

Programm Energiestrategie im öffentlichen Verkehr 2050
Programm Bahninfrastrukturforschung

Forschungsbeobachtung 2023 und Wissens-
landkarten



Markus Barth, Stabsbüro Forschung & Innovation
markus.barth@railcoach.ch, c/o Planair SA, Crêt 108a, 2314 La Sagne

Jean-Loup Robineau, Stabsbüro Forschung & Innovation
jean-loup.robineau@planair.ch, c/o Planair SA, Crêt 108a, 2314 La Sagne

Impressum

Herausgeberin:

Bundesamt für Verkehr BAV

Programm Umsetzung der Energiestrategie 2050 im öffentlichen Verkehr (ESöV 2050)

Programm Bahninfrastrukturforschung

CH-3003 Bern

Programmleiter:

Dr. Stefan Husen, BAV

Philipp Mosca, BAV

Projektnummer:

Bezugsquelle

Kostenlos zu beziehen über das Internet

www.bav.admin.ch/energie2050

[und/oder www.bav.admin.ch/forschung](http://www.bav.admin.ch/forschung)

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

Bern, den 21.09.2023

Inhalt

Glossar	2
Begriffsklärung.....	2
1. Ausgangslage	3
2. Ziele	3
3. Vorgehen	4
4. Ergebnisse der Untersuchungen ESöV 2050.....	8
4.1 Forschungsbeobachtung ESöV 2050.....	8
4.2 Entwicklungen ESöV 2050	11
4.3 Wissenslandkarten ESöV 2050	13
.....	13
5. Ergebnisse der Untersuchungen Forschung BIF	14
5.1 Forschungsbeobachtung	14
5.2 Entwicklungen Forschung BIF.....	15
5.3 Wissenslandkarten BIF.....	17
6. Fazit Forschungsbeobachtung und Wissenslandkarten (ESöV 2050 und BIF).....	18
7. Schlussfolgerungen und Empfehlungen.....	19

Glossar

Abkürzung	Erläuterung
ESöV 2050	Förderprogramm «Energiestrategie im öffentlichen Verkehr 2050»
Innovation RPV	Förderprogramm «Innovation im regionalen Personenverkehr»
Forschung BIF	Förderprogramm «Bahninfrastrukturforschung»
BIF	Bahninfrastrukturfonds
BAV	Bundesamt für Verkehr
BTE	Programm Bildung Technik Eisenbahn des VöV
FIA	Forschungs- und Innovationsausschuss
F&I	Forschung und Innovation
EVU	Eisenbahnverkehrsunternehmen
ERRAC	European Rail Research Advisory Council
TMS	Traffic management system
ADL	Adaptive Lenkung
vPRO	Optimiertes Fahrprofil
eBRT2030	European Bus Rapid Transit of 2030
ZeEUS	Zero Emission Urban Bus System
UITP	Union internationale des transports publics
UIC	Union internationale des chemins de fer
EBSF	European Bus System of the Future
3iBS	Intelligent, innovative, integrated Bus Systems project
LNG	Liquefied natural gas
LBM	Flüssiges Biomethan (liquified biomethane)
LCM	Life Cycle Management
DZFS	Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung
TTCI	Transportation Technology Center, Inc.
ATO	Automatic train operation
öV	öffentlicher Verkehr
HLK	Heizung, Lüftung, Klimatechnik
EIP	Espace interprogramme F&I des BAV
EU	Europäische Union
EPFL	Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne
ETHZ	Eidgenössisch Technische Hochschule Zürich
VöV	Verband öffentlicher Verkehr

Begriffsklärung

Angewandte Forschung:

Bei der angewandten Forschung handelt es sich um originäre Arbeiten, die zur Aneignung neuen Wissens durchgeführt werden, aber primär auf ein spezifisches praktisches Ziel oder Ergebnis ausgerichtet sind.

Innovation:

Eine Innovation ist ein neues oder verbessertes Produkt oder ein neues oder verbessertes Verfahren (oder eine Kombination von beidem), das sich merklich von den bisherigen Produkten oder Verfahren der Einheit unterscheidet und potenziellen Nutzern bereitgestellt wurde (Produkt) oder von der Einheit eingesetzt wurde (Verfahren).

Quelle: Bundesamt für Energie

Entwicklungen:

Die Forschungsbeobachtung richtet sich spezifisch auf einen ungefähren Zeitraum der vergangenen fünf Jahre. Als Entwicklungen wird hier verstanden, was schwergewichtig in diesem rückliegenden Zeitraum erforscht wurde. Mit Entwicklungen ist hier explizit nicht eine Extrapolation in die Zukunft gemeint.

1. Ausgangslage

Der öffentliche Verkehr spielt eine Schlüsselrolle zur Gewährleistung einer effizienten, leistungsfähigen, sicheren und umweltschonenden Mobilität. Diese Ziele können mit Unterstützung geeigneter Technologien wirksamer und kostengünstiger erreicht werden. Dazu ist es erforderlich, die technologischen Entwicklungen zu beobachten, zu beurteilen, zu fördern und zu implementieren. Aus diesem Grund investiert das BAV jährlich rund 10 Millionen Franken in die Forschungsprogramme Energiestrategie 2050 im öffentlichen Verkehr (ESöV 2050) und Bahninfrastrukturforschung (Forschung BIF) sowie in weitere Programme zur Förderung von Forschung und Innovation, beispielsweise das Programm «Innovation im regionalen Personenverkehr RPV».

Die drei genannten Programme haben ihre Forschungsschwerpunkte für die Periode 2021 – 2024 in vom Bundesrat verabschiedeten Forschungsprogrammen festgelegt. Seither hat sich die Forschung und Innovation in diesen Bereichen stark entwickelt. Sie werden getrieben durch die Wahrnehmung in der europäischen Politik und bei der zuliefernden Industrie, dass angesichts der ökonomischen und ökologischen Herausforderungen im öV ein Innovationsschub notwendig ist.

Vor diesem Hintergrund hat der Forschungs- und Innovationsausschuss (FIA) des Bundesamts für Verkehr (BAV) im März 2022 Massnahmen beschlossen, um im Rahmen der Möglichkeiten des Auftrags des Amts ein aktives Wissensmanagement in seinen prioritären F&I-Themen zu betreiben. Eine der prioritären Massnahmen dabei ist die Durchführung einer Forschungsbeobachtung.

Die Programmleiter ESöV 2050 und Forschung BIF haben im Dezember 2022 ihr gemeinsames Stabsbüro beauftragt, eine Forschungsbeobachtung in den Programmen Forschung BIF und ESöV 2050 zu konzipieren und durchzuführen sowie die Erkenntnisse in einer Wissenslandkarte darzustellen. Als Basis dafür diene der seit September 2022 durchgeführte Pilot zur Systemaufgabe Interaktion Fahrzeug/Fahrweg. Mit diesem Auftrag sollte mit verhältnismässig geringem Aufwand eine Übersicht gewonnen werden, an welchen relevanten Themen Forschungseinrichtungen in Europa arbeiten und wo diese geografisch verortet sind. Die Ergebnisse sollen mittels einer Wissenslandkarte visualisiert werden und für die Erarbeitung der zukünftigen Forschungsprogramme 2025 - 2029 genutzt werden. Über die Durchführung einer analogen Forschungsbeobachtung im Programm Innovation RPV wurde im Frühjahr 2023, auf Basis der Erkenntnisse für die Forschung in den Themenbereichen der Programme BIF und ESöV 2050 entschieden.

2. Ziele

Die Beobachtung der Forschung und Innovation im öffentlichen Verkehr dient dazu, einen Überblick über die nationalen und internationalen Forschungsentwicklungen zu erhalten, um

- Doppelspurigkeiten in der Unterstützung der Forschung und Innovation zu verhindern,
- sich abzeichnende Entwicklungen rechtzeitig zu erkennen und den interessierten Kreisen bereitzustellen sowie
- bei der Formulierung der Schwerpunkte der Programme für die Förderinstrumente ESöV 2050, Forschung BIF und Innovation RPV der Jahre 2025 – 2028 zu unterstützen.

In der Folge können aus der Forschungsbeobachtung die massgebenden Wissensträger erkannt und lokalisiert werden. Mit den erstellten Wissenslandkarten soll:

- die Bereitstellung der lokalisierten Informationen zum vorhandenen Wissen und den damit verbundenen Wissensträgern gewährleistet,
- das vorhandene Forschungs- und Innovationswissen pro Schwerpunktthemenbereich übersichtlich zugänglich gemacht sowie
- im Bedarfsfall eine vertiefte Suche (nach detailliertem Wissen aber auch namentlich bekannten Wissensträgern) ermöglicht werden.

3. Vorgehen

Allgemeines

Das Vorgehen stützte sich auf die Forschungsbeobachtung und die Wissenslandkarten aus der Systemaufgabe Interaktion Fahrzeug/Fahrweg Meterspur, welche als Pilot dienten. Diese Erkenntnisse ermöglichten es, erste Abschätzungen zum Aufwand und zu einem pragmatischen Vorgehen bei den beiden Programmen Forschung BIF und ESöV 2050 vornehmen zu können. Daraus konnten drei aufeinander aufbauende Module zum Vorgehen entwickelt werden, die den Programmleitenden ermöglichen, zielgerichtete Umsetzungsaufträge an das Stabsbüro zu erteilen.

