und kurz deren Expertise beschreiben.

### **Dirk Bödeker, Dipl.-Ing.**

Diplom-Ingenieur Elektrotechnik mit betriebswirtschaftlichem Zusatzstudium. 20 Jahre Erfahrung in der Bahnbranche in den Bereichen Infrastruktur, Fahrzeuge und Instandhaltung. Verantwortlich bei Siemens Mobility für die Digitale Transformation.

### **Jasmin Bigdon, B.Sc., MBA**

Bachelor-Studium in International Business, Master of Business Administration von der ESB Business School in Reutlingen. Managerin bei der Unternehmensberatung Arthur D. Little in diversen Strategieprojekten für europäische Unternehmen in der Automobil-, Mobilitäts- und Logistikindustrie. Heute ist sie die Leiterin Asset Management und Mitglied der Geschäftsleitung von SBB Cargo AG sowie Verwaltungsrätin bei SBB Cargo International.

### **Dirk Bruckmann, Prof. Dr.-Ing.**

Studium des Bauingenieurwesens. Fachspezialist für die Netzbedarfsentwicklung bei der SBB Cargo AG. Promotion an der ETH Zürich am Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme. Seit 2015 Professor an der Hochschule Rhein-Waal an der Fakultät für Kommunikation und Umwelt.

### **Renato Fasciati, Dr.**

Studium der Volkswirtschaft sowie Doktorat in der Universität St. Gallen. 2011 bis 2016 Geschäftsführer der Zentralbahn. Seit 2016 Direktor der Rhätischen Bahn. Seit 2020 Präsident des Vorstandes des Verbandes öffentlichen Verkehrs VöV.

### **Rob Goverde, Prof. Dr.**

Professor für Eisenbahnverkehrsmanagement und -betrieb am Department of Transport & Planning, TU Delft. Seine Forschung konzentriert sich auf die Planung und Steuerung von Schienenverkehrssystemen mit den aktuellen Schwerpunkten 1) belastbare fahrplan- und Kapazitätsplanung, 2) intelligentes Schienenverkehrsmanagement und Störungsmanagement, 3) energieeffiziente Zugsteuerung und automatischer zugbetrieb und iv) Eisenbahnsicherheit und Signalgebung.

### **Peter Güldenapfel, Dipl. Kulturingenieur ETH**

Langjährige Berufserfahrung in verschiedenen leitenden Funktionen im Bereich Fahrbahn und Geomatik bei der SBB. Seit 2013 beim Kompetenzzentrum Fahrbahn. Geschäftsführer des Kompetenzzentrums Fahrbahn. Dozent Mastervorlesung Eisenbahntechnik und -erhaltung an der ETH Zürich

### **Ingo A. Hansen, em. Prof. Dr.-Ing.**

Studium der Bauingenieurwissenschaften mit dem Schwerpunkt Verkehr und anschliessender Promotion an der (Technischen) Universität Hannover. Em. Professor für den Entwurf von Verkehrssystemen an der TU Delft, Niederlande mit den Fachgebieten: Funktionale und geometrische Trassierung, Verkehrssteuerung von ÖPNV-Systemen, Eisenbahnfahrplanung, Kapazitätsanalyse, Verkehrsmanagement und Simulation

### **Thomas Huggenberger, Dipl.-Ing.**

Studium Elektrotechnik ETH Zürich, 2006-2008 Entwicklungsingenieur Leistungselektronik, 2008-2011 Technischer Projektleiter Bahnantriebe, seit 2011 Produktmanager für Bahnantriebe, seit 2018 Leitung Produktmanagement im Bereich Antriebe für Retrofits und Spezialfahrzeuge

### **Dennis Huisman, Prof. Dr.**

Nebenberuflicher Professor für Public Transport Optimization am Econometric Institute der Erasmus School of Economics, Rotterdam. Seine aktuelle Forschung konzentriert sich auf den Betrieb der Forschungsmodelle und -techniken, welche die Planung und den Betrieb eines Eisenbahnunternehmens in Bezug auf komplexe logistische Fragen unterstützen können.

