



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt,  
Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK  
**Bundesamt für Verkehr BAV**

# Einblick in die Forschung und Innovation im öffentlichen Verkehr

Berichtsjahr 2024

## Programme

Bahninfrastrukturforschung

Energiestrategie im öffentlichen Verkehr 2050

Innovation im öffentlichen Personenverkehr

sowie Ressortforschung Eisenbahnlärm und technische Neuerungen im Schienengüterverkehr

Durch die Förderung von Forschung und Innovation will das Bundesamt für Verkehr (BAV) erreichen, dass der öffentliche Verkehr (öV) und der Schienengüterverkehr noch effizienter, kundenfreundlicher und umweltschonender werden. Im Zentrum dieser Berichterstattung stehen dabei die Bahninfrastrukturforschung, das Programm Energiestrategie im öffentlichen Verkehr 2050 und die Innovation im öffentlichen Personenverkehr. Ausserdem sind Beiträge zur Ressortforschung Eisenbahnlärm und zu technischen Neuerungen im Schienengüterverkehr enthalten. Die vorliegende Publikation gibt einen Einblick in die Aktivitäten des vergangenen Jahres und stellt in Interviews einige an Forschungs- und Innovationsprojekten beteiligte Personen vor.

**Editorial** 4

**Einblicke in die Projekte** 6

Fossilfrei Schiff fahren mit Batterie und Wasserstoff.....6

Wie das Tram noch sicherer wird.....8

Auf Bergfahrt mit Bremsenergie und Solarstrom.....10

Die Umweltbilanz der Bahn kann noch verbessert werden.....12

Handydaten zur Verkehrsverlagerung nutzen.....16

Mehr Kilometer dank Antiblockiersystem.....18

**Die Menschen hinter den Projekten** 20

Prof. Dr. Denis Gillet, EPFL  
Digitalisierung: Schlüssel für die Entwicklung des öV.....20

Dr. Rowena Crockett, Empa  
Der Reibung auf der Spur .....24

Albin Gehrig / Thao Nhi La  
Ein faszinierendes Berufsfeld für junge Ingenieurinnen und Ingenieure.....28

**Kurz bemerkt** 32

Automatisches Auf-/ Abrüsten von Rollmaterial.....32

Erprobung eines Wasserstoff-Motors für Busse.....32

Der Umschlag von Aushub wird einfacher.....33

Fester Halt in weichen Böden .....33

Tunneltübbinge: nicht dicker als nötig .....34

Höhere Lärmemissionen bei Zügen in der Kurve.....34

Wie wird die feste Fahrbahn leiser? .....35

**Zahlen und Fakten** 36

**Die Programme** 40

Forschungs- und Innovationsförderung beim BAV.....40

Mitmachen.....42

# Editorial

Liebe Leserin, lieber Leser

In aller Bescheidenheit: Wir dürfen durchaus stolz sein auf unseren öffentlichen Verkehr. Sein dichtes Netz von Verbindungen erschliesst die ganze Schweiz und verbindet die Menschen miteinander. Das Zusammenspiel der verschiedenen Verkehrsträger und Leistungserbringer funktioniert mit einer Präzision und einem Komfort, um die man uns auf der ganzen Welt beneidet.

Allerdings erlauben es uns der steigende Mobilitätsbedarf und der zunehmende Kostendruck nicht, uns mit dem Erreichten zufriedenzugeben. Im Gegenteil müssen sie uns Ansporn sein, Verbesserungspotenzial aufzudecken und zu erschliessen. Dazu braucht es gezielte Forschung und Innovation.

In den klassischen technischen Säulen des öffentlichen Verkehrs wie der Infrastruktur, dem Fahrzeugbau und dem Betrieb können Forschung und Innovation helfen, Kosten zu sparen, das System sicherer zu machen und Umweltbelastungen zu vermindern. Sie finden in diesem Bericht viele spannende Beispiele dazu.

Darüber hinaus können Forschung und Innovation durch die Vernetzung verschiedener Bereiche neue Potenziale erschliessen. Im Gebiet der erneuerbaren Energie ist dies augenfällig, da Produktion, Verbrauch und Speicherung in ihrem Zusammenspiel betrachtet werden müssen, um einen optimalen Nutzen zu erzielen.

Demgegenüber liegt das Potenzial der Vernetzung bei den Datenwissenschaften noch weitgehend brach. Mithilfe künstlicher Intelligenz könnten bisher unerkannte Verbesserungen im Angebot, im Unterhalt und im Be-

trieb erzielt werden. Es ist anzunehmen, dass wir schon bald einen starken Zuwachs von Forschungsgesuchen in diesem Bereich sehen werden.

Das BAV ist bestrebt, ebenfalls einen Beitrag zur besseren Vernetzung zu leisten. Es führt deshalb die verschiedenen Forschungsbereiche unter einem gemeinsamen administrativen Dach zusammen, um die Prozesse und Regeln zu vereinheitlichen und zentral zu steuern. Auch wird künftig die Ressortforschung zum Eisenbahnlärmschutz unter fachlicher Führung des Bundesamts für Umwelt (BAFU) in die administrativen Prozesse unseres Amtes integriert.

Der wohl wichtigste Faktor für erfolgreiche und Wertmehrende Forschung und Innovation sind aber die Menschen. Es braucht kompetente, weitsichtige und vernetzt denkende Forscherinnen und Praktiker. In diesem Magazin lernen Sie einige davon kennen. Als scheidender Vizedirektor und Verantwortlicher für Forschung und Innovation beim BAV lade ich Sie ein, sich mit ihnen und anderen Leistungsträgern von Verkehr, Lehre und Forschung zu vernetzen. Nur gemeinsam wird es gelingen, den öffentlichen Verkehr der Zukunft zu entwickeln – mutig, kreativ und mit Leidenschaft.



**Dr. Rudolf Sperlich**

Vizedirektor Bundesamt für Verkehr (BAV)



“

Mithilfe künstlicher Intelligenz könnten bisher unerkannte Verbesserungen im Angebot, im Unterhalt und im Betrieb erzielt werden.

# Fossilfrei Schiff fahren mit Batterie und Wasserstoff

Der Ersatz von fossilen Treibstoffen gestaltet sich bei der Personenschiffahrt als anspruchsvoll. Unter anderem beschränkt das zulässige Gesamtgewicht der Schiffe die Kapazität des Batteriespeichers und somit die Reichweite. Das Nachladen ist wegen der kurzen Aufenthaltsdauer am Steg vielfach keine Option. Bietet Wasserstoff einen Ausweg?

Um es gleich vorwegzunehmen: Rein batteriebetriebene Schiffe gibt es. In der Schweiz verkehren beispielsweise die MS Ceresio auf dem Lago Maggiore und die MS Heimat auf dem Greifensee rein elektrisch (siehe Verweise auf weiterführende Links in der Randspalte). Wie Martin Einsiedler, Leiter Planung und Entwicklung beim Schifftechnikunternehmen Shiptec, ausführt, reicht die zur Verfügung stehende Batteriekapazität aber für grosse Schiffe mit langen Einsätzen und hoher Geschwindigkeit zuweilen nicht aus.

Er schlägt deshalb vor, dem Schiff eine zusätzliche Energiequelle in Form von Wasserstoff mitzugeben. In einer Brennstoffzelle wird daraus Strom erzeugt, mit welchem während der Fahrt die Batterie laufend nachgeladen wird. Mit diesem Range Extender wird die Autonomie des Schiffs vergrössert, sodass eine Batterieladung für den gesamten Tag ausreicht. Über Nacht, wenn das Schiff anlegt, kann die Batterie über das Stromnetz geladen werden. Je nach Einsatz wird alle zwei bis drei Tage Wasserstoff nachgetankt.

In der vom Bundesamt für Energie unterstützten Studie «Helios» wurde die grundsätzliche Machbarkeit dieses Konzepts bereits nachgewiesen. Die finanzielle Unterstützung des Programms ESöV 2050 hat nun den Weg geebnet, dass die Schiffahrtsgesellschaft Vierwaldstättersee (SGV) ihr Motorschiff Saphir gemäss diesem Konzept umbauen lassen kann. Das klingt allerdings einfacher, als es ist. Bis die MS Saphir wie geplant im Sommer 2026 erstmals lautlos

und emissionsfrei über den Vierwaldstättersee gleitet, ist noch einiges an Arbeit zu leisten.

Zunächst gilt es, das neue System zu designen. Es muss so ausgelegt werden, dass es den voraussichtlichen Energiebedarf im Einsatz als Kursschiff mit genügend Reserven abzudecken vermag. Gleichzeitig muss es kompakt genug sein, um im Schiffsrumpf Platz zu finden.

Das Konzept sieht vor, im vorderen Unterdeck eine Batterie mit einer Kapazität von 737 kWh unterzubringen. Im mittleren Teil des Rumpfes werden in einem separaten Raum vierzehn Druckflaschen für insgesamt ca. 100 kg Wasserstoff eingebaut. Daran schliesst sich in Richtung Heck ein Raum für die Brennstoffzelle an. Die bestehenden Dieselgeneratoren und der Treibstofftank werden ausgebaut. Der elektrische Antrieb hingegen bleibt bestehen, wird aber mit moderneren Komponenten ergänzt. Insgesamt erhöht sich die Verdrängung des Schiffs nach dem Umbau von 134 auf 151 Tonnen.

Die Brennstoffzelle wird während der Fahrt je nach Bedarf elektrische Energie für den Antrieb oder zum Nachladen der Batterie produzieren. Simulationen der geplanten Einsatzprofile zeigen, dass damit in der Batterie auch während der Tage mit der längsten Einsatzdauer immer eine Reservekapazität von mindestens 20% verbleibt. Die Wasserstofftanks müssen je nach Einsatz alle zwei bis drei Tage nachgefüllt werden.

## #ESöV 2050

#Schiff

#Fahrzeug

MS Saphir:



MS Heimat:



MS Ceresio:



Helios:





**Die MS Saphir mit Baujahr 2012 und einer Länge von 49 Metern verfügt über einen elektrischen Antrieb und drei Hybrid-Dieselelektrogeneratoren. Nach dem Umbau sollen eine Batterie und eine Wasserstoff-Brennstoffzelle die Energie liefern.**

Die Versorgung mit Wasserstoff ist dank einem neuen Projekt der H2Uri AG gesichert. Sie produziert in ihrem Werk in Bürglen mit überschüssiger Wasserkraft und Sonnenenergie Wasserstoff. Die Betankungslogistik ist allerdings noch offen; zurzeit prüfen Shiptec und die SGV sowohl die Anlieferung «just in time» als auch die Errichtung eines Hochdruckspeichers vor Ort.

Eine weitere Herausforderung bestand darin, dass es bisher kein Verfahren zur Zulassung eines Schiffs mit Wasserstoffantrieb gab. Deshalb vereinbarten BAV und Shiptec unter Beizug einer international tätigen Klassifikationsgesellschaft die Regeln für ein risikobasiertes Zulassungsverfahren. In einem zweiten Schritt nahmen sie gemeinsam eine gefahrenbasierte Risikoabschätzung vor, die sich auf ein in der Industrie bewährtes Vorgehen stützt.

Die Ökobilanz des Umbaus fällt positiv aus. Dank der Verwendung der Batterie sinkt der Dieserverbrauch um 73 500 Liter pro Jahr, was die CO<sub>2</sub>-Emissionen um rund 195 Tonnen reduziert. Auch unter Einbezug weiterer Faktoren wie der Wasserstoffproduktion, der Batterieherstellung und der Stromerzeugung spricht die Ökobilanz für den Wechsel auf das neue Energiesystem.

Für Martin Einsiedler hat das Projekt bereits jetzt wesentliche Erkenntnisse geliefert. Es hat gezeigt, dass sich die vielfältigen Anforderungen für den Betrieb einer Brennstoffzelle und die Speicherung von Wasserstoff auf einem Schiff lösen lassen. Auch wenn noch viel Detailarbeit notwendig ist, freut er sich bereits auf die ersten Testfahrten. Sie werden zeigen, ob das Konzept der Elektrifizierung mit Range Extender tatsächlich der Binnenschifffahrt die angestrebte Abkehr vom Dieselantrieb ermöglichen könnte.