- Das Modul «Mini» berücksichtigt ausschliesslich die Internetsuche nach Wissen und Wissensträgern.
- In der Variante «Midi» war zusätzlich vorgesehen, punktuell eine Überprüfung des Wissens mit Kontaktaufnahme vorzunehmen.
- Die Variante «Maxi» sah vor, zusätzlich zur Recherche gemäss Modul «Mini» alle Wissensträger zu kontaktieren das Wissen abzufragen (Interview) und ihre Expertise zu erfassen.

Die Programmleiter ESöV 2050 und Forschung BIF haben im Dezember 2022 das Stabsbüro beauftragt, die Forschungsbeobachtung (bis maximal Stufe Midi) durchzuführen und die Wissenslandkarten zu erarbeiten. Die Umsetzung im Programm Innovation RPV wurde vom EIP am 15. Juni 2023 beauftragt.

Vorgehen ESöV 2050

In Absprache mit dem Programmleiter wurde die bestehende Programmstruktur übernommen. Die bereits bekannten Forschungstätigkeiten im Bereich Busse, HLK, Schienenfahrzeuge und Schiffe wurden gesichtet und erfasst.

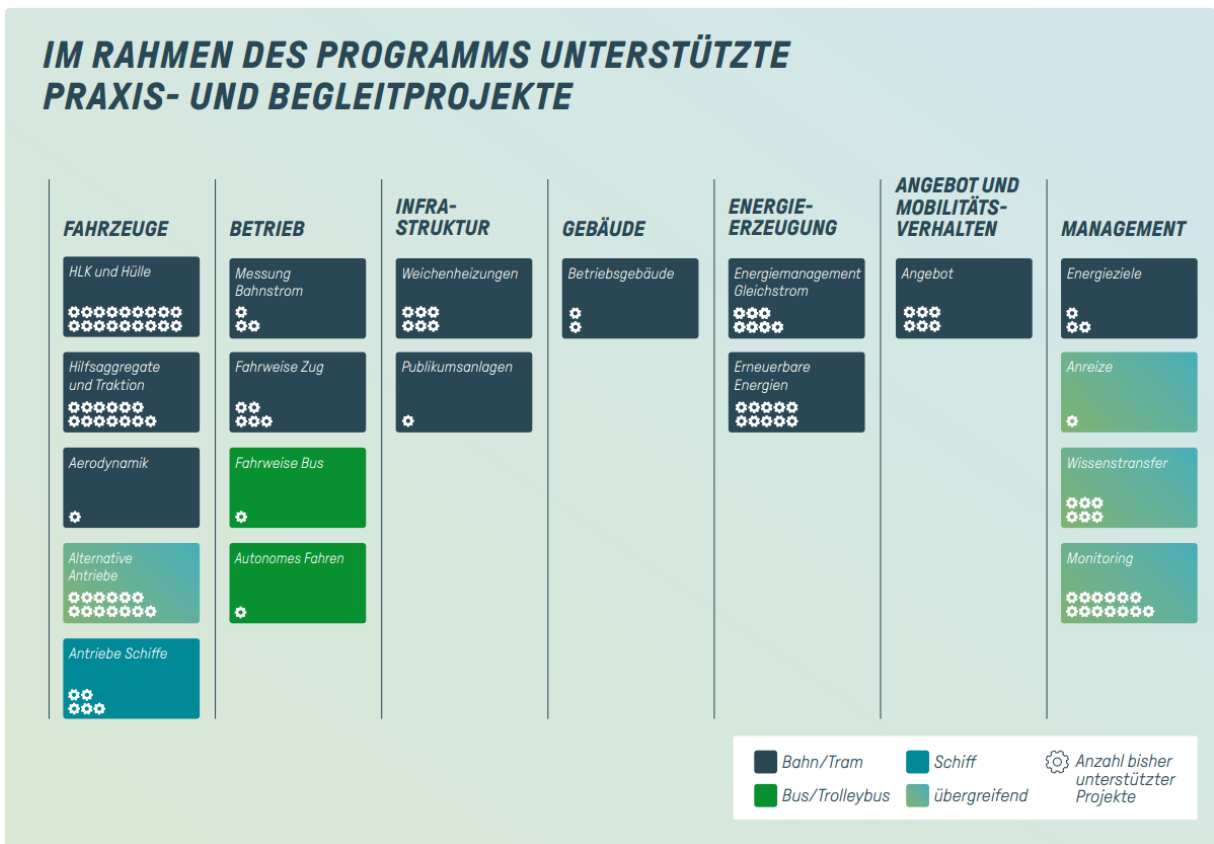


Abb. 1: Strukturierung Programm ESöV 2050, erster Ansatz für Forschungsbeobachtung ESöV 2050 (Quelle: Aktivitätenbericht 2021 ESöV 2050)

Die ersten Arbeiten zur Internetrecherche starteten mit der Erfassung der massgebenden Forschungsaktivitäten der EU. Ausgehend von den dabei beteiligten Instituten und Personen wurden Hinweise auf zusätzliche Forschungstätigkeiten oder Forschungsinstitutionen gewonnen. Indem diesen nachgegangen wurde, konnten wiederum zusätzliche, massgebende Akteure identifiziert werden. Die Effizienz der Suche wurde erhöht, indem der Fokus auf bereits existierende Forschungspartnerschaften zwischen öffentlichen Auftraggebern, Industrie und Transportunternehmen gelegt wurde. Dabei waren insbesondere auch die Aktivitäten der Industrie sehr wertvoll.

Die Arbeiten zur Erfassung der Forschungsbeobachtung ESöV 2050 haben gezeigt, dass die bestehende Struktur (Abb. 1) für die grundlegende, europaweite Betrachtung ergänzt werden sollte. Bei den Fahrzeugen sollte nach den bekannten öffentlichen Verkehrsmitteln (Mobilitätsform) weiter unterteilt werden. Der Bereich «Energieerzeugung» sollte erweitert werden um Speicherung und Transport.

Die im Bereich Bahninfrastruktur energierelevanten Themen, wie Automatisierung Bahnbetrieb (Anteil Forschung), Baustellenverkehr, Gebäude, etc. wurden in die Forschungsbeobachtung ESöV 2050 integriert und – um Doppelspurigkeiten zu vermeiden – dafür in der Beobachtung der Forschung BIF ausgeklammert.

Eine der grösseren Herausforderungen bei der Forschungsbeobachtung stellte die Breite der Themen im Programm ESöV 2050 dar, handelte es sich bei der Forschung doch vielfach um zukünftige Basistechnologien, die in den verschiedensten Bereichen des öffentlichen Verkehrs zum Einsatz gelangen können (zum Beispiel Batterien im schienengebundenen Verkehr, bei Bussen und Schiffen). Aus diesem Grund erfolgte die Zuordnung der Ergebnisse der Forschungsbeobachtung nach Basistechnologien und Verkehrsmitteln.

Die Ergebnisse der Forschungsbeobachtung ESöV 2050 wurden in einer Excel-Liste dokumentiert (Beilage 1). Im Hauptblatt wurden die Organisationen und ihre Tätigkeitsgebiete festgehalten, im zweiten Blatt die Forschungspartnerschaften respektive Forschungsprogramme. Ausserdem wurden die Einträge geografisch lokalisiert, die forschende Stelle benannt, die Zuordnung zu übergeordneten Themengebieten vorgenommen, die Einzelforschung verlinkt und wo möglich einem übergeordneten Forschungsprogramm zugeordnet.

Im Excel wurden folgende Daten erfasst:

- Name der Organisation
- Zuordnung ESöV / BIF
- Lokalisierung
- Webseite
- Organisationstyp
- Schlüsselbegriff
- Beschreibung
- Zuordnung zu einem Forschungsprogramm (sofern vorhanden)

Hieraus wurden die zurückliegenden Forschungsentwicklungen formuliert und die Wissenslandkarten erstellt.

Vorgehen BIF

Wie das Programm ESöV 2050 deckt auch der Bereich Forschung Bahninfrastruktur ein sehr breites Themenspektrum ab. Daher wurde im Vorfeld abgeklärt, ob die bestehende Strukturierung genügt, die an die Gliederung nach Bildung Technik Eisenbahn (BTE) des VöV angelehnt ist. Dies konnte bestätigt werden, wobei die Bereiche Digitalisierung, Sicherheit und Umwelt sowie Managementprozesse noch ergänzt werden mussten. Im Laufe der Arbeiten zeigte sich jedoch, dass sich die Forschungsaktivitäten mehrheitlich auf die technologischen Produktbereiche (Fahrbahn, Sicherungsanlagen, etc.) fokussieren und die erkannten, zusätzlichen Themen eine untergeordnete Rolle spielen.