### **Matthias Landgraf, Dipl.-Ing. Dr. techn.**

Senior Scientist am Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrswirtschaft der TU Graz und lehrt in den Fachbereichen Gleisbau und Instandhaltung, Eisenbahnbetrieb und Anlagenmanagement Fahrweg. Seine Forschungsgruppe konzentriert sich auf die Themenbereiche „predictive maintenance and data analytics“, „environmental impacts of railway infrastructure“, „innovative materials and components within railway infrastructure“ und „alternative drives and efficiency in railway operation and maintenance“.

### **Marco Lüthi, Dr. sc. ETH, Dipl. Ing.**

Studium der Elektrotechnik und Informationstechnologie an der ETH Zürich mit anschliessender Promotion. 2011 bis 2018 Leiter Unternehmensentwicklung bei der Rhätischen Bahn, 2018 bis 2019 Leiter Infrastruktur der Sihltal Zürich Uetliberg Bahn, 2019 bis 2020 Direktor der Sihltal Zürich Uetliberg Bahn. Seit 2021 Direktor der Verkehrsbetriebe Zürich.

### **Johannes Pagenkopf, M. Sc.:**

Studium Betriebswirtschaftslehre an der dualen Hochschule FHW Berlin und Wirtschaftsingenieurwesen an der Technischen Universität Dresden. Von 2007 bis 2009 Projektkoordinator Einkauf bei Bombardier Transportation. Seit 2012 beim DLR-Institut für Fahrzeugkonzepte als Wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Fahrzeugsysteme und Technologiebewertung. Schwerpunkt der Arbeiten im Bereich neuer Technologien für Schienenfahrzeuge. Seit 2015 Gruppenleiter und Projektleiter für Schienenfahrzeugthemen.

### **Ishan Pendharkar, Prof. Dr.**

Studium und Promotion in Elektrotechnik. Berufserfahrung als Entwicklungsingenieur, Produktverantwortlicher und Fachexperte bei Bombardier, sowie Leiter Projektierungsgrundlagen bei Siemens. Seit 2019 Professor für Elektrotechnik am Institut für Elektrische Energietechnik an der Fachhochschule Nordwestschweiz. Seine Forschungsschwerpunkte umfassen die Regelungstechnik für Leistungselektronikanwendungen, Energiethemen in der Mobilität, Systemidentifikation und die mathematische Systemtheorie.

### **Magnus Kowol, Dipl.-Ing. (FH)**

Studium des Maschinenbaus. Seit rund 10 Jahren in verschiedenen Bereichen und Funktionen in der Eisenbahnbranche sowohl mit Meterspur- als auch mit Normalspurfahrzeugen. Dazu gehören das Fahrzeugengineering, die Instandhaltung sowie die Schweissaufsicht. Aktuell bei SBB Cargo.

### **Matthias Manhart, M. Sc.**

Studium der Elektrotechnik und Elektronik an der ETH Zürich. Seit 1994 Leiter der Abteilung Forschung, Entwicklung und Innovation bei der Sersa Maschiner Gleisbau AG.

### **Markus Meyer, Dr.**

Studium der Elektrotechnik und Promotion an der ETH Zürich. Anschliessend im Antriebssystemengineering für elektrische Lokomotiven bei Adtranz und Bombardier Transportation in Zürich Oerlikon. Seit 2003 Gründer und Teilhaber der emkamatik GmbH. Dozent für Eisenbahnsystemtechnik an der ETH Zürich.

### **Markus Montigel, Dr.**

Dissertation an der ETH Zürich in der Systementwicklung in den Bereichen Eisenbahnsicherung und -automatisierung (wie z. B. ELEKTRA, AF LBL, TAG). Langjährige Berufserfahrung in der Bahnindustrie und später in seiner eigenen Firma. Lehrtätigkeit an verschiedenen Universitäten. Aktuell Valifizierer/Verifizierer in TMS-Projekten der SBB.

### **Andrew Nash M'Eng and MCP**

Verkehrsplaner mit über 30 Jahren Erfahrung in Beratung, Regierung und Wissenschaft; Aktuelle Projekte konzentrieren sich auf die Integration von Informationstechnologie und Digitalisierung in multimodale Verkehrsplanung, -management und -betrieb, wobei er prototypische Anwendungen entwickelt, Forschungsarbeiten veröffentlicht und innovative neue Ideen zur Verbesserung von Verkehrsabläufen beigetragen hat.