**Bisher gab es kein Zulassungsverfahren für Schiffe mit Wasserstoffantrieb.**

# Wie das Tram noch sicherer wird

Die Trams der Zürcher Verkehrsbetriebe (VBZ) erbringen eine Transportleistung von rund 360 Millionen Personenkilometern pro Jahr, und dies zu einem grossen Teil im dichten, teilweise hektischen Verkehrsgeschehen in der Innenstadt. Dabei lassen sich bei allen Vorsichtsmassnahmen Unfälle nicht ganz ausschliessen. Die VBZ nutzen neuste Technologie, um die Zahl der Ereignisse weiter zu senken.



**Versuch zur Auslösung des Front-Airbags. Ebenfalls sichtbar ist ein zweiter Airbag unter dem Tram, der dem Schutz vor Überrollen dient.**

**#Innovation öPV**

#Tram

#Fahrzeuge

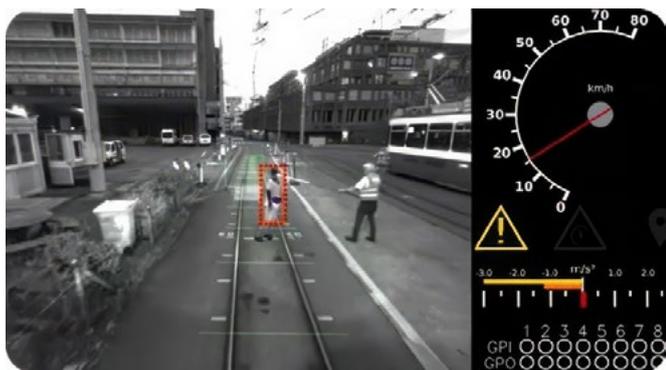
Weiterführende Angaben:



Das Tram ist ein sicheres Verkehrsmittel. Dies ist nicht selbstverständlich, ist doch insbesondere in Innenstädten der Verkehr dicht und komplex. Er erfordert vom Fahrpersonal vorausschauendes Fahren und hohe Konzentration.

Bei seiner Aufgabe wird es vermehrt von Assistenzsystemen unterstützt. Beispielsweise ist in den Flexity-Trams von Alstom, von denen bei den VBZ bis jetzt über 70 Fahrzeuge im Einsatz sind, ein System eingebaut, welches mittels im Führerstand angebrachter Kameras Objekte im Fahrweg erkennt und den Fahrzeugführer oder die Fahrzeugführerin rechtzeitig vor Gefahren warnt.

Bei Automobilen sind Objekterkennungs- und Kollisionswarnsysteme bereits weit verbreitet. In Zusammenarbeit



**Vom Fahrassistenzsystem aufgenommene echte Risikosituation. Die Aufnahme erfolgte während eines Tests im passiven Betrieb, d.h., das Fahrpersonal musste selbstständig reagieren. Im aktiven Betrieb wäre eine Auslösung des Front-Airbags erfolgt.**

mit Alstom arbeiten die VBZ daran, diese Technologie auch bei Trams einsetzen zu können. Ein Hauptziel dabei ist, eine für Vollbahnen entwickelte Plattform für den Einsatz auf Trams anzupassen.

Dieses Fahrassistenzsystem wird mit künstlicher Intelligenz darauf trainiert, Bilder des Fahrwegs, von Signalen und von Verkehrsteilnehmenden korrekt zu interpretieren. Die Daten aus verschiedenen Sensoren und Kameras können dann verwendet werden, um die effektive mit der signalisierten Geschwindigkeit zu vergleichen, die Stellung von Signalen zu lesen oder Objekte auf der Fahrbahn zu erkennen.

Für den Versuch wurde ein reguläres Flexity-Tram mit zusätzlichen Video-, Lidar- und Infrarotkameras sowie einem Radar ausgerüstet. Auf zahlreichen Versuchsfahrten wurden Daten gesammelt. Diese dienen dazu, das System mittels künstlicher Intelligenz zu trainieren und es dann zu testen. Dabei zeigte sich, dass die Erkennung von Objekten grundsätzlich funktioniert.

Der inzwischen beendete Pilotversuch hat nachgewiesen, dass das Fahrassistenzsystem in der Lage ist, einen Beitrag zur Vermeidung von Unfällen zu leisten. Insbesondere kann es Geschwindigkeits- und Fahrsignale identifizieren sowie Hindernisse erkennen und als Mensch bzw. Nicht-Mensch klassieren. Bei Bedarf gibt es dem Fahrpersonal eine Warnung. Handelt dieses nicht (z.B. durch Herabsetzung der Geschwindigkeit), reagiert das System selbstständig mit einer adäquaten Massnahme (z.B. Bremsung).

Die VBZ wollten aber noch einen Schritt weiter gehen. Wie Silvio Hochreutener, Projektverantwortlicher bei den VBZ, ausführt, sollten auch Verbesserungen für den Fall getroffen werden, dass sogar mit Fahrassistenzsystem ein Unfall eintritt. «Unser Augenmerk lag dabei auf Frontalkollisionen mit Fussgängern, die bisweilen tödlich verlaufen können. Wir überlegten uns, dass wir die Sensoren im Tram nicht nur zur Erkennung von Objekten nutzen

könnten, sondern auch zum frühzeitigen Auslösen eines Front-Airbags.»

Da Trams keine Front-Airbags haben, musste im Pilotversuch erst einer konstruiert werden. Mit einem zweiten Unterflur-Airbag sollte zudem verhindert werden, dass ein Unfallopfer vom Tram überrollt wird. Zudem musste das Fahrassistenzsystem so geschult werden, damit es möglichst spät, aber dennoch rechtzeitig den Airbag auslöst. Die Tests mit Dummies verliefen erfolgreich. Der Front-Airbag verhinderte bei Geschwindigkeiten von bis zu 30 km/h jeglichen Kontakt zwischen Körper und Tram, was die Wucht des Aufpralls wesentlich vermindert.

## **Mit Airbags und künstlicher Intelligenz können Häufigkeit und Schwere von Unfällen reduziert werden.**

Ammandip Duggal, Projektverantwortlicher bei Alstom, ist denn auch zufrieden. «Die Ergebnisse beweisen, dass wir mit künstlicher Intelligenz und den neuen Airbags die Häufigkeit von Kollisionen und deren Schwere vermindern können. Noch gibt es aber einiges zu verbessern, um das System flächendeckend anbieten zu können. Insbesondere möchten wir die Zuverlässigkeit der Objekterkennung verbessern und die Kosten für das Airbagsystem reduzieren – dann gibt es definitiv keinen Grund mehr, auf mehr Sicherheit zu verzichten.»

# Auf Bergfahrt mit Bremsenergie und Solarstrom

Bergbahnen sind prädestiniert für die Erzeugung erneuerbarer Energie. Sie können aus der Energie, die bei der Talfahrt beim Bremsen erzeugt wird, Strom gewinnen. Zusätzlich können sie die vielen Sonnenstunden nutzen, um auf den Dächern ihrer Bergstationen Strom zu erzeugen. Damit das Konzept aufgeht, braucht es genügend grosse Batteriespeicher und eine intelligente Anlagensteuerung.

Den Nachweis, dass eine Bergbahn einen grossen Teil ihres Energiebedarfs mit Rekuperation und Sonnenstrom decken kann, lieferte die Standseilbahn Biel-Magglingen. Das vom BAV geförderte Projekt aus dem Jahr 2020 (siehe Verweis unten) wies nach, dass dank der Rekuperation bis zu 80% der Bremsenergie gespeichert und anschliessend für die nächste Fahrt zur Verfügung gestellt werden kann.

Das von den Verkehrsbetrieben Biel (VB), den Firmen Garaventa und Frey Stans sowie der Hochschule Luzern durchgeführte Projekt umfasste die Installation eines Batteriespeichers und die Anpassung der Anlagensteuerung. Nachträglich kam eine Photovoltaikanlage auf dem Dach der Bergstation hinzu. Der Strom, den sie erzeugt, wird entweder direkt für den Betrieb verwendet oder in der Batterie gespeichert, sodass nur ein geringer Anteil ins Netz abgegeben werden muss.

Der Erfolg des Projekts der VB war ausschlaggebend dafür, dass sich die Compagnie de Chemin de Fer et d'Autobus Sierre-Montana-Crans (SMC) entschied, im Rahmen einer Gesamterneuerung der Standseilbahn von Sierre nach Montana ebenfalls auf die Speichertechnologie zu setzen.

Wie Hansueli Zeller, Elektroingenieur bei Frey Stans, ausführt, war gegenüber dem Projekt Magglingen der

**#ESöV 2050**

#Seilbahn

#Energieerzeugung

Crans-Montana:



Magglingen:



**Die Fahrt von Sierre nach Crans-Montana führt durch die steilen Rebberge.**





**Photovoltaikanlage auf dem Dach der Bergstation in Crans-Montana.**

## Die Anlage kann etwa einen Viertel der für die Seilbahn benötigten Energie erzeugen.

Speicher auf eine wesentlich höhere Leistung auszulegen, bedingt durch die grössere Höhendifferenz und die steilere Strecke. Ferner sollte die Produktion der – gegenüber Magglingen ebenfalls grösseren – Photovoltaikanlage gespeichert werden können. Und nicht zuletzt sollte die Batterie ausreichend dimensioniert sein, um den Dieselgenerator für die Notstromversorgung zu ersetzen. Dem Projekt kam zugute, dass inzwischen neue Hochleistungsbatterien für Eisenbahnanwendungen auf dem Markt sind. Diese sind in der Lage, die beim Bremsen entstehenden Leistungsspitzen aufzunehmen und umgekehrt beim Anfahren in kurzer Zeit eine hohe Leistung zur Verfügung zu stellen. Die Batterien mussten in einen Schaltschrank eingebaut und mit einer Steuerung und einer Kühlung ausgerüstet werden. Die Steuerung wurde so programmiert, dass jeweils möglichst viel Energie aus der Photovoltaikanlage und der Rekuperation im Betrieb verwendet werden kann und nicht ans Netz abgegeben

werden muss. Um die beim Laden der Batterien entstehende Abwärme abzuführen, wurde eine Wasserkühlung installiert. Das erwärmte Wasser wird im Winter zur Beheizung der Passagierbereiche genutzt.

Die Anlage ging 2022 in Betrieb. Die inzwischen vorliegenden Betriebserfahrungen zeigen, dass sich die Lösung bewährt. Die Anlage funktioniert sehr zuverlässig und kann über das Jahr gesehen etwa einen Viertel der gesamten für das Fortbewegen der Seilbahn benötigten Energie selbst erzeugen. Allein damit wäre das Projekt zwar noch nicht rentabel. Hingegen konnte dank dieser Lösung auf die Anschaffung eines neuen Dieselgenerators für den Notantrieb sowie die damit verbundenen Kosten für eine Lüftung verzichtet werden.

Das System wird inzwischen auch bei anderen Bahnen angewendet, so bei den neuen Luftseilbahnen zwischen Stechelberg, Mürren und dem Schilthorn. Auch dort spielte die Möglichkeit, dank der Batterie auf die Installation eines Generators für den Notantrieb verzichten zu können, eine wichtige Rolle beim Investitionsentscheid. Beim Projekt Neubau Schilthornbahnen kann zudem dank dem Einsatz des Energiespeichersystems auf einen markanten Ausbau der gesamten Energieversorgung der Region verzichtet werden.



	<b>Magglingen</b>	<b>Crans-Montana</b>
Höhe Talstation	433 m ü.M.	544 m ü.M.
Höhe Bergstation	877 m ü.M.	1477 m ü.M.
Nominale Energie Batterie Energiespeichersystem	67 kWh	120 kWh
Maximale Leistung Energiespeichersystem	67 kW	400 kW
Maximale Leistung PV-Anlage	45 kWp	66 kWp
Jahresstromverbrauch Seilbahn (geschätzt)	175 000 kWh	630 000 kWh
Jahresproduktion Bremsenergie (geschätzt)	49 000 kWh	70 000 kWh
Jahresproduktion PV-Anlage (geschätzt)	45 000 kWh	79 200 kWh

# Die Umweltbilanz der Bahn kann noch verbessert werden

Die Bahn gilt als umweltschonendes Verkehrsmittel. Der Bau der Bahninfrastruktur belastet indes das Klima und die Umwelt. Eine Studie hat diese Umweltauswirkungen für den Schweizer Kontext beziffert. Die gute Nachricht: Es bestehen konkrete Ansatzpunkte, um zukünftig die Umwelt zu schonen.