Abb.2: Gliederung nach Bildung Technik Eisenbahn (BTE), Bild VöV

Im Übrigen folgte das Vorgehen jenem, das beim Programm ESöV 2050 gewählt wurde (siehe oben). Begonnen wurde ebenfalls bei den durch die EU ausgelösten und getriebenen Aktivitäten. Dank der etwas einfacheren Strukturierung konnte die Forschungsbeobachtung direkt nach Ländern und dann innerhalb dieser Länder nach Prozessschritten (Themengebieten) wie zum Beispiel Bahnbetrieb, Produkten, Instandhaltung, etc. durchgeführt werden. Auf dieser Basis konnten dann die Entwicklungen durch die rein numerische Betrachtung abgeleitet werden.

Die Gesamtübersicht der einzelnen Forschungen kann der Beilage 1 entnommen werden.

Im Excel wurden folgende Daten erfasst:

- Name der Organisation
- Zuordnung ESöV / BIF
- Lokalisierung
- Webseite
- Organisationstyp
- Schlüsselbegriff
- Beschreibung
- Zuordnung zu einem Forschungsprogramm (sofern vorhanden)

Der geographische Raum begrenzte sich generell auf Europa, ergänzt mit Kanada und den USA. Dies getrieben durch die Erkenntnis, dass im Bereich Bahninfrastruktur für die Schweiz dort durchaus interessante Forschungsergebnisse vorliegen und diese, anders als für China, vielfach im Netz erfassbar sind.

Über die Suche und den Einstieg bei bestehenden Forschungsportalen konnte die Effizienz der Forschungsbeobachtung deutlich erhöht werden. Insbesondere die Portale der EU, der Verbände, des deutschen Verkehrsministeriums, einzelner universitären Forschungspartnerschaften waren zu einer effizienten Erfassung sehr wertvoll.

Aus den Ergebnissen der Forschungsbeobachtung Forschung BIF mit den ermittelten Entwicklungen konnten die Wissenslandkarten erstellt werden.

Validierung

Um die Kenntnisse abzugleichen und die Ergebnisse (insbesondere die formulierten Entwicklungen) abzugleichen, wurden Validierungsgespräche durchgeführt. Die Entwicklungen aus der Forschungsbeobachtung als auch die Wissenslandkarten wurden im Fall ESöV 2050 mit SBB Energie und mit der Programmleitung ESöV 2050 einzeln durchgesprochen. Für Forschung BIF fand ein ausführliches Gespräch mit SBB Konzern (Unternehmensentwicklung) und SBB Infrastruktur statt. Für die Besprechung

der Ergebnisse in beiden Programmen wurde ebenfalls ein Treffen mit den Forschungsbeauftragten des VöV durchgeführt. Dabei wurde darauf hingewiesen, dass die Online-Bibliothekskataloge der ETHZ/EPFL zusätzliche Hinweise zu Forschungsarbeiten im Bereich Bahninfrastruktur geben könnten.

Die Erkenntnisse in den Hauptstossrichtungen wurden durch die Gesprächspartner mehrheitlich bestätigt. Der Vertreter SBB Infrastruktur verwies bei den Entwicklungen der Bahnautomatisierung auf den wichtigen Bereich des Traffic Management System (TMS). Hierbei stellt sich jedoch die Frage, ob die einzelnen Themen innerhalb dieses Gebiets noch als Forschung oder eher als Innovation zu verstehen sind.

4. Ergebnisse der Untersuchungen ESöV 2050

4.1 Forschungsbeobachtung ESöV 2050

Allgemeines

Die Forschungsbeobachtung ESöV 2050 hat rasch gezeigt, dass die nationalen und internationalen Aktivitäten grundsätzlich den Mobilitätsformen zugeordnet werden können. Wo verkehrsträgerunabhängig an Basistechnologien geforscht wird, können diese klar benannt werden.

Die erkannten Forschungen im Programm ESöV 2050 konnten fast vollumfänglich einer übergeordneten Initiative, meist einem EU-Programm/einer Forschung zugeordnet werden. Wo nicht durch die EU ausgelöst, sind meist Forschungspartnerschaften der Industrie (Produzenten oder Betreiber) die treibenden Kräfte.

Die wichtigsten Programme können der Beilage 1 (Reiter Programme/Portale) entnommen werden.

Schienegebundener öffentlicher Verkehr

Im schienegebundenen öffentlichen Verkehr wird die europäische Forschung im Zusammenhang mit Energieeffizienz vielfach an der Traktionsform (thermischer Betrieb) festgemacht. Insbesondere Innovationen im Bereich der Wasserstoffzüge aber auch der Batterieanwendungen auf Schienenfahrzeugen stehen in den Ländern der EU im Vordergrund (Standards, Rollmaterial, Versorgungseinrichtungen). Flankiert werden diese Bestrebungen durch Innovationen im Bereich der Elektrifizierung der Netze (z.B. Teilelektrifizierungen). Vielfach handelt es sich um Fragestellungen und Lösungsansätze, die im EU-Kontext vielversprechend sind, in der Schweiz aber wegen des hohen Elektrifizierungsgrads keine nennenswerten Forschungsaktivitäten auslösen. Treiber im EU-Raum sind auch hier die grossen, staatlichen Forschungsprogramme mit Beteiligung der Industrie (Alstom, Siemens, Stadler). In der Schweiz sehen wir hier Bestrebungen die angewandte Forschung bei den Antrieben des Rollmaterials im Bereich Baustellenverkehre und Nahzustellung von Gütern (elektrische Gleisbaumaschinen, Last-Mile-Lokomotive) zu vertiefen. Dies im Übergang zur Innovation.

Ausgeprägtere Forschungsaktivitäten in der Schweiz sind im schienegebundenen Verkehr mit den Untersuchungen zu Heizung/Lüftung/Klima sowie zur Energiebereitstellung und der Traktionsoptimierung festzustellen. Hier sind insbesondere die Arbeiten der Hochschule Luzern zu nennen, welche zum Teil über das Programm ESöV 2050 unterstützt und begleitet wurden. Im gleichen Bereich ist die RAIL TEC Arsenal in Wien tätig mit der dort vorhandenen grossen Klimakammer für Schienenfahrzeuge. Weiter stellen wir fest, dass auch SBB Energie sich hier zusammen mit der Industrie und einzelnen Eisenbahnverkehrsunternehmen im Bereich angewandter Forschung und Innovation bewegt.

Je mehr Menschen oder Unternehmungen Ökostrom selbst produzieren, desto mehr verschwimmen die Grenzen zwischen Stromerzeugern und -verbrauchern. Für die Energiewende werden «Prosumer» (Produzenten, die gleichzeitig Konsumenten sind) immer wichtiger. Diese Prosumerthemen kommen auch im öffentlichen Verkehr vermehrt in den Fokus der Forschung und Innovation, einerseits durch die vermehrte Verwendung von Photovoltaik im eigenen Betrieb (Busdepot oder Perrondächer), andererseits im Lastspitzenmanagement traditioneller Bahnstromsysteme, beispielsweise mit «Smart Grid» der SBB.

Eher am Rande dürften die Bemühungen um Einsparungen bei den Weichenheizungen liegen. In Europa sind in dieser Richtung keinerlei weitere Aktivitäten zu erkennen. Hingegen könnten zukünftig Windanlagen in den Rangierbahnhöfen zu diskutieren sein.

Zur Energieeinsparung liegen Hinweise auf eine Intensivierung der Forschung bei der Zuglaufoptimierung vor. Dies kann insbesondere in Form von Driver Assistance Systemen erfolgen, aber auch mittels integralen Traffic Management Systemen des schienegebundenen Bahnverkehrs (TMS/ADL/vPRO) erfolgen.

Busse

Die hohe Lebensfahrleistung von Bussen im öffentlichen Verkehr führt dazu, dass die Produktionsbelastung¹ von Elektrobussen pro Fahrzeugkilometer tiefer liegt als die von Autos. Damit dominieren die

¹ Bus-Antriebe im Vergleich: Eine Ökobilanz, Paul Scherrer Institut, VBZ, [Link](#)

ökologischen Vorteile dieser Busse im Betrieb viel stärker als bei Personenwagen und haben Vorrang bei der Umstellung auf Elektrobetrieb.

Viele Forschungsarbeiten befassen sich daher mit Elektroantrieben bei Bussen. Zu diesen Fahrzeugen gehören Batteriebusse und Brennstoffzellenbusse. Batteriebusse decken den Energiebedarf für die Fahrt aus einer Batterie, die am Stromnetz geladen wird. Im Rahmen des eBRT2030 (European Bus Rapid Transit of 2030) fördert die EU ein entsprechendes Projekt, welches im Bereich der elektrischen Mobilität als grösste Innovationsentwicklung im Busbereich betrachtet werden kann. Dieses beschäftigt sich mit vorausschauenden Betriebssystemen, innovativen Ladelösungen kombiniert mit Automatisierungs- und Konnektivitätsfunktionen sowie mit wirtschaftlich tragfähigen Geschäftsmodellen.

Brennstoffzellenbusse sind Elektrobusse, deren Energiebedarf für die Fahrt aus einer Batterie gedeckt wird, die durch eine mitgeführte Brennstoffzelle geladen wird. Die Reichweite von Brennstoffzellenbussen beträgt in Zukunft ca. 400 bis 800 km, so dass einmal tägliches Betanken ausreichen sollte. Wie bei Batteriebussen kann auch bei Brennstoffzellenbussen rund 70% der Energie von der Batterie in Bewegung umgesetzt werden. Geforscht wird hier massgeblich für den Überlandbereich.