### **Ingolf Nerlich, Dipl.-Ing. (FH)**

Ausgebildeter Lokführer mit mehrjähriger Erfahrung im Fahrdienst. Studium der Transporttechnik, des Maschinenbaus sowie der Schienenfahrzeugtechnik. Mess- und Versuchsingenieur bei Prose AG. Seit 2006 Systemingenieur für Querschnittsfragen der Fahrzeug-Fahrweg-Wechselwirkung und Systementwicklung im Bereich Predictive Maintenance (heute Schwerpunkt Rollkontaktermüdung) bei SBB Infrastruktur, Anlagenmanagement, Fahrbahn.

### **Nils Niessen, Univ.-Prof. Dr.-Ing.**

Studium des Bauingenieurwesens mit anschließender Promotion an der RWTH Aachen. Verschiedene Tätigkeiten als Projektingenieur und Geschäftsführer in der Industrie. Seit 2013 Professor für Schienenbahnwesen und Verkehrswirtschaft und Leiter des Verkehrswissenschaftlichen Instituts (VIA) der RWTH Aachen. Vorsitzender des Fachbeirats Bahntechnik des VDI. Direktor des Research Centers Railways der RWTH Aachen. Mitherausgeber der Eisenbahntechnischen Rundschau (ETR). Stellvertretender Sprecher der Vereinigung der Universitätsprofessuren des Eisenbahnwesens.

### **Egidio Quaglietta, Dr.ir.**

Assistenzprofessor für Eisenbahnverkehrsmanagement am Institut für Verkehr und Planung, TU Delft; Schwerpunkte liegen in den Bereichen fortschrittliche Simulationsmethoden, Bahnverkehrs- und Infrastrukturoptimierung, innovative Signaltechnik und automatisierter Bahnbetrieb.

### **Xiaolu Rao, Dr.**

Promotion im Bereich automatischer Zugbetrieb; Expertise in Zugautomatisierung und Verkehrsmagementsystem; Senior Project Manager SmartRail4.0 ATO.

### **Daniel Ritler, Dipl.-Ing.**

Seit rund 15 Jahren in verschiedenen Bereichen und Funktionen in der Eisenbahnbranche. Dazu gehören das Fahrzeugengineering, die Instandhaltung, die Infrastruktur und die Beschaffung von Rollmaterial. Jahrelange Erfahrungen sowohl mit Meterspur- als auch mit Normalspurfahrzeugen.

### **Steffen Schranil, Dr. sc. ETH Zürich / Dipl.-Ing. TU Dresden**

Studium der Verkehrsingenieurwesen mit der Vertiefung Planung und Betrieb elektrischer Verkehrssysteme an der TU Dresden. Promotion an der ETH Zürich im Bereich Bahnbetriebsforschung. Fachkader bei SBB Energie, Leiter Flottenmanagement bei SBB Cargo International. Leiter ATO bei Stadler. Seit 2019 Leiter Technik (Fahrzeuge, Infrastruktur und Betriebshöfe) bei den Städtischen Verkehrsbetrieben Zwickau.

### **Steffen Schmidt**

Schweizer Bundesbahnen AG. Leitung der internationalen SBB Projekte zur Weiterentwicklung und Standardisierung der Bahnsteuerung und Mitglied der Coregroup des System Pillars der Europe's Rail Joint Undertaking.

### **Oskar Stalder, El Ing ETHZ/Ing Reg SIA**

Verfügt über langjährige nationale und internationale Erfahrung in der Konzeption und Führung in den Bereichen: Strategiesetzung des Baus und der Erhaltung von Bahninfrastrukturen, bahnspezifische Planungs- und Betriebsprozesse einschliesslich der Fahrplan, Entwicklung von Eisenbahnfahrzeugen, Systemen zur Bahnbetriebssteuerung inklusive ERTMS/ETCS, Beratung von Bahnunternehmungen.