Der Betrieb der Schweizer Eisenbahnen hat im Vergleich zu anderen Verkehrsarten nur geringe Auswirkungen auf Umwelt und Klima, der Bau der Bahninfrastruktur hingegen belastet sie nicht unerheblich. Das BAV hat eine Studie beauftragt, um diese Effekte für den Schweizer Kontext zu bilanzieren.

Dabei ist es wichtig, nicht nur die heutige Umwelt- und Klimabilanz des Baus von Bahninfrastrukturen zu kennen, sondern auch abschätzen zu können, wie sich diese künftig entwickelt und wie sie sich verbessern lässt. Nur so ist es möglich, eine faktenbasierte politische Diskussion über Ausbauprojekte zu führen, die erst in zehn bis dreissig Jahren umgesetzt werden.

Mit der Studie haben die Firmen Carbotech, Infrac und EcoExistence im Auftrag des BAV diese Lücken geschlossen. In einem ersten Schritt haben sie für die wichtigsten Infrastrukturelemente und -anlagen die heutigen Treibhausgasemissionen und Umweltbelastungen bestimmt. Damit lässt sich nun beispielsweise für einen Fahrleitungsmast, eine Bahnschwelle, ein Perron, eine Personenunterführung, eine Brücke oder ein Tunnel sagen, wie

stark deren Bau das Klima und die Umwelt belasten. Indem die verschiedenen Elemente kombiniert werden, ist auch eine Aussage für das gesamte Bahnnetz oder einen durchschnittlichen Kilometer Bahnstrecke möglich.

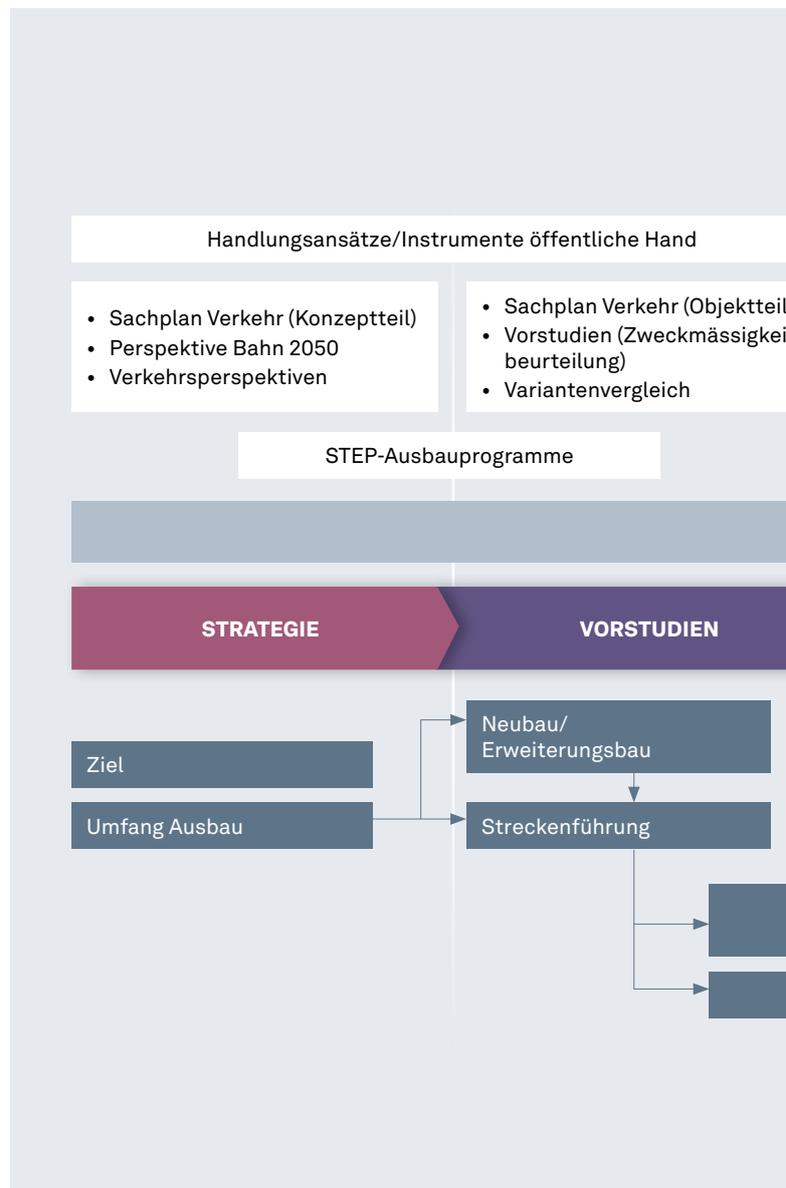
Je nach Anlage dominieren unterschiedliche Beiträge: Bei offenen Strecken tragen Schienen, Schwellen und

## #Bahnhofsforschung

#Eisenbahn

#Infrastruktur

Weiterführende Angaben:



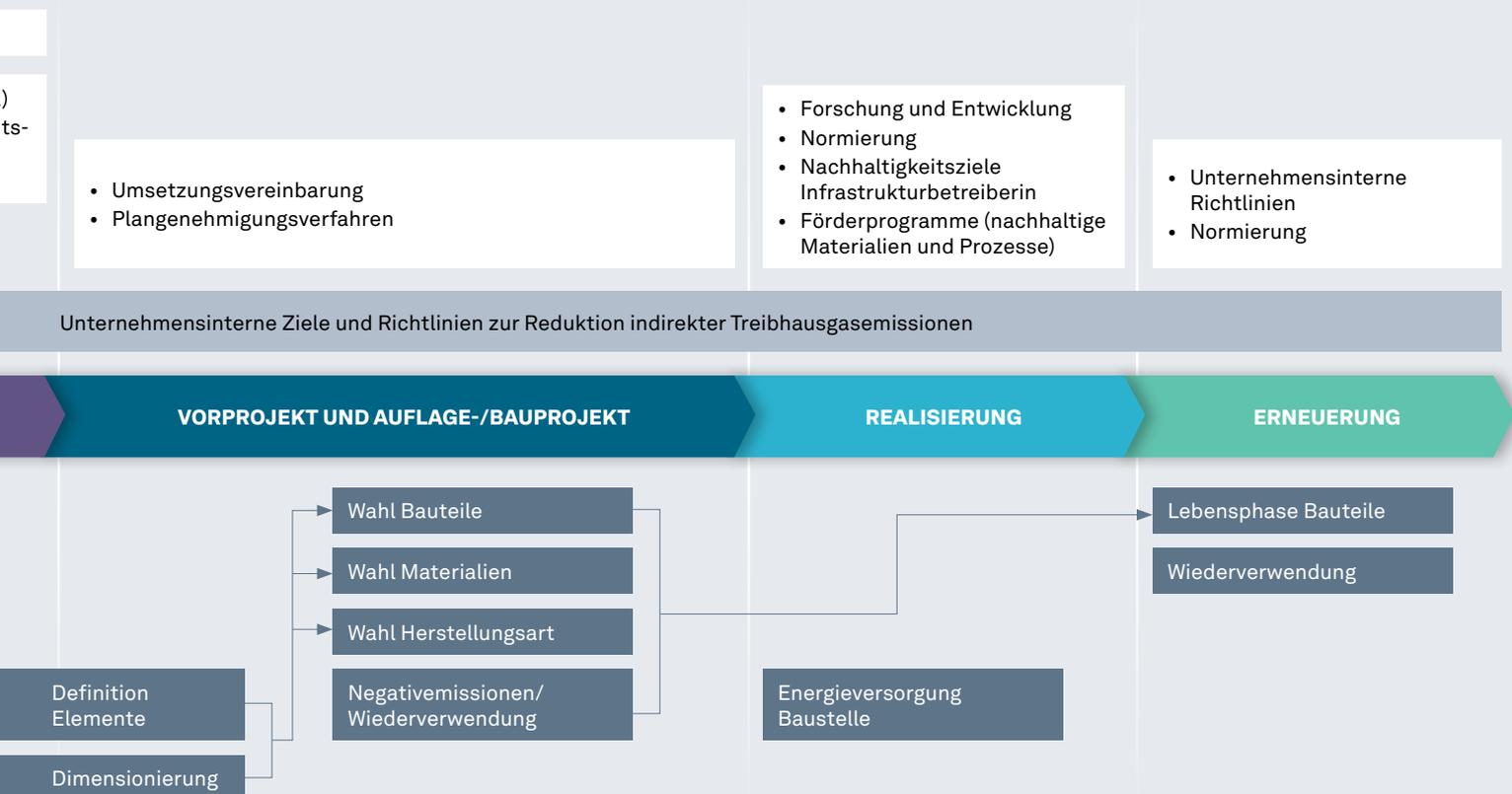
# Die Studie stellt eine Grundlage dar, um auf einen klima- und umweltschonenden Ausbau der Bahninfrastruktur hinzuwirken.

Gleisbett den Grossteil der Umweltbelastungen bei, für Tunnels sind es hauptsächlich Beton, Stahl und Schienen sowie der Treibstoff für die Baumaschinen. Die Studie kommt zum Schluss, dass der Bau eines durchschnittlichen Kilometers Schweizer Bahnstrecke über seine gesamte Lebensdauer jedes Jahr 56 Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente verursacht – so viel wie die Herstellung von 19 600 Laptops

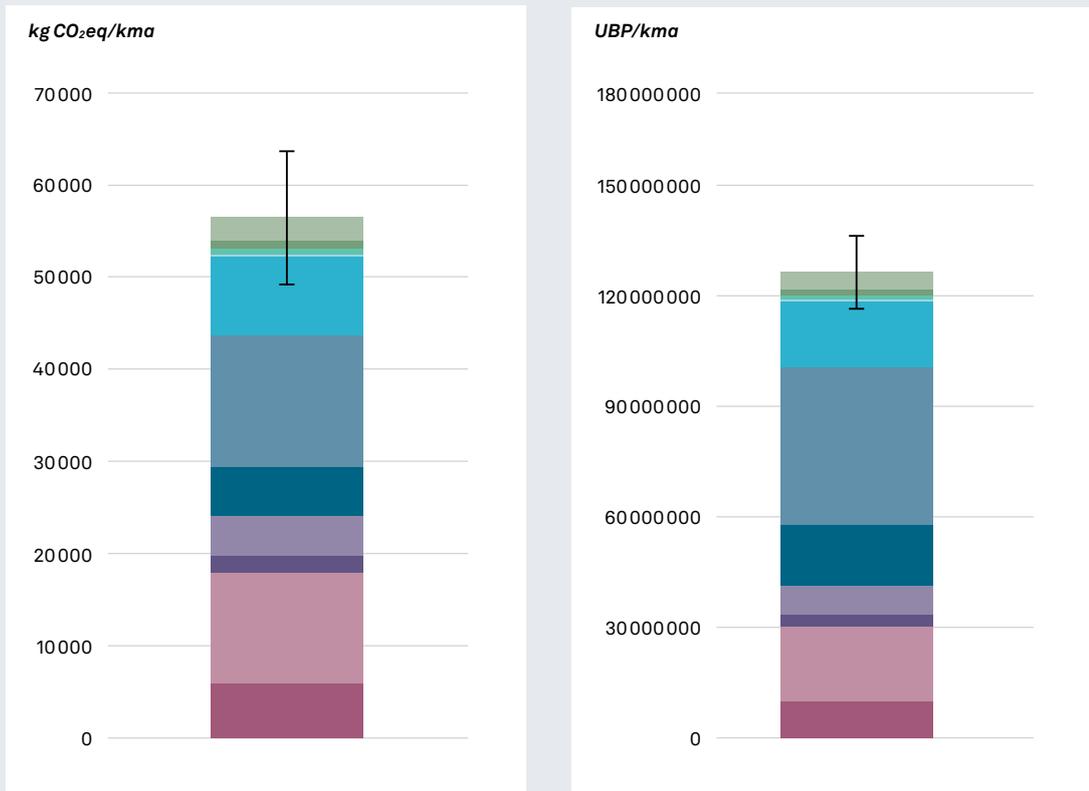
Um diese Werte zu berechnen, konnten die Autorinnen und Autoren der Studie auf Ökobilanz-Datenbanken zuzugreifen. Darin ist beispielsweise erfasst, welche Umweltauswirkungen mit der Produktion einer Tonne Stahl inklu-

sive der Gewinnung des Erzes, des Schmelzens und Bearbeitens, des Transports sowie der Energieerzeugung verbunden sind. In einigen Fällen fehlten allerdings bahnspezifische Daten, sodass die benötigten Werte mit eigenen Berechnungen, Angaben der Infrastrukturbetreiber oder Annahmen beschafft werden mussten. Ökobilanzdaten sind immer mit Unsicherheiten verbunden. Diese wurden gemäss den Qualitätsrichtlinien des BAFU berücksichtigt und entsprechende Spannbreiten ausgewiesen. Die Ergebnisse wurden mit Werten aus der Literatur und Analysen in anderen Ländern verglichen und eingeordnet.