Ein erheblicher Energieverlust erfolgt hingegen bei der Umwandlung von Strom zu Wasserstoff bei der Elektrolyse sowie von Wasserstoff zu Strom in der Brennstoffzelle im Fahrzeug. Zwar wird bei der Effizienz der Brennstoffzelle eine kontinuierliche Verbesserung erwartet, trotzdem wird der Energieverbrauch von Brennstoffzellenbussen immer deutlich über dem von Batteriebussen liegen. Die Kosten der Wasserstoffproduktion und der Brennstoffzelle selbst, vor allem auch im Zusammenhang mit der noch kurzen Lebensdauer, waren bisher das vielleicht grösste Hindernis für einen breiteren Einsatz. Hier wird weiter an den Verbesserungen geforscht.

Hinsichtlich alternativer Energien für den Antrieb von Bussen bewegen sich die Entwicklungen im Bereich der bekannten Innovationsthemen. Für den innerstädtischen Verkehr wird die «Brückentechnologie» der Lithium-Ionen-Batterie massiv gefördert. Die Forschungsaktivitäten liegen bei alternativen Batterien mit höherer Energiedichte und günstigeren Gestehungskosten. Von besonderer Bedeutung erachten wir hier die Batterieinitiativen auf europäischer, aber auch schweizerischer Ebene. Zu den Forschungen im Bereich der Batterietechnologien und Wasserstoff liegt eine Zusammenstellung (Beilage 2) vor.

Punktuell gibt es Innovationen im Bereich der Wasserstoffmotoren für Busse, also für einen Antrieb, bei dem Wasserstoff direkt als Treibstoff anstelle von Diesel eingesetzt wird. Sowohl Deutz als auch das Startup Keyou haben Wasserstoffmotoren zum Betriebseinsatz am Start.

Bemerkenswert ist die Erforschung von Bussystemlösungen, welche die gesamte Kette von Energiebereitstellung, Verwendung auf den Fahrzeugen bis hin zu betrieblichen Optimierungen umfasst. Dazu besteht ein EU-Programm namens ZeEUS (Zero Emission Urban Bus System), welches auf den Empfehlungen der UITP Bussystemprojekte EBSF und 3iBS basiert.

Erst nachgelagert, zu diesen Systembetrachtungen, werden Effizienzsteigerungen an Motoren, den Antriebssträngen, etc. angegangen.

In generellen Bereichen der öffentlichen Mobilität, insbesondere in städtischen Agglomerationen forscht das EU- Projekt SPIN unter Horizon Europe. Es handelt sich in erster Linie um alternative Mobilitätsformen, welche helfen sollen, die Klimaneutralität zu unterstützen.

Schiffsantriebe

Je nach Energiebedarf können in Zukunft Batterien, Wasserstoff oder in der Seeschifffahrt auch synthetische Kraftstoffe zum Einsatz kommen. Die Binnenschiffe sind langlebig. Das mittlere Alter der Binnenschiffsflotte liegt deutlich über denen anderer Verkehrsträger. Diese Besonderheit wird in einer Lebenszyklusanalyse oder „Ökobilanz“ grundsätzlich positiv bewertet, hat jedoch auch zur Folge, dass die Erneuerungsrate der Motoren als Haupteinflussfaktor für die Umweltbilanz gering ist. Die existierenden Motoren führen zu relativ hohen Emissionen von Stickoxiden und Feinstaub im Vergleich zu den anderen Verkehrsträgern. Die Motoren werden im Laufe eines Schiffslebens zwar erneuert, jedoch mit Zyklen von typischerweise 15 bis 20 Jahren viel seltener als im Straßentransport. Die kleinen Stückzahlen von Schiffsmotoren führen darüber hinaus zu längeren Produktzyklen und damit zusätzlich zu einer weiter verzögerten Verbreitung neuer Technologien.

In der europäischen Binnenschifffahrt wird LNG (liquified natural gas - Flüssigerdgas) bereits in einzelnen Projekten als Kraftstoff eingesetzt. Langfristig ist es denkbar, dass der bisher rein fossile Kraftstoff nach und nach durch LBM (liquified biomethane, teilweise auch als Bio-LNG bezeichnet) ersetzt wird.

Generell kann LNG nicht nur im klassischen Verbrennungsmotor eingesetzt werden, sondern auch als Wasserstoffquelle für eine Brennstoffzelle genutzt werden (in Verbindung mit einem sogenannten Reformer). So werden im Bereich der Kurzstrecken oder bei Hilfsbetrieben alternative Systeme eher ins Auge gefasst und erforscht. Seit 2015 wurde unter Horizon 2020 das E-Ferry Forschungsprojekt vorangetrieben, mit dem Ziel die CO₂-Emissionen durch elektrische Antriebe zu eliminieren. Der Anwendungsbereich ist auf einen Einsatzradius von rund 10 nautischen Meilen (rund 20 km) ausgelegt, womit dies für den küstennahen und Binnenverkehr eine interessante Alternative darstellen könnte.

Batterieantriebe in der Binnenschifffahrt werden vor allem für nicht-fließende Gewässer diskutiert, in erster Linie bei kleineren Schiffen auf kürzeren Distanzen. Auf Fließgewässern wie dem Rhein ist hingegen nach wie vor ein thermischer Antrieb erforderlich, was bedeutet, dass für einen fossilfreien Betrieb Wasserstoff und LMB die wesentlichen Optionen sind. Bislang sind Schiffe mit alternativen Antrieben eher die Ausnahme. Es wurden nur einzelne Fahrzeuge gebaut. Im Projekt [RH2INE](#) wird geplant, Containerschiffe mit Wasserstoff-Flaschenbündelspeicher zu betreiben.

Flugzeuge

Die Luftfahrt ist zwar im Programm ESöV 2050 nicht grundsätzlich ausgeschlossen, wurde aber bisher nicht betrachtet. Trotzdem sei hier ein Blick über den Tellerrand gewagt. Im Bereich des Flugverkehrs steht bei der europäischen Forschung vor allem die Reduktion des CO₂ im Vordergrund, obwohl auch Stickoxide und andere Emissionen zu betrachten sind. Ein essenzieller Baustein auf dem Weg zum CO₂-neutralen Fliegen wird strombasiertes, nachhaltiges Kerosin sein, sogenanntes PtL-Kerosin. Um diesen Flugkraftstoff industriell zu fördern, haben sich Politik und Wirtschaft in Deutschland auf eine gemeinsame PtL-Roadmap verständigt. Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt forscht in erheblichem Masse an der Industrialisierung der Prozesse. Mit PtL können auch die Stickoxidemissionen von Kerosin reduziert werden. Die für die Herstellung benötigte (grüne) elektrische Energie ist um ein Mehrfaches höher als bei direkter Verwendung des produzierten Stroms, da der Wirkungsgrad insgesamt sehr tief ist.

Energiebereitstellung Bahnen, Busse, Schiffe

In einem treibhausgasneutralen Energiesystem wird Strom aus erneuerbaren Energien zukünftig die wichtigste Energieform sein. Es wird zunehmend erneuerbarer Strom im Verkehrssektor eingesetzt. Im öffentlichen Verkehr wird dies auch bei angrenzenden Bereichen, wie den Gebäuden der Fall sein. Im Rahmen der sogenannten Sektorkopplung wird zum einen Strom direkt genutzt, z. B. durch Elektromobilität bei Bussen. Zum anderen kann erneuerbarer Strom in strombasierte Energieträger wie grünen Wasserstoff oder synthetische Energieträger (Power-to-Gas, Power-to-Liquid) umgewandelt werden. Das Potenzial zur Erzeugung des dafür erforderlichen Stroms liegt vorwiegend in der Photovoltaik. Insbesondere im Bahnbereich laufen entsprechende Versuche zur Innovation. Sie reichen von Flächenkraftwerken auf Bahngelände über den Einbezug der Perrondächer und Gebäude bis hin zu eher experimentellen Innovationen mit Solarzellen auf den Schwellen.

Bei der Energieübertragung von Strom aus erneuerbaren Energien wird der Schlüssel zur Netznutzung/Netzoptimierung in der Digitalisierung liegen. Das Beherrschen der unterschiedlichsten Netzzustände wird nur noch über diese Digitalisierung möglich sein. Angebot und Nachfrage müssen aus den Daten vorhergesagt werden, die durch jede Komponente des Energiesystems generiert werden. Die Sektorkopplung, also die Vernetzung von Strom-, Wärme- und Gasnetz, also auch dem Mobilitätssektor, ist eines der tragenden Elemente und wird daher vermehrt erforscht, um Lösungsansätze auf ihre Tauglichkeit zu überprüfen. Die Verbindung der verschiedenen Netze gilt als Königsweg für die Dekarbonisierung. Der öffentliche Verkehr ist hier ein wichtiger Player als Verbraucher aber auch ausgleichendes, stabilisierendes Element. Erkannte Forschungspartnerschaften sind die «[UTRA](#) – University Transformer Research Alliance» im Transformatorenbereich, sowie diverse Forschungsinstitutionen im «Smart-Grid»-Bereich (u. a. [Swissgrid](#), [SBB](#), [Fraunhofer Institut](#)).