### **Robert Strietzel, M.Sc.**

Studium der Elektrotechnik und Informationstechnologie an der ETH Zürich. Ab 2014 als Software Engineer bei Adaptricity und Fachspezialist im Netzbetrieb von SBB Energie tätig. Seit 2020 in der Geschäftsentwicklung von SBB Energie für Energiestrategie und Innovationsmanagement zuständig.

### **Widar von Arx, Prof. Dr.**

Studium der Wirtschaftswissenschaften. Doktorat an der Universität St. Gallen. Seit 2011 Dozent und Leiter des Kompetenzzentrum Mobilität und Verkehr an der Hochschule Luzern Wirtschaft im Tätigkeitsbereich Angebotsentwicklung, strategisches Marketing, Regulierung, Freizeitverkehr, Management im öffentlichen Verkehr und Gestaltung von Prozessen in Transportunternehmen. Seit 2018 Mitglied des Verwaltungsrates der Basler Verkehrsbetriebe.

### **Ulrich Weidmann, Prof. Dr.:**

Studium der Bauingenieurwissenschaften mit anschliessender Promotion. Über 10 Jahre Berufserfahrung bei der SBB in verschiedenen Ingenieurs- und Führungsfunktionen. Professor für Verkehrssysteme an der ETH Zürich mit den Fachgebieten: Angebotsplanung, Betriebsplanung, Infrastrukturentwicklung und operativer Betrieb öffentlicher Verkehrssysteme. Aktuell Vizepräsident an der ETH Zürich und Lehrtätigkeit für Bahninfrastrukturen.

### **Gerhard Züger**

Studium Maschinenbau TS, Executiv MBA, Leiter Produktion und Rollmaterial der Zentralbahn. Leiter der VöV AGr ATO Meter-, Spezialspur/Tram, Langjährige Bahnerfahrung in der Fahrzeuginstandhaltung, als Lokführer, Stellwerktechnik, Prozess- und Sicherheitsmanagement

## 6.3 Detailliertes Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Details zur Methodik .....</b>	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>Expertenaussagen aus den Interviews .....</b>	<b>14</b>
<b>3.1</b>	<b>Automatisierung .....</b>	<b>14</b>
3.1.1	Hochautomatisierter Zugbetrieb.....	15
3.1.2	30 % mehr Züge auf derselben Infrastruktur .....	17
3.1.3	Moderne Signalanlage.....	18
3.1.4	Steuerung durch ein System .....	19
3.1.5	Weitere Aspekte.....	20
3.1.5.1	ATO Umsetzung.....	20
3.1.5.2	Automatisch erstellte Fahrpläne.....	20
3.1.5.3	Automatische Entgleisungserkennungssysteme.....	21
3.1.5.4	Automatisierung des Verkehrsmanagements.....	21
3.1.5.5	Cybersicherheit.....	21
3.1.5.6	ETCS.....	22
3.1.5.7	Fahrassistenzsysteme.....	22
3.1.5.8	Künstliche Intelligenz.....	23
<b>3.2</b>	<b>Infrastruktur- und Fahrzeugnutzung .....</b>	<b>24</b>
3.2.1	Geschwindigkeit & Reisezeitreduktion .....	24
3.2.2	30 % mehr Züge auf derselben Infrastruktur .....	27
3.2.3	Interoperabilität vs. Kapazitätserhöhung.....	28
3.2.4	Sitzplatzabstand .....	29
3.2.5	Weitere Aspekte.....	31
3.2.5.1	Baustellenbetrieb .....	31
3.2.5.2	Rad-Schiene & Drehgestelle.....	31
3.2.5.3	Drohnen.....	32
3.2.5.4	«Einfaches» Netzwerk.....	33
3.2.5.5	Fahrzeugbeschaffung & Fahrzeuginnovation.....	33
3.2.5.6	Lärm- und Vibrationsreduktion .....	34
3.2.5.7	Nachhaltigkeit durch Refite.....	35
3.2.5.8	Notbremsüberwachung .....	35
3.2.5.9	Oberbauwerkstoffe .....	36
3.2.5.10	Personentracking.....	36
3.2.5.11	Roboter.....	37
3.2.5.12	Streckensperrungskostenbeurteilung.....	37
3.2.5.13	Systembasierte Simulationen.....	38
3.2.5.14	Tunnelbau.....	38
3.2.5.15	Wälzlager.....	38
3.2.5.16	Zahnstangeneinfahrten .....	39
3.2.5.17	Zuggeschwindigkeitsbündelung .....	39