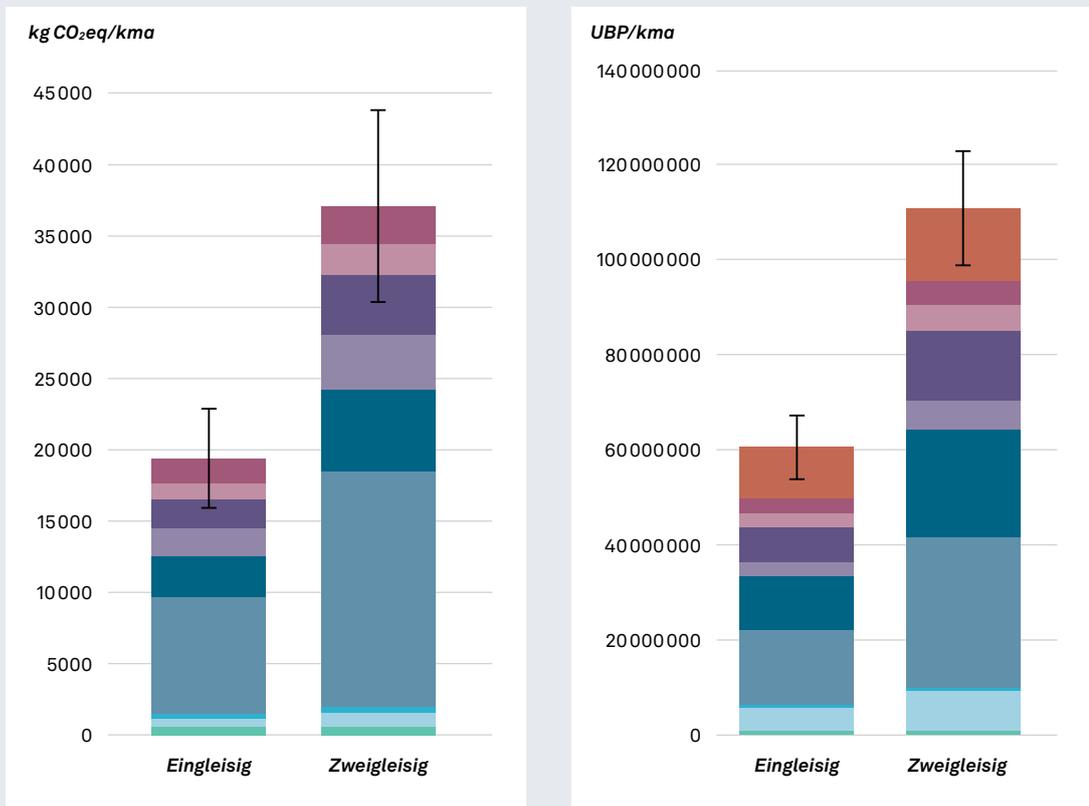
**Übersicht der Projektphasen und untersuchte Ansatzpunkte zur Verminderung der Umweltbelastungen von Bahninfrastrukturen. Die Wahl sowohl der Anlagentypen wie der baulichen Elemente bietet entsprechende Potenziale. Die Phasen Vorprojekt und Bauprojekt erweisen sich als besonders wichtig.**



**Umweltbilanz über die Lebensdauer einer durchschnittlichen Schweizer Bahnstrecke pro Kilometer und Jahr, links ausgedrückt in Kilogramm CO<sub>2</sub>-Äquivalenten, rechts in Umweltbelastungspunkten pro Jahr.**



**Umweltbilanz einer offenen Gleisstrecke über ihre Lebensdauer pro Kilometer und Jahr, links ausgedrückt in Kilogramm CO<sub>2</sub>-Äquivalenten, rechts in Umweltbelastungspunkten pro Jahr.**



## **Bis 2050 könnten die Treibhausgasemissionen einer neuen Bahnstrecke um 50% reduziert werden.**

Die Studie hat ferner untersucht, wie sich die Umweltauswirkungen des Infrastrukturbaus künftig entwickeln werden. Gestützt auf Annahmen zum zukünftigen Energie-, Transport und Materialmix schätzt sie, dass bis 2050 auf einer durchschnittlichen, neu erstellten Bahnstrecke in der Schweiz die Treibhausgasemissionen um 53% und die Umweltbelastung um 36% reduziert werden könnten, und zwar vorwiegend dank klimaschonender Herstellungsverfahren bei der Produktion von Baumaterialien und der Umstellung auf erneuerbare Energien. Die Aussagen für den Horizont 2050 sind jedoch mit vielen Unsicherheiten verbunden.

Der Wert der Untersuchung geht über die reine Ökobilanz hinaus. Sie zeigt nämlich auch auf, welche Gestaltungsmöglichkeiten die öffentliche Hand in den verschiedenen Phasen der Infrastrukturerstellung hat, um die Umweltauswirkungen zu vermindern. Auf der normativen Ebene (weisse Elemente in der Abbildung auf Seite 12/13) identifiziert die Studie die grössten Potenziale in den frühen Projektphasen, also bei der Strategie und insbesondere bei den Vorstudien. Auf der technischen Ebene (graue Elemente) finden sich die Hebel vor allem bei der Projektierung. Somit können mit diesen Grundlagen zukünftig bereits beim Variantenstudium einer Strecke die Umweltbelastungen miteinander verglichen und in den Entscheid einbezogen werden. Beim Bau könnten die Umweltbelastungen mit einer geeigneten Wahl von Bauteilen, Materialien und Herstellungsverfahren gesenkt werden. Dank der Daten, die mit der Studie zur Verfügung stehen, lassen sich die Auswirkungen in Zahlen fassen und miteinander vergleichen.

Für das BAV stellt die Studie eine wertvolle Grundlage dar, um auf einen klima- und umweltschonenden Ausbau der Bahninfrastruktur hinzuwirken. Die neuen Erkenntnisse und Ökobilanzdaten werden in die Planungsinstrumente des Bundes wie die NIBA-Methodik einfließen. Das BAFU macht die Daten und Inventare, die im Rahmen der Studie entstanden sind, als Open Data öffentlich zugänglich. Damit kann die Studie ihre Funktion erfüllen, eine Grundlage für die politische Diskussion zukünftiger Ausbauprojekte sowie die an Planung und Bau beteiligten Unternehmen zu bieten.

# Handydaten zur Verkehrsverlagerung nutzen

Die Umweltvorteile des öffentlichen Verkehrs würden es rechtfertigen, dass er einen grösseren Anteil als die heutigen 20 % des Personenverkehrs trägt. Bisher ist eine wesentliche Steigerung des Modalsplits gegenüber dem motorisierten Individualverkehr aber nicht gelungen. Die BLS versucht nun gemeinsam mit ihren Partnern im ÖV42-Konsortium, über die Analyse von Bewegungsdaten von Handys Hinweise auf zielführende Massnahmen zu erhalten.

Um herauszufinden, welche Massnahmen Autofahrerinnen und Autofahrer dazu bewegen könnten, vermehrt den öV zu benutzen, sind Daten über das effektive Reiseverhalten notwendig. Die bestehenden Erhebungen bei den Fahrgästen und die Daten aus den Ticketingsystemen der Transportunternehmen liefern dazu wichtige Hinweise für den öV, sie sind jedoch nicht geeignet, das Verhalten im motorisierten Individualverkehr (MIV) zu beschreiben.

Zusammen mit dem Start-up «42hacks» nutzt die BLS in einer Studie die Bewegungsmuster von Mobiltelefonen, um die effektiven Reisewege zu analysieren. Die Idee dahinter ist einfach: Dort, wo viele Leute im MIV unterwegs sind, besteht ein grosses Potenzial, diese auf den öV zu bringen. Sind die Hotspots der Mobilität einmal bekannt, geht es darum, geeignete Massnahmen zu suchen, die auf den jeweiligen Hotspot zugeschnitten sind.

Die Datengrundlage für die Analyse stammt von Swisscom, von welcher die Autoren einen anonymisierten Satz von Mobilfunkdaten über mehrere Monate eingekauft haben. Dieser basiert auf der Auswertung von rund 10 Millionen Einzelbewegungen pro Tag. Im Datensatz sind Ausgangs- und Endpunkt jeder Reise in Quadraten von einem Kilometer Kantenlänge gruppiert. Der Datensatz liefert die Anzahl Reisen in bzw. von jedem Quadrat unterteilt nach den Verkehrsträgern Strasse, Schiene oder Langsamverkehr. Zusätzlich

wird für jede Stunde des Tages die durchschnittliche Anzahl Personen angegeben, die sich in einem Quadrat befindet, sowie die mittlere Aufenthaltsdauer pro Fläche.

Anhand dieser Daten lassen sich die Hotspots der Mobilität, also die am meisten angefahrenen Quadrate, leicht eruieren. Die erste wichtige Erkenntnis daraus: Der Verkehr konzentriert sich auf eine relativ kleine Fläche. Die 1000 am stärksten frequentierten Quadratkilometer (entsprechend 4,2% der Landesfläche) machen 53% des Verkehrsaufkommens und 36% des MIV aus. Die 15 verkehrsreichsten Quadratkilometer verursachen 4,7% des MIV. Es lohnt sich also, diese Hotspots näher zu betrachten, um die Verlagerung zum öffentlichen Verkehr zu beeinflussen.

Für die detaillierte Analyse kombinierten die Autoren die Verkehrszahlen pro Quadrat mit den Arbeitgeberdaten des Bundesamts für Statistik und ergänzten sie mit weiteren Daten u.a. von Google Maps und TomTom. Unter Anwendung künstlicher Intelligenz und Machine Learning liessen sich damit für jedes Quadrat der wichtigste Arbeitgeber, die Anzahl Beschäftigter und deren Modalsplit bestimmen.

Zusätzlich mussten Korrekturen für den Modalsplit vorgenommen werden, da die Mobilfunkdaten alle Fahrten auf Strassen dem MIV zuordnen, auch wenn diese in

**#Innovation öPV**  
#öV-System

Weiterführende Angaben:



Wirklichkeit mit Bussen, Trams oder dem Fahrrad erfolgen. Die Korrekturen wurden so durchgeführt, dass sie die Verteilung gemäss dem Mikrozensus Verkehr adäquat wiedergeben.

Anhand der bereinigten Daten zeigte sich, dass in den 1000 Hotspots der MIV-Pendelverkehr zu Arbeitsstätten 21,2% des Verkehrsaufkommens ausmacht. Massnahmen beim Pendelverkehr stellen also einen wichtigen Hebel dar. Die Autoren schätzen, dass damit der Modalsplit um 1–5% in Richtung öV verschoben werden könnte.

In einer Simulation bestimmten die Autoren das Verlagerungspotenzial verschiedener Massnahmen. Mit Abstand die grösste Wirkung wird vom Umsteigen auf das bestehende öV-Angebot erwartet. Dies liegt nahe, liegen doch die Hotspots in der Regel in urbanen oder periurbanen Gebieten und sind gut mit dem öV erschlossen. Weitere Beiträge könnten durch Carpooling, Förderung des Veloverkehrs, Verbesserungen auf der letzten Meile (Leihfahrräder, Shuttlebusse) oder die Anrechnung der Wegzeit im öV als Arbeitszeit geleistet werden.