Bei der Übertragung hoher Leistungen über grosse Distanzen werden die Vorzüge der Gleichstromübertragung mehr und mehr erforscht. Diese sind nach mehr als fünfzig Jahren praktischer Erfahrung im Hochspannungsbereich akzeptiert. Die Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ) gehört zum Stand der Technik. Jedoch können die Vorteile der Gleichstromübertragung nicht nur auf der Hochspannungsebene, also im Übertragungsnetz genutzt werden, sondern werden durch den Einsatz von hocheffizienten Leistungswandlern auch für den Mittelspannungsbereich, also im Verteilnetz, interessant. Forschungsanwendungen im wechselstromgetriebenen Bahnstrombereich sind zu vermuten,

konnten aber im Rahmen dieser Arbeiten nicht identifiziert werden. Im Bereich der damit verbundenen Komponenten ist das [Forschungszentrum HGÜ](#) der TU Dortmund von Interesse.

Im Bereich der Messtechnik des Energieverbrauchs wurden an den Schweizerischen Hochschulen zwei Akteure erfasst, nämlich die Uni Basel (Departement für Physik der Universität Basel) mit dem Projekt P-111 und die HSLU (Prüfstelle Gebäudetechnik) mit den Projekten P-033, P-098, P-159. Auf internationaler Ebene sind keine weiteren Forschungen erkennbar.

Im Bereich der Energiebereitstellung und Übertragung ist uns weiter die Versorgung von regionalen Elektrobussen als Potenzial in der Forschung aufgefallen (SBB Energie).

4.2 Entwicklungen ESöV 2050

Die Forschungsbeobachtung ESöV 2050 richtet sich spezifisch auf einen ungefähren Zeitraum der letzten rund fünf Jahre. Als Entwicklungen wird hier verstanden, was schwergewichtig in diesem Zeitraum erforscht wurde. Mit Entwicklungen ist hier explizit nicht eine Extrapolation in die Zukunft gemeint. Weiter zurückliegende Forschungen können unseres Erachtens nicht mehr der Rubrik Entwicklungen zugeordnet werden. Auch bei den Entwicklungen wurde nach den Mobilitätsformen und dem Querschnittsbereich der Energien unterschieden.

Im Rahmen dieser Untersuchung gilt als Entwicklung, wenn sich eine bestimmte grosse Mehrheit von Beauftragenden der öffentlichen Hand, von öV-Unternehmen, Universitäten oder der Industrie (relativ zu ihrer jeweiligen Gesamtzahl) einer bestimmten Verhaltensweise oder Entwicklung hinsichtlich Forschung und Innovation zugewandt hat. Entwicklungen weisen somit auf neuartige Fragestellungen, zunehmendes Interesse und stärkeres Engagement für Forschungsthemen oder innovative Fragestellungen hin.

Die Forschungsbeobachtung hat die folgenden Entwicklungen aufgezeigt:

Tabelle 1: Erkannte Entwicklungen nach Mobilitäts-/ Themengebiet

	Mobilitäts-/ Themengebiet	Ziel	Entwicklung 1	Entwicklung 2	Entwicklung 3
Mobilitätsform	Schienenverkehr	Einsatz von erneuerbaren Energien	Last-Mile Fahrzeuge Bahnau, Güterverkehr	Baustellenverkehr	Betrieb Infrastruktur (vor allem im Bereich Gebäude)
		Energieeinsparung	HLK	Automatisierung und Optimierung Bahnbetrieb	Bereitstellung/ Übertragung
	Busse	Dekarbonisierung	Batteriebetrieb	Alternativen zu Batteriebetrieb	Alternatives Angebots-/Verkehrsmanagement
	Schiffe	erneuerbare Energien	Batteriebetrieb	H2/ Brennstoffzelle/ Regenerative Treibstoffe	
Querschnittsbereich Energien	Batterien	Leistung/Energiedichte/Lebensdauer	Weiterentwicklung	Batteriemanagement	
	Wasserstoff	Leistung	Optimaler Einsatz der Brennstoffzelle	Optimale Herstellung H2 und alternative, regenerative	

				nerative Treibstoffe	
	Bereitstellung Energie	Erzeugung	Dezentrale öV- nahe Erzeugung, Photovoltaik		
		Übertragung	Smart-Grid (Prosumerma- nagement)	Hochspan- nungs- gleichstrom- übertragung (HGÜ)	Einsatz Bahn- stromnetze für Busladeinfra- struktur
		Betrieb	TMS/ADL/vPRO	HLK, Fahr- zeugkompo- nenten	

Schienerverkehr

Durch die Ausrichtung der europäischen Bahnen auf die Elektrifizierung als bewährte Technologie zur Dekarbonisierung ergeben sich in diesem Bereich keine Entwicklungen mit grossem Potenzial für den öV Schweiz. Am ehesten sind noch zu erwähnen die Forschungen im Bereich der Last-Mile und der Elektrifizierung im Baustellenverkehr. Leider wurden keine Hinweise auf die Erforschung der Dekarbonisierung bei der Bereitstellung der Bahninfrastruktur gefunden. Hier werden grosse Potenziale vermutet.

Bei den generellen Energieeinsparungen sind die internationalen, aber auch nationalen Bemühungen zum Vorantreiben der Automatisierung und Optimierung des Bahnbetriebs zur Energieeinsparung (nicht zu vergleichen mit Effizienz-/Wirtschaftlichkeitssteigerung) zu erwähnen. In der Bereitstellung und Übertragung sind verstärkte Forschungsaktivitäten erkennbar.

Busse

Im Busbereich gibt es einzelne Forschungsschwerpunkte im Bereich des Angebotsmanagements, welche in Richtung Verkehrsverminderung und Effizienzsteigerung im ländlichen Raum oder in Randzeiten gehen. Ansonsten fokussiert sich die Forschung primär auf die Reichweite, vorab der Batterien von Elektrobussen.

Schiffe

Für Binnengewässer mit Lademöglichkeiten liegt der Schwerpunkt für Seen und Küstengewässer beim Elektroantrieb mittels Batterie, in Fliessgewässern oder über längere Distanzen mittels Brennstoffzelle.

Batterien

Die Forschung soll innovative Batterien hervorbringen, welche nachhaltig und umweltfreundlich, kostengünstig und zudem hochleistungsfähig sind. Die Entwicklung neuartiger metallfreier Energiespeicher auf Polymerbasis eröffnen zukunftsreiche Anwendungsbereiche auch im öffentlichen Verkehr.

Wasserstoff

Kurzfristig wird Wasserstoff zuerst in jenen Sektoren zum Einsatz kommen, die unter einem hohen gesellschaftlichen Druck zur Dekarbonisierung stehen und einen hohen Energiebedarf aufweisen, also auch dem öffentlichen Verkehr. Hier sehen wir ein interessantes Potential in der Herstellung von Produkten der Bahnindustrie. Als Beispiel bieten sich ein Zug, Schienen, Beton an, die aus «grünem» Stahl/Beton hergestellt sind (Stahl/Beton produziert mit Hilfe von erneuerbarer Energie oder Wasserstoff). Eine weitere Anwendung wären wasserstoffbetriebene Busse auf längeren Strecken oder Anwendungsbereiche, wie im Moment in dem vom DLR geforschten Anwendungsbereich im Flugverkehr.

Auf längere Sicht wird die wasserstoffbasierte Produktion von Ammoniak und Treibstoffen auf Basis von synthetischen Kohlenwasserstoffen darüber hinaus auch die Dekarbonisierung der am schwierigsten zu transformierenden Sektoren ermöglichen, wie etwa Schifffahrt und Luftfahrt.

Bereitstellung Energie

In der Energiebereitstellung dreht sich die Forschung in erster Linie um die Herstellung von Strom aus Photovoltaik. Dabei haben die Unternehmen des öffentlichen Verkehrs mit den vorhandenen Flächen ein entsprechendes Potenzial. Weiter wird über die effiziente Verteilung und den Ausgleich von Leistungsschwankungen geforscht (Smart-Grid).

4.3 Wissenslandkarten ESöV 2050

Aus den Forschungsprogrammen und Forschungsarbeiten in öffentlichen Verkehr wurden die Wissens-träger und deren Standorte sowie Schwerpunkte zusammengetragen und auf Wissenslandkarten eingetragen.

Generell zeigt sich im Bereich Wissen/Forschungstätigkeit eine recht ausgeglichene Verteilung auf die Länder in Europa. Viele Programme werden zentral durch die EU oder die Industrie aufgesetzt. Die Rolle der Forschung in der Schweiz ist in Nischen sehr gut erkennbar, insbesondere bei Batterien für die Elektrifizierung von Schienenverkehr, Bussen und Schiffen.