<b>3.3</b>	<b>Neue Materialien und Energielösungen .....</b>	<b>40</b>
3.3.1	Neue Materialien und digitalisierte Fertigungsprozesse .....	40
3.3.2	Motoren, Effizienz, Energiespeicher, Hybridantriebe .....	41
3.3.3	Condition Monitoring .....	44
3.3.4	Weitere Aspekte .....	45
3.3.4.1	Energieversorgung .....	45
3.3.4.2	Klimaanlage .....	45
3.3.4.3	Kurzschlusserkennung .....	46
3.3.4.4	Leichtbau .....	46
3.3.4.5	Smart Grids .....	47
3.3.4.6	W-Lan .....	47
<b>3.4</b>	<b>Neues Angebotsdesign und –steuerung .....</b>	<b>48</b>
3.4.1	Taktfahrplan .....	48
3.4.2	Dynamischer Fahrplan .....	49
3.4.3	Vernetzte Verkehrsträger .....	51
3.4.4	Kernnetz .....	52
3.4.5	Weitere Aspekte .....	54
3.4.5.1	Echtzeitinformationen .....	54
3.4.5.2	Resilienz in der Planung .....	54
3.4.5.3	Komfort .....	55
3.4.5.4	Kurswagen .....	55
3.4.5.5	Spurwechselfahrzeuge .....	56
3.4.5.6	Störungsmanagementsystem .....	56
<b>3.5</b>	<b>Güterverkehr .....</b>	<b>57</b>
3.5.1	Marktanteil (Güterverkehr) .....	57
3.5.2	Querverschiebevorrichtungen .....	57
3.5.3	<i>Verkehrsfluss</i> .....	58
3.5.4	Gemischte Züge und neue Ansätze .....	59
3.5.5	Weitere Aspekte .....	61
3.5.5.1	Automatische Bremsprobe .....	61
3.5.5.2	Automatische Kupplung .....	61
3.5.5.3	Container- und Güterwagentracking .....	62
3.5.5.4	Einzelwagenverkehr .....	62
3.5.5.5	Getrennte Infrastruktur .....	62
3.5.5.6	Integration in das Gesamtschienenangebot .....	63
3.5.5.7	Kapazitätsausnutzung der Nebenstrecken .....	63
3.5.5.8	Kapazitätsmanagement .....	63
3.5.5.9	Kombinierter Verkehr .....	64
3.5.5.10	Kühlwagen .....	64
3.5.5.11	Roboter .....	65
3.5.5.12	Scheibenbremsen .....	65
3.5.5.13	Verladestellen und letzte Meile .....	65
3.5.5.14	Vertrieb (Güterverkehr) .....	66