Mit der Analyse ist die Zielsetzung der Autoren, innert 5 Jahren eine Verlagerung um 5 Prozentpunkte zu erreichen («5 in 5»), natürlich noch nicht erreicht. Um die Umsetzung entsprechender Massnahmen zu fördern, ist das Tool öffentlich zugänglich (<https://ov42.com/5-in-5>). Arbeitgeber, Mitarbeitende und Behörden können damit die identifizierten Hotspots näher untersuchen und die für ihren Standort erfolgversprechendsten Massnahmen identifizieren. Zudem bietet 42hacks Workshops mit Firmen an, die basierend auf dieser Untersuchung aktiv werden wollen. Den Schlüssel zum Erfolg sehen die Autoren in einer Neugestaltung der Kooperation zwischen Politik, Bestellern, Transportunternehmen und grossen Verkehrverursachern (Arbeitgeber, Spitäler, Freizeiteinrichtungen, Shopping). Darin sollen massgeschneiderte Lösungen entwickelt werden, welche nicht nur eine Verschiebung des Modalsplits ermöglichen, sondern für auch positive wirtschaftliche Effekte erzeugen.



**Verlagerungspotenziale der 1000 Hotspots. Jeder Peak entspricht einem Quadrat von 1 km Seitenlänge, seine Höhe ist proportional zum Verlagerungspotenzial, welches von Firmen erschlossen werden könnte. Die grössten Potenziale bestehen in bereits gut an den öV angebundenen urbanen und periurbanen Gebieten.**

Nicht untersucht wurde das Verlagerungspotenzial im Besucher- und Freizeitverkehr. Dies hat einerseits methodische Gründe, da bei der Anonymisierung der Mobilfunkdaten Reismuster, die nur vereinzelt auftreten, herausgefiltert werden. Damit ist die Datenbasis für den Besucher- und Freizeitverkehr weniger zuverlässig. Andererseits bietet sich die Pendlermobilität für die Umsetzung von Massnahmen an, da die Veränderung der Mobilitätsmuster dank der täglichen Wiederholung eine grosse Wirkung verspricht.

# Mehr Kilometer dank Antiblockiersystem

Die Räder von Eisenbahnwagen sind dafür ausgelegt, über Jahre in Betrieb zu sein und dabei Hunderttausende von Kilometern zurückzulegen. Bei einigen Güterwagen müssen sie aber wegen hoher Abnutzung deutlich früher ausgewechselt werden, was mit hohen Kosten verbunden ist. Die Technische Universität Berlin ist dem Phänomen auf den Grund gegangen.

Güterwagen sind mit Klotz- oder Scheibenbremsen ausgerüstet. Klotzbremsen sind bei Güterwagen noch weit verbreitet, da sie einfach im Aufbau und robust im Einsatz sind. Seitdem die früheren Bremssohlen aus Grauguss durch solche aus Kompositmaterial ersetzt wurden, ist es möglich, mit Klotzbremsen die Anforderungen an den Lärmschutz zu erfüllen.

Bei Personenwagen hat sich die Scheibenbremse durchgesetzt. Sie ist leiser als die Klotzbremse und vermag die Wärme, die beim Bremsen entsteht, besser abzuführen. Zudem hat sie den Vorteil, dass die Lauffläche des Rades geschont wird und somit der Verschleiss geringer ist.

Die Vorteile von Scheibenbremsen sind auch für Güterwagen attraktiv. So entschied sich Hupac, ab 2015 ihre Taschenwagen T3000e mit Scheiben- statt mit Klotzbremsen zu beschaffen. Inzwischen ist die Hälfte von insgesamt 600 Fahrzeugen dieses Typs mit Scheibenbremsen unterwegs. Allerdings stellte Hupac fest, dass deren Räder nur etwa die Hälfte der Laufleistungen von klotzgebremsten Fahrzeugen erreichten. Auf den Laufflächen zeigten sich Flachstellen und Ausbröckelungen, die eine Reprofilierung oder gar den Ersatz der Räder erforderten, um die Sicherheit weiterhin zu gewährleisten.

*#Technische  
Neuerungen  
Güterverkehr  
#Eisenbahn  
#Fahrzeuge*

Weiterführende Angaben:



Um die damit verbundenen hohen Kosten zu senken, beauftragte Hupac Spezialisten der Technischen Universität Berlin mit einer Untersuchung. Professor Markus Hecht und sein Mitarbeiter Claudio Colao analysierten dafür zunächst die Unterhaltsdatenbank von Hupac. Darin waren die Schäden an 3363 ausgetauschten Radsätzen dokumentiert. Mit 44% waren Ausbröckelungen mit Abstand das häufigste Schadensbild.

Die Folgerung von Hecht und Colao: Wenn es gelänge, die Ursache für die Ausbröckelungen zu beheben, könnte die Laufleistung möglicherweise deutlich gesteigert werden. Dafür mussten sie in Erfahrung bringen, wie die Ausbröckelungen entstehen. Gestützt auf Untersuchungen in der Literatur stellten sie die Hypothese auf, dass die Schäden durch Blockieren der Räder entstehen könnten.

Dazu passte, dass die Schäden besonders häufig bei Radsätzen auftraten, die in den Wintermonaten ausgewechselt wurden. Aus Sicht der Forscher ist das plausibel: In der nassen Jahreszeit ist die Reibung zwischen Lauffläche und Schiene geringer. Dadurch blockieren die Räder beim Bremsen häufiger. Die Hitze, die beim Gleiten auf der Schiene entsteht, führt zu Materialumwandlungen auf der Lauffläche. Das Material verändert seine Mikrostruktur und wird spröder, sodass es eher zum Bröckeln neigt.

Um das Blockieren der Räder zu verhindern, gibt es bei Personenwagen seit Langem sogenannte Gleitschutzvorrichtungen. Sie funktionieren ähnlich wie ein Antiblockiersystem bei Autos: Ein Sensor überwacht laufend, ob sich das Rad dreht. Blockiert es infolge einer Bremsung, reduziert die Steuerung die Bremskraft gerade so weit, bis das Rad wieder rollt. Die dynamische, «stotternde» Bremsung verhindert somit das Gleiten.

**Taschenwagen T3000e mit Scheibenbremsen der Firma Hupac.**



**Schadensbild auf der Radlauffläche.**

Der Gedanke liegt also nahe, auch bei Güterwagen eine Gleitschutzvorrichtung einzubauen. Eine Herausforderung dabei ist, dass Güterwagen in der Regel keine Stromversorgung haben. Der für den Betrieb des Systems erforderliche Strom muss also vom Wagen selbst erzeugt werden. Ebenso soll die Steuerung autark erfolgen, da Güterwagen über keine Datenverbindung beispielsweise mit der Lok verfügen.

Gemeinsam mit Hupac definierten die beiden Autoren zunächst die Anforderungen für eine Gleitschutzvorrichtung und entwickelten danach einen Prototyp auf der Basis handelsüblicher Komponenten. In jedem seiner drei Drehgestelle befindet sich ein Gleitschutzventil, welches die Bremszylinder entlüftet, sobald der Rechner meldet, dass die Räder gleiten. Ein Achslagergenerator liefert über ein Batteriepack die dafür benötigte Energie. Ferner ist ein GPS/GSM-Modul installiert, welches eine genaue Positionsbestimmung des Wagens und die Ferndiagnose des Systems ermöglicht.

Die Zulassung und die Erprobung des Wagens stehen noch aus. Erst nach ausreichend langen Versuchsfahrten unter unterschiedlichsten Bedingungen wird sich zeigen, ob tatsächlich das Gleiten für die Ausbröckelungen verantwortlich ist und der Gleitschutz hilft, die Lebensdauer der Räder zu verlängern.

Prof. Dr. Denis Gillet, EPFL

# Digitalisierung: Schlüssel für die Entwicklung des öV

Die künstliche Intelligenz ist seit Kurzem in aller Munde. Denis Gillet, Forscher und Lehrbeauftragter an der EPFL, beschäftigt sich jedoch schon seit Jahren mit Informatiklösungen. Als Experte für das Programm ESöV 2050 bringt er diese wertvolle Erfahrung in die Beurteilung von neuen Projekten ein.

*#ESöV 2050*





**Herr Gillet, wie würden Sie Ihr derzeitiges Forschungsgebiet beschreiben?**

Ich arbeite an der Interaktion zwischen Menschen und Maschinen, sei es in Form von digitalen Anwendungen, Robotern oder autonomen Fahrzeugen. Ausserdem beschäftige ich mich mit der digitalen Akzeptanz in der Gesellschaft im Bereich der Bildung sowie mit ihren Erwartungen an die Qualität von Dienstleistungen und dem Schutz der Privatsphäre.

**Was sind die wichtigsten Entwicklungen in diesem Bereich?**

Digitale Lösungen müssen heute so gestaltet sein, dass sie attraktiv und einfach zu bedienen sind sowie die Anforderungen des Datenschutzes einhalten. Dies gilt unabhängig davon, ob es um die Interaktion mit Objekten, Fahrzeugen oder vernetzten digitalen Anwendungen geht. Dabei verändert sich die Art der Interaktion: Fortschrittliche Darstellungsformen wie Augmented Reality oder virtuelle Agenten wie Chatbots verbreiten sich rasch.

**Welche Anwendungen sehen Sie dafür im öffentlichen Verkehr?**

Es werden neue digitale Angebote entstehen, welche die Intermodalität fördern. Dabei muss darauf geachtet werden, dass sie die Privatsphäre der Nutzenden wahren. Bei zukünftigen fahrerlosen Fahrzeugen müssen

digitale Schnittstellen integriert werden, die relevante Informationen über den Zustand des Fahrzeugs und seine Umgebung liefern und die ein transparentes Handeln bei Notfällen ermöglichen. Zudem werden zur Interaktion mit den Fahrgästen virtuelle Fahrer benötigt, die in der Lage sind, persönliche Präferenzen zu berücksichtigen.

#### **Wo ist denn hier der Bezug zum Programm ESöV 2050?**

Tatsächlich spielen die Interaktion Mensch – Maschine und fortschrittliche digitale Dienste bei den bisherigen Projekten eine untergeordnete Rolle. Das dürfte sich aber ändern – denken Sie nur an die automatisierten Fahrzeuge, die Staus und die damit verbundene Energieverschwendung drastisch reduzieren können. Dort kommen dann die eher klassischen Ingenieurthemen mit der Digitalisierung und der künstlichen Intelligenz zusammen.

#### **Wie geht die Expertengruppe bei der Bewertung von Anträgen vor?**

Wir haben eine gute Dynamik in der Gruppe entwickelt. Meist hören wir uns zunächst die

Beurteilung jenes Mitglieds an, welches sich in der Materie am besten auskennt. Wir diskutieren dann über den Innovationsgehalt des Projekts, ob das Projekt in der vorliegenden Form genehmigt werden kann oder ob weitere Recherchen nötig sind. Dabei hilft uns, dass die beiden Programmleiter einen guten Überblick über die laufenden Projekte haben.

#### **Wo sehen Sie Potenzial für weitere Projekte?**

Spezifisch im Bereich Energie glaube ich, dass es noch Potenzial im Betrieb gibt, insbesondere in der Simulation und in der Grösse der Fahrzeuge. Ausserdem braucht es dezentrale, flexible Energiequellen. Nebst Wasser und Photovoltaik gehören für mich auch Wind und Wasserstoff dazu.

#### **Wie würden Sie den Innovationsgehalt der Projekte beurteilen?**

Es hat viele gute Projekte, die in einem spezifischen Bereich eine Verbesserung erreichen, beispielsweise bei der Elektrifizierung von Schiffen. Um dem Anspruch der Energiestrategie 2050 gerecht zu werden, braucht es einen ganzheitlichen, systemorientierten Ansatz, das heisst, dass Fahrzeugtechnologie, Energieversorgung und Angebot gleichermassen berücksichtigt werden. Aber ich möchte noch einen weiteren Aspekt einbringen.

#### **Gerne, welchen denn?**

Ich habe viel an autonomen Fahrzeugen geforscht. Dabei ist die Frage nach der Datenhoheit zentral. Wem gehören die für den Betrieb der Fahrzeuge notwendigen Daten? Sind sie privat oder öffentlich? Werden sie zentral oder dezentral geführt? Daten könnten in Zukunft eine kritische Infrastruktur für das Transportsystem bilden.

“

**Daten könnten in Zukunft eine kritische Infrastruktur für das Transportsystem bilden.**



“  
Um dem Anspruch der  
Energiesstrategie 2050  
gerecht zu werden,  
braucht es einen ganz-  
heitlichen, systemori-  
entierten Ansatz.