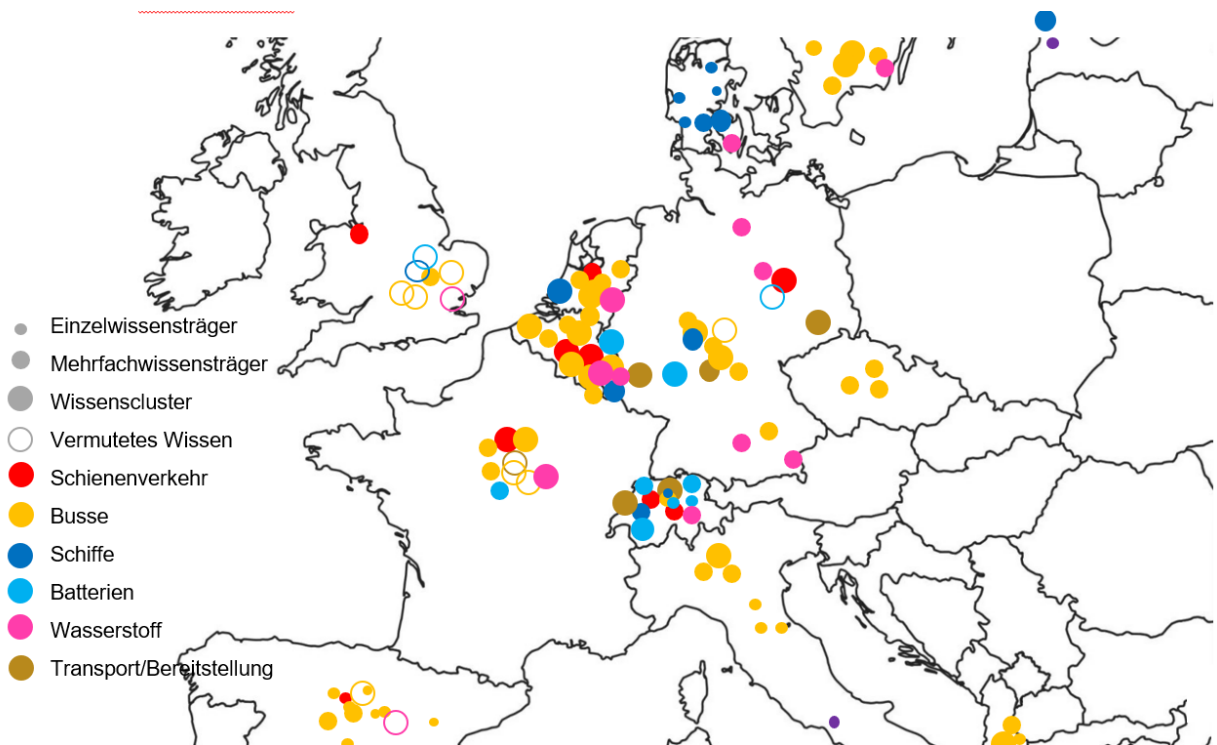


Abb. 3: Wissenslandkarte ESöV 2050 nach Schwerpunktgebieten/Entwicklungen

5. Ergebnisse der Untersuchungen Forschung BIF

5.1 Forschungsbeobachtung

Im Programm BIF wurde, wie beschrieben, die Forschungsbeobachtung nach Ländern und Themengebieten im Internet durchforscht. Heterogene Einzelaktivitäten mussten erfasst und zugeordnet werden.

Im Rahmen der Auswertung und Zuordnung konnten einige vorhandene Forschungsportale lokalisiert werden, welche einen guten Überblick bei der Forschung im Bereich Bahninfrastruktur geben. Weiter geben diese dem interessierten Suchenden die Möglichkeit weitere Forschungen zu erkennen und sich zu vertiefen.

Die massgebendsten Programme und Forschungsportale können der Beilage 1 (Reiter Programme/Portale) entnommen werden.

Bei der Forschungsbeobachtung der Bahninfrastruktur hat sich gezeigt, dass in den traditionellen Technologiebereichen der Bahninfrastruktur (Fahrbahn, Kunstbauten, Fahrleitung) die Forschungsaktivitäten in den letzten 20 Jahren stark abgenommen haben. Im Bereich neuerer Technologien, Verfahren und der Wirtschaftlichkeit (LCM) haben sich die Forschungen im europäischen Rahmen deutlich verstärkt. Auch wurden vereinzelt neue Forschungen, meist staatlich gefördert, injiziert. Besonders zu erwähnen sind die Nachfolgeprojekte von Shift2rail, die Programme rund um Europe's Rail der EU. Bei den einzelstaatlichen Forschungen sind die neuen, vielfältigen Aktivitäten um das Deutsche Zentrum für Schienenverkehrsforschung (DZSF) erwähnenswert. Auffällig ist, dass im französischen und italienischen Sprachraum kaum neuere Forschungen im Netz vorhanden sind. Ausnahmen bilden die Aktivitäten im Zusammenhang mit den laufenden EU-Programmen.

In England befassen sich diverse Universitäten mit der Bahninfrastrukturforschung. Die Initiativen scheinen oft historisch gewachsen oder durch das Engagement einzelner Dozenten getrieben. Koordiniert werden diese Tätigkeiten teilweise in der «Rail Research UK Association». Das Life Cycle Management, aber auch Themen der Instandhaltung der Infrastruktur und Publikumsanlagen erscheinen in verschiedenen Publikationen. Einige interessante Forschungen behandeln die Interaktionsthemen Fahrzeug/Fahrweg.

In der Digitalisierung vorne und damit auch in der Forschung involviert ist Deutschland. Dies ist nicht nur mit der «Digitalen Schiene Deutschland» der Fall, sondern auch in baunahen Bereichen mit BIM oder dem Infrastrukturmonitoring. Erwähnenswert sind die Bestrebungen der Politik, die Hochschulbildung und staatlich geförderte Forschung im Bereich Eisenbahn zu lenken. Der erst neulich erschienene Bericht des DZSF spricht Handlungsempfehlungen in Richtung der Geldgeber (Bund und Länder) aus.

Nicht im Fokus, aber stetig zunehmend sind die Forschungsaktivitäten in Österreich. Neben einer starken Bahninfrastrukturindustrie gewinnt auch die steigende Anzahl Lehrstühle im Eisenbahninfrastrukturbereich an Bedeutung, insbesondere am Standort Graz/Leoben (Steiermark). Im Verbund mit der Industrie und den Hochschulen entstanden Forschungsinstitutionen wie das «Virtuelle Fahrzeug» oder «AC2T», welche sich mit der Simulation der Interaktion und tribologischen Fragen beschäftigen.

Wie oben erwähnt sind mit reinen Internetrecherchen die Forschungsaktivitäten in Frankreich und Italien kaum zu ergründen, obwohl auch hier einige Recherchen stattgefunden haben und ein interessantes Potenzial vermutet wird. Die sprachlichen Hürden (wenig englischsprachige Veröffentlichungen aus diesen Ländern) können zusammen mit den fehlenden Netzwerken dazu beigetragen haben, dass die Ergebnisse wenig umfangreich sind. Zur Erschliessung der vorhandenen Forschungen und Innovationen sollten über persönliche Kontakte die notwendigen Informationen eingeholt werden.

Die Forschungsarbeiten um die TU Delft aber auch der Universität Rotterdam zeigen in Richtung Optimierung Bahnbetrieb (Kapazitäten) und der Gesamtwirtschaftlichkeit (LCM).

Die wenigen spanischen Forschungsergebnisse zeigen in Richtung Life Cycle Optimierung / Instandhaltungsoptimierung.

Die teilweise sehr starken Universitätsstandorte für Bahninfrastruktur im Osten Europas mit hoher Reputation sind in Auflösung begriffen oder auf Einzelinitiativen reduziert. Erwähnenswert sind noch die Standorte in der Tschechei (TU Prag) und Slowakei (Uni Zilina).

Zunehmend interessant sind die Aktivitäten der Bahnindustrie in den USA / Kanada (TTCI) sowie die staatlichen Initiativen in Kanada, welche sich auf die LCM-Themen des Fahrwegs und die Sicherheit des Bahnbetriebs fokussieren.

Die Aktivitäten in der Bahninfrastrukturforschung Schweiz beschränken sich mehrheitlich auf Lärm/erschütterung, Alternativen zu Glyphosat und die Beteiligung der SBB an europäischen Forschungsvorhaben.

Generell dürfte die von den europäischen Bahninfrastrukturleitern im Rahmen der ERRAC angestossene Forschungsbeobachtung (Start voraussichtlich Sommer 2023) ein zusätzliches, ergänzendes Bild zu vorliegendem Dokument geben. Aus heutiger Sicht stützt der Vertreter der SBB Infrastruktur die nachfolgenden Entwicklungen.

5.2 Entwicklungen Forschung BIF

Die Forschungsbeobachtung BIF richtet sich spezifisch auf einen ungefähren Zeitraum der letzten rund fünf Jahre. Als Entwicklung wird hier verstanden, was schwergewichtig in diesem Zeitraum erforscht wurde. Mit Entwicklung ist hier explizit nicht eine Extrapolation in die Zukunft gemeint. Weiter zurückliegende Forschungen können unseres Erachtens nicht mehr der Rubrik Entwicklungen zugeordnet werden.