<b>3.6</b>	<b>Revolutionäre Systemänderungen</b>	<b>67</b>
3.6.1	Vakuumzüge	67
3.6.2	Gütertransportsysteme unter der Erde	69
3.6.3	Dynamischer Fahrgastwechsel, sowie dynamisches Kuppeln	70
3.6.4	Weitere Aspekte	73
3.6.4.1	Alternative Antriebsarten	73
3.6.4.2	Pods	73
3.6.4.3	Selbstantriebener Batteriebetrieb	74
3.6.4.4	Skalierung der Fahrzeuggrösse und Flotte	74
3.6.4.5	Spurbusse oder ähnliche Systeme	75
3.6.4.6	Weiterentwickelte Standseilbahnen & Peoplemover	76
3.6.4.7	Zweissystem-Stadtbahnen	76
<b>3.7</b>	<b>Themenübergreifende Aspekte</b>	<b>77</b>
3.7.1	Allgemeine Aspekte zur Innovation	77
3.7.2	Behindertengleichstellungsgesetz	78
3.7.3	Fachkräftemangel und fehlendes Know-How	78
3.7.4	Kosten	78
3.7.5	Normen und Zulassung	79
3.7.6	Planungs- und Zulassungsverfahren	80
3.7.7	Rolle der Schweiz gegenüber Europa	80
3.7.8	Rolle gegenüber dem Bus	80
3.7.9	Rolle gegenüber dem PKW	81
3.7.10	Rolle gegenüber dem Kunden	81
3.7.11	Sicherheit	82
3.7.12	STEP 2040	82
3.7.13	Tram	83
3.7.14	Trennung von Fahrzeug und Infrastruktur	83
3.7.15	Unternehmensübergreifende Zusammenarbeit	83
<b>4</b>	<b>Synopsis</b>	<b>84</b>
<b>5</b>	<b>Schlussfolgerungen und Empfehlungen</b>	<b>90</b>
<b>6</b>	<b>Anhang</b>	<b>96</b>
6.1	Projektteam	96
6.2	Experten	97
6.3	Detailliertes Inhaltsverzeichnis	101
6.4	Abbildungs- und Quellenverzeichnis	104
6.5	Quellen	105

## 6.4 Abbildungs- und Quellenverzeichnis

Abbildung 1 – Prozentuale Quantifizierungsübersicht der verglichenen Aspekte. In den inneren Kreissektoren wird der prozentuelle Anteil pro Bereich dargestellt. Im äusseren Kreis wird passend zum inneren Kreis dargestellt, wie häufig das jeweilige Potential vorhanden ist.....	7
Abbildung 2 – Übersicht der Expertenanzahl, welche zu den jeweiligen Themengebieten befragt wurden .....	11
Abbildung 3 – Quantifizierungsübersicht der verglichenen Aspekte. Im inneren Kreis wird die Anzahl der Aspekte pro Bereich dargestellt. Im äusseren Kreis wird passend zum inneren Kreis dargestellt, wie häufig das jeweilige Potential vorhanden ist. ....	84
Tabelle 1 – Übersichtsmatrix der jeweiligen Experten und den dazugehörigen Themenfeldern. Mit einem x sind die Kapitel gekennzeichnet, welche von dem jeweiligen Experten schwerpunktmässig und gezielt im Rahmen des Interviews behandelt wurden. Mit (x) sind die Kapitel gekennzeichnet, in diese Aussagen zugeordnet wurden, welche im Rahmen des jeweiligen freien Teils von Experten erwähnt wurden.....	10
Tabelle 2 – Übersichtsmatrix der Hypothesen (die Detailtexte der einzelnen Hypothesen sind in den jeweiligen Kapiteln dargestellt).....	11
Tabelle 3 – Übersichtsmatrix der Detailaspekte (die Texte der einzelnen Detailaspekte sind in den jeweiligen Kapiteln dargestellt).....	12
Tabelle 4 – Legende für die Tabelle 5, Tabelle 6, Tabelle 7 und Tabelle 8. ....	85
Tabelle 5 – Detailvergleich des Bereiches Angebot.....	86
Tabelle 6 – Detailvergleich des Bereiches Betrieb.....	87
Tabelle 7 – Detailvergleich des Bereiches Technologien Allgemein.....	88
Tabelle 8 – Detailvergleich des Bereiches Technologien Automatisierungen.....	89

## 6.5 Quellen

AVG Albtal-Verkehrs-Gesellschaft mbH (2015) Stadtbahn verbindet Stadt und Region Eine Idee aus Karlsruhe setzt sich durch

Ruhr (2021) Bevölkerung. Abgerufen am 04.11.2021 auf <https://www.rvr.ruhr/daten-digitales/regionalstatistik/bevoelkerung/>

TGV (2021) Ökologie: TGV Lyria ist Champion auf der Strecke. <https://www.tgv-lyria.com/ch/de/about-lyria/ecology>

VöV (2021) Perspektiven zur Erhöhung des Modalsplit des öffentlichen Verkehrs. [https://www.voev.ch/de/Service/content\\_?download=17986](https://www.voev.ch/de/Service/content_?download=17986)