**Stichwort Zukunft: Wie sehen Sie die Entwicklung der Forschungsprogramme?**

Die Herausforderung, bis 2050 die Klimaneutralität zu erreichen, ist beträchtlich. Deshalb glaube ich, dass es einen ambitionierteren Ansatz braucht, beispielsweise mittels grosser nationaler Programme, die mindestens vier Jahre dauern, die Pilotprojekte umfassen und an welchen sich mehrere Transportunternehmen und Hochschulen beteiligen. Wenn man es mit der Intermodalität ernst meint, ist es notwendig, dass alle Akteure zusammenarbeiten.

**Sie stehen kurz vor der Pensionierung. Welche Botschaft möchten Sie dem öffentlichen Verkehr mitgeben?**

Das Ziel 2050 braucht Ambitionen – es lässt sich nicht mit kleinen Massnahmen erreichen. Wir müssen über die Schweiz hinausdenken und eine Vision aufbauen. Vor hundert Jahren haben wir massiv in die Wasserkraft investiert, und davon profitieren wir heute noch. Dasselbe sollten wir bei der Mobilität tun. Um bei einem Bild aus dem Verkehr zu bleiben: Wir sollten die Schweiz zur Lokomotive machen, nicht zum Wagen.





**#Bahninfrastrukturforschung**  
**#Eisenbahn**  
**#Interaktion**

Weiterführende Angaben:



Dr. Rowena Crockett, Empa

# Der Reibung auf der Spur

Ob bei der Eisenbahn zwischen Rad und Schiene, bei einem Motor zwischen Kolben und Gehäuse oder bei einer Hüftprothese zwischen Gelenkkopf und -pfanne: Zu viel Reibung führt zu Abnutzung und Schäden. Rowena Crockett ist Tribologin bei der Empa und beschäftigt sich mit diesen Phänomenen. Aber auch Holzhäuser und Spaghetti gehören zu ihrem Fachgebiet.

## **Frau Crockett, was macht eine Tribologin?**

Die Tribologie ist ein sehr breites Fachgebiet. Grundsätzlich untersuchen wir Reibungsphänomene – Tribologie ist also überall im Spiel, wo ein Teil gegen ein anderes reibt. Ob das ein Kolben in einem Motor oder ein künstliches Gelenk ist, spielt eigentlich keine Rolle.

## **Warum ist diese Forschung wichtig?**

Wir untersuchen, wie der Verschleiss und die Reibung verringert werden können, um die Lebensdauer von Materialien zu verlängern. Bei der Eisenbahn etwa können durch die Verminderung der Reibung zwischen Rad und Schiene hohe Kosten eingespart werden.

## **Wie gehen Sie dabei vor?**

Wir analysieren, wie Schmiermittel mit Materialoberflächen reagieren und welche Produkte die besten Eigenschaften aufweisen. Ausserdem erforschen wir neue Materialien, um herauszufinden, ob sie eine Verbesserung bringen oder neue Probleme verursachen. Unsere Arbeit ist somit zu einem grossen Teil experimentell.

## **Worum geht es im Projekt zur Schienenkopfkonditionierung?**

Für die SBB untersuchen wir, wie die Reibung zwischen Rad und Schiene vermindert werden kann. Dabei wird ein Konditionierungsmittel auf Schienen aufgetragen, um Ermüdung und teilweise auch Lärm zu reduzieren.

## **Und was ist das Problem?**

Es sind verschiedene Produkte mit unterschiedlichen Rezepturen auf dem Markt. Die SBB möchten wissen, ob diese wirklich einen Effekt haben und welches die Komponenten sind, von denen die beste Wirkung erwartet werden kann.

## **Wie finden Sie das heraus?**

Wir testen wasserbasierte und ölbasierte Produkte jeweils im Labor und im Feld. Im Labor verwenden wir ein Rasterelektronenmikroskop, um kleinste Veränderungen der Oberfläche zu erkennen, während im Feld nur makroskopische Risse und andere Schäden erfasst werden können.



**Sind wasser- oder öl-basierte Produkte besser?**

Im Labor haben wir mit beiden Typen eine deutlich geringere Deformation festgestellt, das heisst weniger Risse durch Ermüdung. Im Feldversuch hingegen zeigen die wasserbasierten Produkte die besseren Resultate. Immerhin: Bei den wasserbasierten Produkten stimmen die Ergebnisse zwischen Labor und Praxis überraschend gut überein. Das ist längst nicht bei allen Versuchen so.

**Was ist denn das Geheimnis der Konditionierungsmittel?**

Die wasserbasierten Produkte enthalten als wichtigsten Bestandteil modifizierte Zellulose. Wahrscheinlich ist es vor allem sie, die die Reibung vermindert. Die restlichen Bestandteile gewährleisten die Stabilität des Produkts. Die Zellulose bildet vermutlich auf der Schienenoberfläche eine dünne Schicht, allerdings konnte diese in der Praxis noch nicht nachgewiesen werden.



Die Tribologie kann helfen, Schäden an Rad und Schienen frühzeitig zu erkennen.

**Wie stark arbeiten Sie in Ihrer Forschung mit Fachleuten aus anderen Disziplinen zusammen?**

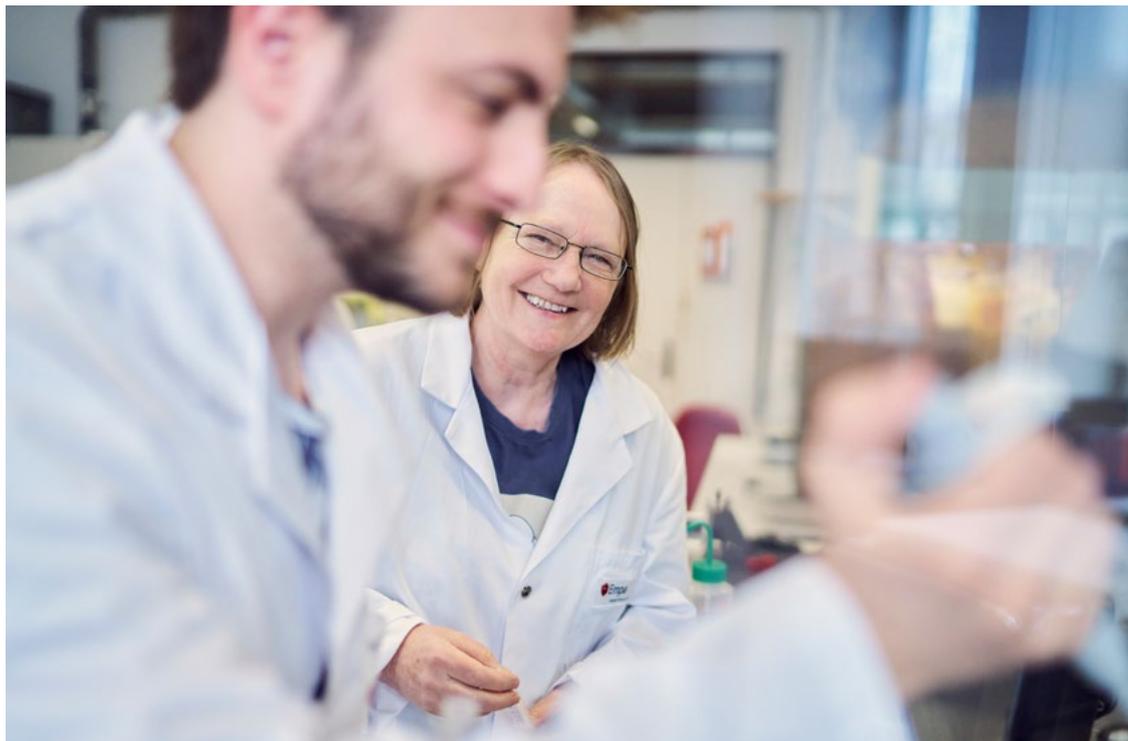
Die Tribologie ist ein interdisziplinäres Gebiet. Wir haben bei der Empa eine Vielzahl von Spezialisten und Expertinnen, die ich je nach Fragestellung hinzuziehen kann. Auch mit SBB Infrastruktur arbeite ich eng zusammen. Die Hersteller der Produkte hingegen sind eher zurückhaltend, weil sie die Rezepturen nicht preisgeben möchten. Allerdings kann die Empa sozusagen alles analysieren (lacht).

**Wie sind Sie überhaupt zur Tribologie gekommen?**

Ursprünglich war ich Chemikerin und testete Treibstoff für Motorradrennen. Als die Empa die Auftragsanalytik zugunsten der Forschung aufgab, begann ich mit Sigfried Roos zu arbeiten, der bereits ein grosses Interesse an Tribologie hatte. Wir begannen, mit der ETH zusammenzuarbeiten, und haben zuerst Additive für Motoren und andere Anwendungen entwickelt. Daraus ergab sich eine erfolgreiche Auftragsforschung mit Schweizer Motoren- und Schmiermittelherstellern.

**Seither hat sich Ihr Themengebiet erweitert.**

Ja, absolut. Neben künstlichen Gelenken beschäftigen wir uns mittlerweile auch mit Themen wie Phosphatbeschichtungen und Reibung in Holzhäusern, bei denen Vibrationen zwischen Bauteilen die Lebensdauer beeinflussen. Sogar bei Spaghetti haben wir die Reibung auf der Oberfläche untersucht, um die Haftung des Sugo zu verbessern.



“

Ein enger Kontakt zur Industrie und zu Forschenden aus anderen Fachgebieten ist entscheidend.

**Was fasziniert Sie an Ihrer Forschung?**

Ich finde sie spannend, weil wir stets mit der Industrie zusammenarbeiten und neue Herausforderungen meistern. Der internationale Austausch und die Organisation von Konferenzen wie der Ecotrib 25, die junge Forschende ansprechen soll, bereichern meine Arbeit.

**Was haben Sie in Ihrer Forschung noch vor?**

Ich möchte dafür sorgen, dass genügend Projekte in der Pipeline sind und es damit für die Empa attraktiv ist, das Forschungsgebiet weiterzuführen. Ein enger Kontakt zur Industrie und zu Forschenden aus anderen Fachgebieten ist dabei entscheidend, denn Tribologie kann man nicht in Isolation machen. Auch im öffentlichen Verkehr sehe ich noch grosses Potenzial.

**Wo wäre denn dieses?**

Die Tribologie kann zusammen mit anderen Fachgebieten an der Empa helfen, Schäden an Rad und Schienen frühzeitig zu erkennen. Dafür könnten zum Beispiel an kritischen Stellen Sensoren eingesetzt und Daten zum Rad- und Schienenzustand gesammelt werden. Diese könnten mithilfe von künstlicher Intelligenz analysiert werden, um die Lebensdauer besser vorhersagen zu können. Damit würde der Unterhalt günstiger, und möglicherweise liessen sich damit sogar Unfälle verhindern.



Albin Gehriger / Thao Nhi La

# Ein faszinierendes Berufsfeld für junge Ingenieurinnen und Ingenieure

Das System Bahn ist hochkomplex und erfordert spezialisiertes Fachwissen. In Zeiten des Fachkräftemangels sehen sich die Bahnen vor die Herausforderung gestellt, den Nachwuchs an Wissensträgern sicherzustellen. RAILplus hat als Antwort darauf ein Programm zur Förderung junger Berufsleute ins Leben gerufen. Thao Nhi La und Albin Gehriger haben diese Chance gepackt.

**Thao Nhi La, Sie sind als junge Ingenieurin seit April 2024 bei Travys tätig. Wie sind Sie dazu gekommen?**

TNL: Ich habe an der Haute École d'Ingénierie et de Gestion in Yverdon Mikrotechnik studiert. Nach dem Bachelor suchte ich eine Möglichkeit, Berufserfahrung in einem Bereich zu sammeln. Ich habe mich bei Travys beworben, weil ich eine Tätigkeit im öffentlichen Verkehr als sinnvoll empfinde. Und zum Glück hat es funktioniert!

**Albin Gehriger, wie wurden Sie Nachwuchsingenieur bei den Appenzeller Bahnen (AB)?**

AG: Mein beruflicher Werdegang verlief etwas anders. Ich habe eine Ausbildung zum Technischen Modellbauer absolviert und im Anschluss zwei weitere Jahre in der Maschinen- und Automobilindustrie gearbeitet. Ich habe dann die Berufsmatura nachgeholt und

an der Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften Maschinentechnik studiert. Danach fand ich eine Anstellung bei Stadler Bussnang, wo ich dreieinhalb Jahre als Junior technischer Projektleiter für Schmalspur-, Zahnrad- und Spezialfahrzeuge arbeitete. Seit Februar 2023 arbeite ich nun als Bahningenieur bei den AB und darf dabei im Programm «Systemaufgabe Interaktion Fahrzeug/Fahrweg Meterspur» von RAILplus mitarbeiten.