Im Rahmen dieser Untersuchung gilt als Entwicklung, wenn sich eine bestimmte grosse Mehrheit von Beauftragenden der öffentlichen Hand, von öV-Unternehmen, Universitäten oder der Industrie (relativ zu ihrer jeweiligen Gesamtzahl) einer bestimmten Verhaltensweise oder Entwicklung hinsichtlich Forschung und Innovation zuwendet haben. Entwicklungen weisen somit auf neuartige Fragestellungen, zunehmendes Interesse und stärkeres Engagement für Forschungsthemen oder innovative Fragestellungen hin.

Die Forschungsbeobachtung hat die folgenden Entwicklungen aufgezeigt:

Fach- und Querschnittsthemen	Ziele	Entwicklung 1	Entwicklung 2	Entwicklung 3
Digitalisierung	Verfügbarkeit Wirtschaftlichkeit	BigData	BIM	Monitoring Infrastruktur
LCM	Wirtschaftlichkeit Verfügbarkeit	Integrales Assetmanagement	Instandhaltungsmanagement	Fahrweg
Automatisierung Bahnbetrieb	Kapazität, Verfügbarkeit, Wirtschaftlichkeit	ATO	Automatisierung Betriebsführung, TMS (Gesamtprozess)	Anlagendesign
Safety and Human Factors	Steigerung Sicherheit	Lokführerverhalten	Bahnübergänge	
Fahrbahntechnik	Wirtschaftlichkeit Verfügbarkeit	Schienen, Schwellen, Weichen	Unterbau	
Interaktion	Wirtschaftlichkeit	Materialienpaarung Rad/Schiene	Rad/Schienenprofile	
Lärmreduktion, CO2 Reduktion	Nachhaltigkeit	Lärm, Erschütterung	CO2 Themen in ESöV 2050	
Zugang zur Bahn	Sicherheit/ Kapazität/ Qualität	Personenfluss		

Tabelle 3: Erkannte Entwicklungen Forschung BIF

Digitalisierung Bahninfrastruktur

Generell wird der Digitalisierung der Bahninfrastruktur eine grosse Entwicklung vorausgesagt und die Forschung unterstützt. Ob eine echte, übergeordnete Forschungscoordination stattfinden wird und diese erfolgreich sein wird, ist noch offen. Ungeachtet dessen ist anzunehmen, dass alle erwähnten Entwicklungen in der Digitalisierung ein sehr grosses Potential in sich bergen. Insbesondere das Monitoring der Infrastruktur, in Verbindung BigData kann in den Bereichen Wirtschaftlichkeit und Verfügbarkeit die nächsten Meilensteine in der Forschung setzen.

LCM

Unter dem Kostendruck wirtschaftlich betreibbarer Bahninfrastrukturen entstehen immer mehr Forschungen, welche sich mit Teilgebieten (z.B. Instandhaltung) oder dem gesamten Lebenszyklus beschäftigen. Forschungsaktivitäten werden helfen, die grundsätzlichen Mechanismen zu verstehen und die grossen Treiber zu erkennen. Das Ziel sind Strategien zur wirtschaftlichen Gesamtoptimierung.

Automatisierung Bahnbetrieb

Die Automatisierung des Bahnbetriebs rückt als Gesamtprozess in den Fokus der Forschung. Ziel der Forschungen sind die Erhöhung der Anlagenkapazität und Steigerung der Qualität und Verfügbarkeit. Dabei ist zwischen angewandter Forschung und Innovation zu unterscheiden. Viele vermeintliche Forschungen befassen sich mit Innovationen. Die Forschungsentwicklungen umfassen prozessuale Themen, Verhaltensthemen Passagiere und Lokführer, die Hinderniserkennung, die Zugsortung, die Ressourcenbereitstellung und -optimierung.

Safety / Human Factors

Neben reinen Forschungen zu direkten Fragen der Sicherheit (z.B. Bahnübergänge) rückt zunehmend die Automatisierung bei den «Human Factors» in den Forschungsfokus. Das Zusammenspiel Mensch-Maschine soll sicher beherrscht werden. Hierzu müssen die massgebenden Einflussfaktoren bekannt sein, damit die Sicherheit bei zunehmender Automatisierung gewährleistet bleibt.

Fahrbahntechnik

Die Langlebigkeit der Fahrbahnprodukte ruft nach Erkenntnissen aus der Forschung, um weitere Optimierungen bei zunehmenden Belastungen erreichen zu können. Dies nicht nur im Bereich der Produkte, sondern auch bei Verfahren, dem Monitoring (oben erwähnt) und in der Interaktion

Interaktion Fahrzeug/Fahrweg

Eine zunehmende Anzahl Forschungsvorhaben befasst sich mit der Interaktion zwischen Fahrzeug und Fahrweg. Schwerpunktmässig sind hier Österreich und England traditionell stark unterwegs. Neu hinzugekommen sind nun auch die Arbeiten des TTCl in den USA und den Arbeiten der DZSF, sowie die BAV Systemaufgabe Interaktion Meterspur in der Schweiz.

Lärm/Erschütterung

Weiterhin ein Forschungsschwerpunkt in mehreren Ländern sind die Lärm- und Erschütterungsfragestellungen. Mit der zunehmenden Sensibilisierung und dem zunehmenden Verkehr steigen die Erwartungen und neue Forschungen werden wieder vermehrt in Auftrag gegeben.

Zugang zur Bahn

In der Forschung Zugang zur Bahn kann europaweit differenziert werden zwischen dem Fokus der Kundenbedürfnisse einerseits und Kapazitätsfragen andererseits. Die Forschungsfragen bewegen sich hier in einem breiten Feld bis hin zu Fragen der Personensicherheit, ausgelöst durch hohes Passagieraufkommen oder gesellschaftliche Veränderungen.

5.3 Wissenslandkarten BIF

Auf Basis der Forschungsbeobachtung konnten die beteiligten Wissensträger respektive Wissenscluster erkannt werden. Diese wurden nach Schwerpunktthemengebiet (meist übereinstimmend mit den Entwicklungen) den geografischen Örtlichkeiten (Ländern) zugeordnet.

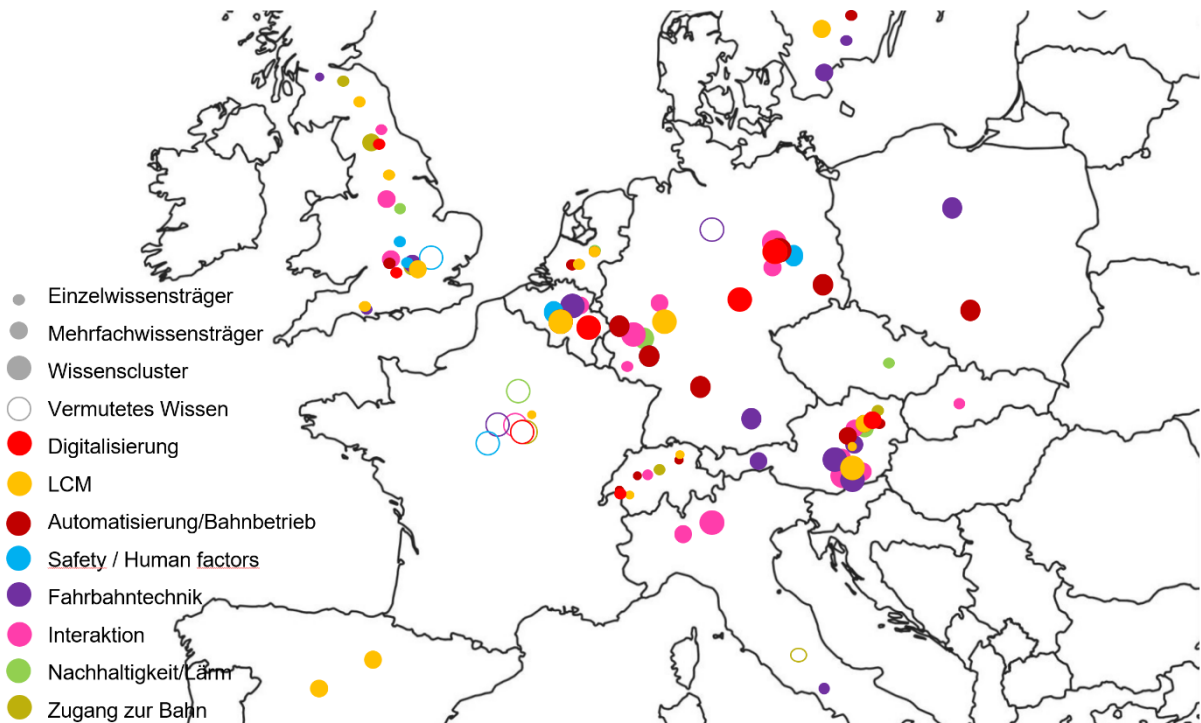


Abb. 4: Wissenslandkarte Forschung BIF nach Schwerpunktgebieten/Entwicklungen

Das Wissen und die Forschung in der Bahninfrastruktur ist vielfach stark zentriert auf die jeweiligen Industriestandorte und Universitäten, welche sich in spezifischen Fachthemenbereichen engagieren. Wir vermuten, dass Länder / Standorte mit starker Bahninfrastrukturindustrie auch Forschungsstandorte und damit Wissen anziehen. Ein zweiter, wachsender Effekt sind Forschungen im Bereich LCM in Ländern oder im Umfeld von Bahninfrastrukturen, welche relativ schlecht ausfinanziert sind und über Forschungserkenntnisse den Finanzbedarf zu senken versuchen (Belgien, Frankreich, England, Spanien, Deutschland). Generell fällt die schwache Forschungstätigkeit im Bereich Bahninfrastruktur in der Schweiz auf.