**Was hat Sie an einer Tätigkeit bei der Bahn angesprochen?**

AG: Als Maschineningenieur faszinieren mich Systeme wie Motoren, Wellen und Getriebe und wie ihre teils beeindruckenden Eigenschaften technisch möglich sind. Da liegt die Eisenbahn natürlich nahe (lacht). Tatsächlich wurde mein Interesse am Thema Interaktion

**#Bahninfrastrukturforschung**  
#Eisenbahn  
#Interaktion

“

Ich möchte die Lebenszykluskosten bei den Appenzeller Bahnen im Bereich Fahrweg und Fahrzeug reduzieren.



Fahrzeug/Fahrweg schon während meiner Zeit bei Stadler geweckt. Bei der Matterhorn-Gotthard-Bahn, einer unserer Kundinnen, lernte ich, welche Auswirkungen der Verschleiss an Rad und Schiene auf den Betrieb und die Kosten der Eisenbahn hat. Dies war für mich Ansporn, mich zu einem Fachspezialisten in diesem Bereich weiterzuentwickeln. Das Angebot der Appenzeller Bahnen ist dafür genau das Richtige.

TNL: Ich finde den öffentlichen Verkehr immer wieder faszinierend. Wir sind jeden Tag mit dem öffentlichen Verkehr unterwegs und finden es selbstverständlich, dass er einwandfrei funktioniert, pünktlich und sicher ist. Wenn man sich näher damit beschäftigt, ist es hingegen unglaublich, was es alles braucht, damit das komplexe System seine Leistung erbringen kann. In meiner Tätigkeit kann ich dazu einen Beitrag leisten, indem ich die Forschung mit der konkreten Anwendung im Betrieb verbinde.

#### **Worin besteht Ihre Tätigkeit?**

AG: Bei den AB bin ich sowohl intern als auch extern als Fachspezialist in Projekten tätig, beispielsweise als Vertreter der Fahrbahn, bei der Trassierung oder auch im Fachbereich Lichtraumprofil. Weiter bin ich für die Fahrwegdiagnose zuständig und berate unsere Bahnmeister bei der Planung der Unterhaltsarbeiten und Fahrbahnerneuerungen. Ausserdem bin ich Ansprechperson bei Schäden an der Fahrbahn, kümmere mich um die Technologie der eingesetzten Komponenten und überwache und betreue verschiedene Systeme im Bereich Interaktion.

TNL: Bei Travys bearbeite ich mehrere Projekte. In einem davon versuche ich in Zusammenarbeit mit RAILplus, den Verschleiss der Schienen und Räder mittels Schienenkopfkonditionierung zu vermindern. Dazu gehört eine Analyse mit Begehung der Strecke, um herauszufinden,

an welchen Stellen erhöhter Schienenverschleiss auftritt. Ich führe viele Gespräche mit unseren Leuten, zum Beispiel darüber, wie man das System zur Applikation des Konditionierungsmittels auf unseren Fahrzeugen installieren könnte. Ich bestelle das Material und begleite die Montage, ausserdem muss ich alle Veränderungen am Fahrzeug dokumentieren. Nun folgen bald die ersten Tests und die Verschleissmessungen auf der Strecke.

#### **Sie sind zu 50% für Ihr Unternehmen tätig, die andere Zeit arbeiten Sie im Nachwuchsprogramm von RAILplus. Was machen Sie dort?**

TNL: Als Nachwuchsingenieure sind wir in eines oder mehrere der fünf technischen Projekte integriert, die RAILplus im Rahmen der Systemaufgabe «Interaktion Fahrzeug/Fahrweg» lanciert hat. Ich arbeite beispielsweise im Projekt «Rad/Schiene», wo wir eine Software einführen möchten, mit der man unternehmensspezifisch den Radzustand verfolgen kann. Dazu braucht es Daten von Messeinrichtungen auf der Strecke ebenso wie manuelle Messungen am Rad. Unser Ziel ist, einen genügend grossen Datensatz aufzubauen, der von allen Bahnen genutzt werden kann, die Analyse zu vereinfachen und die Prognose zu verbessern.

AG: Ich arbeite im Projekt «Fahrbahnsteifigkeit» als stellvertretender Projektleiter. Gemeinsam mit Partnern aus Industrie, Hochschulen und Ingenieurbüros untersuchen wir die Zusammenhänge zwischen Einwirkung, Beanspruchung und Materialreaktion der Schotterfahrbahn bei der Meterspur. Dazu entwickeln und validieren wir Fahrbahnmodelle, mit denen der Einfluss ausgewählter Komponenten auf das Fahrbahnverhalten quantifiziert werden kann. Im Fokus stehen der Verschleiss sowie die Lärmentstehung an der Schienenoberfläche und das Untergrundverhalten bei unterschiedlichen Verhältnissen des Baugrunds.



“

Ich möchte eine übergreifende Sicht der Dinge entwickeln, um neue Lösungen zu finden.

zeug/Fahrweg bei den AB an. Zurzeit verbessere ich mit meinen Kollegen die Effizienz der Schienenkopfkonditionierung. Als Nächstes möchte ich die Profilpaarung auf der Fahrzeugseite und die Materialpaarung auf der Infrastrukturseite optimieren, um die Eignung für die engen Bögen auf unseren Strecken zu gewährleisten. Dies wird langfristig zu einer Reduktion der Instandhaltung und einer Erhöhung der Lebensdauer der Komponenten führen.

#### **Was bietet das Nachwuchsprogramm sonst noch?**

TNL: Wir können an den Anlässen teilnehmen, die RAILplus halbjährlich durchführt und an denen alle Partnerfirmen der Systemaufgabe «Interaktion Fahrzeug/Fahrweg» eingeladen sind. Bei meinem ersten solchen Anlass konnte ich die Projekte und die anderen Ingenieure kennenlernen.

AG: Auch die von RAILplus für die Branche angebotenen Schulungen stehen uns offen. Zuletzt lag der Schwerpunkt auf dem Zusammenwirken von Fahrwerkkonstruktion und Rad-Schienen-Beanspruchung sowie auf der Material- und Profilpaarung von Rad und Schiene. Aktuell ist unser Projektteam an der Vorbereitung einer Schulung zum Thema Fahrweg. Darüber hinaus bietet uns die Systemaufgabe Zugang zu einem grossen Netz internationaler Fachexperten, deren Expertise wir auch für unser Unternehmen nutzen können.

#### **Welches Ziel haben Sie sich persönlich für Ihre Arbeit gesetzt?**

AG: Ich möchte die Lebenszykluskosten bei den AB im Bereich Fahrweg und Fahrzeug reduzieren. Ziel ist es, Schädigungen und Verschleiss an der Fahrbahn zu minimieren und die Laufleistung der Räder zu erhöhen. Dazu wenden wir die Erkenntnisse und Systeme aus den Projekten der Systemführerschaft Interaktion Fahr-

TNL: Ich arbeite mit dem Rollmaterial. Ich lerne zwar jeden Tag mehr darüber, aber ich möchte auch mehr über die Infrastruktur wissen, denn beide sind wichtig. Leider werden sie in den Unternehmen oft getrennt behandelt. Ich möchte eine übergreifende Sicht der Dinge entwickeln, um neue Lösungen zu finden. Die Schienenkopfkonditionierung ist ein gutes Beispiel dafür: Man appliziert das Konditionierungsmittel vom Zug aus, aber bewirkt damit einen Nutzen bei der Schiene.

#### **Was wünschen Sie sich für andere junge Ingenieure und Ingenieurinnen?**

TNL: In meiner Ausbildung habe ich von der Bahn nicht viel gehört, dafür von Medizintechnik, Robotik, Akustik-engineering und Uhrmacherei. Das ist angesichts der Ausrichtung des Studiums nachvollziehbar, aber trotzdem schade. Ich fände es wichtig, einen spezifischen Kurs anzubieten, damit die Leute davon erfahren, was bei der Bahn möglich ist.

AG: Das würde ich ebenfalls begrüssen – vielleicht würden sich dann auch mehr Frauen, die im Ingenieurwesen ohnehin unterrepräsentiert sind, für die Bahn interessieren. Gerade die Eisenbahnbranche ist für mich besonders spannend und abwechslungsreich, da sie weniger stark reguliert ist als beispielsweise die Luftfahrt und die Stückzahlen geringer sind als in der Automobilindustrie.

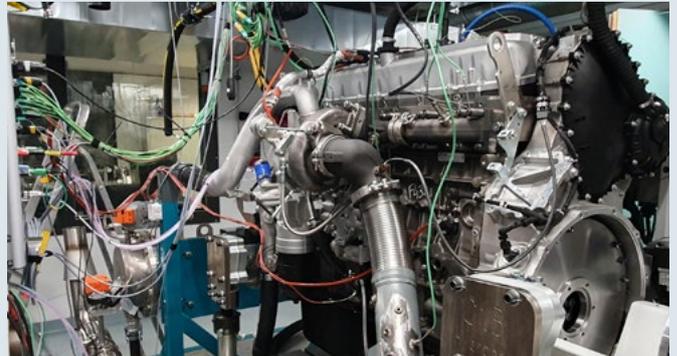
## Automatisches Auf-/Abrüsten von Rollmaterial



Vor der ersten Fahrt des Tages muss das Lokpersonal das Triebfahrzeug in Betrieb nehmen. Dieses sogenannte Aufrüsten dauert in Einfachtraktion 20 bis 25 Minuten. Könnte der Vorgang automatisiert werden, liesse sich wertvolle Einsatzzeit sparen, ebenso beim Abrüsten am Ende des Tages.

Bei Triebfahrzeugen sind zahlreiche Schritte nötig, um sie sicher und vorschriftsgemäss betreiben zu können. Mit dem Heben des Stromabnehmers ist es nicht getan, sondern es müssen unter anderem die Meldeleuchten und die Dienstbeleuchtung getestet, die Hauptbremsprobe durchgeführt, die Sicherheitssteuerung sowie das Zugbeeinflussungssystem geprüft und die Bordsysteme in Betrieb genommen werden. Die Schweizerische Südostbahn AG (SOB) untersucht nun mit Stadler Bussnang, welche dieser Schritte unter Einhaltung der heute gültigen Vorschriften automatisch erfolgen können und welche Einsparungen sich dabei beim Auf- und Abrüsten erzielen liessen. Am Projekt sind als weitere Eisenbahnverkehrsunternehmen die BLS AG, RegionAlps und die Schweizerischen Bundesbahnen (SBB) beteiligt.

## Erprobung eines Wasserstoffmotors für Busse



Elektrobusse setzen sich als klimaschonende Alternative zum Dieselbus zunehmend durch. Bei langen Umläufen und grossen Höhendifferenzen stossen sie aber an Grenzen. Die Verwendung von Wasserstoff als Treibstoff ist hier eine mögliche Option.

Dass Verbrennungsmotoren von Bussen mit Wasserstoff betrieben werden können, wurde in einer Vorstudie bereits nachgewiesen (P-155). Eine weitere Studie wies nach, dass Wasserstoffbusse im überregionalen Verkehr mit langen Distanzen und Steigungen den Batteriebusen betrieblich überlegen sind (P-199). Gestützt auf diese ermutigenden Ergebnisse haben die Verkehrsbetriebe Fribourg (tpf) ein weiteres Projekt lanciert. Darin soll zusammen mit der Haute École d'Ingénierie et d'Architecture Fribourg und der Firma FTP Motorenforschung AG ein Prototyp eines Wasserstoff-Verbrennungsmotors entwickelt und auf dem Prüfstand getestet werden. Die Vorbereitungsarbeiten, die unter anderem die Beschaffung eines geeigneten Motors, die Einrichtung des Prüfstands und die Ausrüstung mit Messeinrichtungen umfassten, sind inzwischen abgeschlossen, sodass nun die Messungen beginnen können.