6. Fazit Forschungsbeobachtung und Wissenslandkarten (ESöV 2050 und BIF)

Die Forschungsbeobachtung (ESöV 2050 und BIF) konnte die nationalen und internationalen Forschungsentwicklungen erkennen und sich abzeichnende Entwicklungen formulieren. Damit konnten neuen Aktivitäten in der Forschung ausgemacht werden. Bei der Bahninfrastruktur sind dies die erwarteten Themen um die Digitalisierung und der Bahnautomatisierung, jedoch auch die neuen Entwicklungen in den Bereichen LCM, Human Factors, Interaktion und Zugang zur Bahn. Die Forschungsbeobachtung kann die Formulierung der Forschungsschwerpunkte in den Forschungsprogrammen 2025 – 2028 unterstützen und eine Diskussion zum Umgang der Branche mit der internationalen Forschung im Bahninfrastrukturbereich anstossen. Im Programm ESöV 2050 war die Breite der Forschungsthemen sehr gross und die Erfassung musste sehr stark fokussiert erfolgen. Trotzdem konnten die wichtigsten Entwicklungen für den öffentlichen Verkehr formuliert werden.

Aus den Forschungsbeobachtungen konnten die massgebenden Wissensträger erkannt und lokalisiert werden. Die Internetrecherche genügte in der Mehrheit der Fälle, nur punktuell musste auf vorhandene Netzwerke zurückgegriffen werden. Mit den erstellten Wissenslandkarten soll die Bereitstellung der lokalisierten Informationen zum vorhandenen Wissen und den damit verbundenen Wissensträgern in den Forschungsbereichen ESöV 2050 und BIF gewährleistet werden. Die Details der Forschungsbeobachtung sind in der Beilage 1 für ESöV 2050 und BIF in einem Excel ersichtlich. In der Excelbeilage sollen das vorhandene Forschungswissen, aber auch die Kontakte (Wissensträger) pro Schwerpunktthemenbereich effizient zugänglich gemacht werden und im Bedarfsfall eine vertiefte Suche (nach detailliertem Wissen aber auch namentlich bekannten Wissensträgern) ermöglichen.

Es hat sich gezeigt, dass eine erfolgreiche Suche im französischen und italienischen Sprachraum bei der Bahninfrastrukturforschung wohl mehr von guten Netzwerken abhängig ist als dies im Bereich ESöV 2050 der Fall ist. Dokumentierte, französische und italienische Forschungsaktivitäten beschränkten sich hier meist auf die Mitarbeit in Programmen der EU.

Mit einem rückblickenden Betrachtungszeitraum der Forschungen im Bereich Bahninfrastruktur über die letzten rund 5 Jahre scheinen sich zwei gegenläufige Tendenzen abzuzeichnen. Zum einen gehen die Forschungsaktivitäten in traditionellen Bahninfrastrukturthemen (Betrieb, Fahrbahn, Fahrstrom) zurück, zum anderen gewinnen die Bereiche neuer Technologien an Gewicht (Digitalisierung, BigData, BIM).

In den Themen des Programms ESöV 2050 ist eine generelle Zunahme der Forschungsaktivitäten wahrzunehmen, in erster Linie bei der Energiebereitstellung auf den Fahrzeugen (Bahn und Bus) und – etwas weniger ausgeprägt – in alternativen Antriebstechnologien.

Viele Forschungsaktivitäten werden von staatlichen Institutionen angestossen und finanziell unterstützt. Insbesondere die Forschungen aus dem Programm Horizon sind hier auf Ebene EU erwähnenswert. Im Bereich der Energie ist vermehrt auch ein Engagement der Industrie festzustellen, was im Bahninfrastrukturbereich nur vereinzelt der Fall ist.

Wo Aktivitäten der staatlichen Player, zusammen mit Industrie und Betreibern ersichtlich sind, kann festgehalten werden, dass auch die Forschung und Lehre an den Hochschulen und Universitäten vermehrt aktiv ist.

Im Bahninfrastrukturbereich sind die Forschungsaktivitäten im Generellen wenig ausgeprägt und insbesondere in der Schweiz gering. Initiativen in Österreich sind auf die Aktivitäten der Industrie zurückzuführen, in Deutschland auf das Engagement des Ministeriums für Verkehr, in England auf einzelne universitäre Initiativen.

Mit der starken Elektrifikation des Schienenverkehrs aber auch der fehlenden Strassenfahrzeugindustrie liegen die Schwerpunkte bei der Forschung in den Themenbereichen des ESöV 2050 in der Schweiz anders als im restlichen Europa. Die Forschung konzentriert sich hier zu Lande auf die Energiebereitstellung und Speicherung.

7. Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Aus der Forschungsbeobachtung in der Schweiz und Europa ergibt sich der Schluss, dass weiterhin eine vielfältige, interessante Forschungs- und Innovationstätigkeit stattfindet, schwerpunktmässig im Ausland. Diese Tätigkeiten und die damit verbundenen Entwicklungen haben für die öV-Branche generell eine hohe Relevanz und könnten diese in der Erreichung ihrer Ziele massgeblich unterstützen. Voraussetzung ist dabei ein einfacher Zugang zum vorhandenen Wissen (Wissensportale) sowie den Entwicklungen. Da in der Schweiz die öV-Zulieferindustrie nur punktuell vorhanden ist und nur wenige Hochschulen in diesen Bereichen tätig sind, ist die breite Behandlung von Forschungsfragen und ein einfacher Wissenstransfer zwischen der Industrie und den öV-Unternehmen erschwert. Umso wichtiger erscheint es, dass die interessierten Kreise aus der Schweiz heraus die Forschungsbeobachtungen periodisch durchführen und diese der gesamten Branche zugänglich machen. Wo es lohnenswert erscheint, ist ein vertieftes Engagement der Branche anzustossen. Die Erkenntnisse hieraus sollten ebenfalls der Branche zur Verfügung gestellt werden, um gleichzeitig den Wissenstransfer sicherstellen zu können. Damit werden Doppelspurigkeiten verhindert und die eigenen Ressourcen optimal eingesetzt. Eine gut ausgewogene Beteiligung der interessierten Kreise im europäischen Kontext kann, in den richtigen Bereichen eingesetzt, einen massiven Mehrwert für die Branche generieren. Das hohe Image des öffentlichen Verkehrs in der Schweiz und der dichte Verkehr, aber auch die teils schlanken Strukturen der Betreiber, sind sehr interessant für europäische Partner, welche ihre angewandte Forschung und ihre Innovationen überprüfen und implementieren wollen. Diese Ausgangslage gilt es geschickt zu nutzen um das massgebende, neue Wissen der öV-Branche Schweiz in geeigneter Form zukommen zu lassen und dabei den Wissenstransfer Europa – Schweiz nachhaltig zu unterstützen.

Empfehlungen:

- Die Resultate der Forschungsbeobachtung sollten der öV-Branche zur Verfügung gestellt werden. Dabei sind die erarbeiteten Resultate empfängergerecht bereitzustellen. Dabei sollte das generelle Vorgehen mit dem VöV abgestimmt werden. Der VöV sieht den grössten Mehrwert bei der Zusammenstellung der wichtigsten Portale zu den Wissensquellen. Ziel sollte dabei sein, mit den vorliegenden Resultaten einen Mehrwert für die ganze Branche zu erzielen und die Initialisierung eines periodischen Prozesses (alle vier Jahre) anzustossen.
- Zusammen mit dem VöV sollte geprüft werden, ob die Excel-Tabellen, in denen die Ergebnisse nach Fachthemen gegliedert dargestellt sind, weiterentwickelt und in geeigneter Form der Branche zur Verfügung gestellt werden können.
- Es stellt sich die Frage ob virtuelle oder physische Podien zu den einzelnen Programmen und Forschungsentwicklungen den BAV Mitarbeitenden und der Branche einen Mehrwert bieten würden.
- Die Forschungsprogramme BIF und ESöV 2050 sollten die erkannten Entwicklungen für die Formulierung der Forschungsprogramme 2025 – 2028 nutzen. Eine Forschungsbeobachtung erscheint in diesem Zusammenhang alle vier Jahre angezeigt, sollte es nicht gelingen mit dem VöV einen stetigen Prozess anzustossen.
- Im Bereich Bahninfrastrukturforschung sollte zusammen mit der Branche (TU, Industrie, Hochschulen) eine Strategie entwickelt werden, wie die Forschung im öffentlichen Verkehr in der Schweiz gestärkt, das Wissen um die Forschung in Europa importiert und Wissensträger in neuen Technologien angezogen werden können.