**#Innovation im öPV**

#Eisenbahn

#Produktion/Betrieb

Weiterführende Angaben:



**#ESöV 2050**

#Bus

#Fahrzeuge

Laufende Studie:



Vorstudie H2-Motor (P-155):



Potenzial H2-Busse (P-199):



## Der Umschlag von Aushub wird einfacher



Viele Grossbaustellen können nicht direkt mit der Bahn erschlossen werden. Der Aushub bzw. Ausbruch muss dann per Lkw zum nächsten Bahnanschluss transportiert und dort auf Güterwagen umgeladen werden. Dieser zeitraubende Vorgang kann nun mit einem Kippcontainer vereinfacht werden.

Die Idee hinter dem Projekt der ACTS AG ist einfach: Statt den Aushub umzuschütten, wird er zusammen mit einem Transportbehälter umgeschlagen. Dafür eignet sich ein 20-Fuss-Standardcontainer besonders. Er kann direkt vom Lkw-Sattelaufleger mittels Reachstacker oder Portalkran auf Containertragwagen verladen resp. umgeschlagen werden.

Damit das Entleeren gleich einfach abläuft wie bei einem herkömmlichen Güterwagen (Typ Fans-U), wird ein Standard-Containertragwagen mit einem Kipprahmen und einer elektrischen Hebehraulik ergänzt. Die Behälter benötigen Seitenklappen mit einer Hydraulikverbindung zum Kipprahmen, damit diese automatisch geöffnet und geschlossen werden können. Mit diesem Kippco-System kann das Material in einem Kieswerk oder einer Deponie direkt vom Bahnwagen aus in eine Entladegosse geleert werden. Im laufenden Projekt wird nun mit vier Containern und zwei Bahnwagen getestet, wie sich das System im Alltag bewährt.

### **#Technische Neuerungen Güterverkehr**

#Eisenbahn  
#Fahrzeuge

## Fester Halt in weichen Böden



Fahrleitungsmasten, Lärmschutzwände und andere Infrastrukturelemente müssen sicher im Boden fundiert sein. Die dafür notwendigen Blockfundamente werden nach Standardmassen vor Ort aus Beton hergestellt. In weichen Böden oder in Böschungen müssen die Fundamente grösser sein. Die Frage ist: Um wie viel grösser?

Zur Klärung dieser Frage initiierte die Allianz Fahrweg Normalspur ein Forschungsprojekt mit der Hochschule Luzern (HSLU) und der ETH Zürich. Sie wurden beauftragt, anhand bestehender Daten und Vorschriften ein optimiertes Modell für die Bemessung der Fundamente zu entwickeln und dieses in einem Versuch im Massstab 1:30 zu überprüfen. Dazu betteten sie das Fundament eines Modellmasts in gesättigten Sand und liessen die Versuchsanordnung in einer Zentrifuge rotieren. Damit konnten sie messen, wie sich das Fundament in Abhängigkeit der Drehzahl neigt. Weitere Messungen in tonigen und geschichteten Böden sind geplant. Mit diesen Daten soll das Modell überprüft werden. Falls notwendig können danach bisherige Bemessungsmodelle auf das Tragverhalten in weichen Böden angepasst werden.

### **#Bahninfrastrukturforschung**

#Eisenbahn  
#Infrastruktur

Weiterführende Angaben:



SRF-Beitrag  
ETH-Zentrifuge:



## Tunneltübbinge: nicht dicker als nötig



Bei Tunnels werden zur Ausbruchsicherung und zur Aufnahme von Gebirgslasten häufig vorgefertigte Betonelemente verwendet. Diese sogenannten Tübbinge sollen effizient dimensioniert werden, sodass ihre Funktion mit möglichst tiefen Kosten und geringem Materialaufwand gewährleistet wird.

Ausgangspunkt der Forschungsarbeit von Walter Kaufmann, Professor für Baustatik und Konstruktion an der ETHZ, ist die Feststellung, dass die Bemessung von Tübbingungen bisher sehr konservativ erfolgt. Insbesondere basiert die Bemessung der Fugen auf empirischen Formeln, und der günstige Einfluss einer Querbewehrung auf die Betondruckfestigkeit (sogenannte Umschnürungswirkung) wird in der Regel vernachlässigt. Somit sind in vielen Fällen die Fugen für die Tübbingstärke und damit auch den Durchmesser der auszubrechenden Tunnelröhre massgebend. Oft werden dem Beton auch Fasern beigemischt, was aber in die Bemessung ebenfalls meist nicht einfließt. In der Arbeit werden daher mechanische Modelle für die Bemessung von Tübbingfugen entwickelt und mit Versuchen und numerischen Analysen validiert.

**#Bahninfrastrukturforschung**

#Eisenbahn

#Infrastruktur

Weiterführende Angaben:



## Höhere Lärmemissionen bei Zügen in der Kurve



In der Schweiz hat sich das Modell sonRAIL für Lärmprognosen der Bahn etabliert. Es erlaubt, die Lärmemission auf dem Normalspurnetz für verschiedene Gleistypen und Zugkompositionen zu berechnen. Im Rahmen der Modellpflege zeigte sich, dass die Prognosen in Bogenfahrten noch verbessert werden können.

Das Modell sonRAIL enthält für Bögen einen fahrzeugspezifischen Lärmzuschlag. Der Modellteil soll zusätzlichen Bogenlärm – nicht jedoch Kreischer und Zischer – berücksichtigen. Dieser ist allerdings nicht mit Messungen heute verkehrender bogenfreundlicher Fahrzeuge validiert. Es ist deshalb möglich, dass das Modell für derartige Fahrzeuge den Lärm in Bögen überschätzt und damit unnötige und kostspielige Lärmschutzmassnahmen getroffen werden.

Im Rahmen der gemeinsamen Modellpflege von BAFU, Empa und SBB haben die SBB deshalb einen Projektantrag eingereicht, um das Modell anhand von Messungen auf der Strecke zu überprüfen. Bisher wurden Standorte für Messungen ermittelt und ein Messkonzept erstellt. Die Validierung soll auch Grundlagen für die Verminderung des Lärms bei Bogenfahrten liefern.

**#Eisenbahnlärm**

#Eisenbahn

#Interaktion

Weiterführende Angaben:



# Wie wird die feste Fahrbahn leiser?



Die feste Fahrbahn gilt gegenüber dem klassischen Schottergleis als unterhaltsarm und langlebig. Sie hat allerdings einen Nachteil: Wegen der glatten Oberfläche erzeugt sie tendenziell mehr Lärmemissionen (Luftschall). Eine Literaturstudie untersucht das Phänomen genauer.

Die Recherchen von Felix Saur von der Firma PROSE bestätigen, dass auf der festen Fahrbahn der Schallpegel des Rollgeräuschs um 2 bis 5 dB(A) höher ist als auf Schottergleisen. Dieser Wert wird sowohl von Messungen im Feld wie von Modellrechnungen gestützt. Die Lärmemissionen erstrecken sich über einen grossen Frequenzbereich zwischen 16 Hz und 8 kHz.

Um die Lärmemissionen niedrig zu halten, muss die feste Fahrbahn bei niedrigen Frequenzen eine geringe Steifigkeit, bei hohen jedoch eine grosse Steifigkeit aufweisen. Dies kann mit Masse-Feder-Systemen erreicht werden, beispielsweise indem die Betonplatte auf dämpfenden Gummielementen gelagert wird. Diese Technik ist in Tunnels heute Standard. Auf offener Strecke ist die feste Fahrbahn in der Schweiz – im Gegensatz zu Hochgeschwindigkeitsstrecken im Ausland – noch nicht verbreitet. Sollte sie vermehrt zum Einsatz kommen, gibt die Studie wertvolle Hinweise auf Vorkehrungen zum Lärmschutz.

**#Eisenbahnlärm**

#Eisenbahn

#Interaktion

Weiterführende Angaben:



# Zahlen und Fakten

Über die drei Programme «Bahninfrastrukturforschung», «Energiestrategie im öffentlichen Verkehr 2050» und «Innovation im öffentlichen Personenverkehr» hat das BAV die Forschung und die Innovation im öffentlichen Verkehr im vergangenen Jahr mit 3,5 Millionen Franken gefördert. Die folgenden Grafiken bieten eine Übersicht über die Mittelflüsse, die bearbeiteten Themen und die Verkehrsmittel, die in den unterstützten Projekten untersucht werden. Weitergehende Informationen finden sich im Projektverzeichnis auf der Website [www.bav.admin.ch/forschung](http://www.bav.admin.ch/forschung).

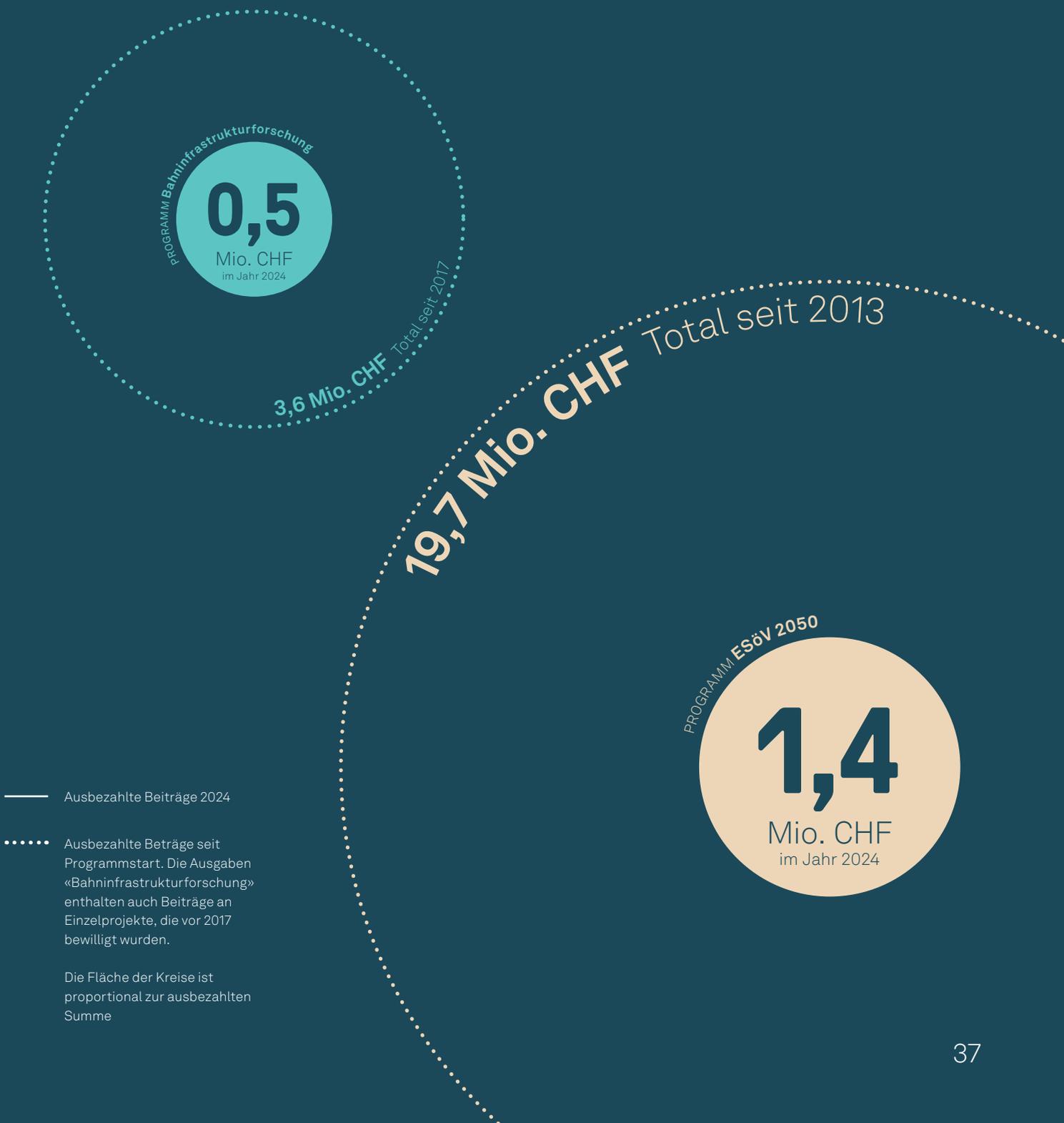


## Ausbezahlte Mittel

Die drei Programme haben im vergangenen Jahr insgesamt 3,5 Millionen Franken an Fördergeldern ausbezahlt (innere Kreise). Der grösste Anteil stammte aus der Innovation im öffentlichen Personenverkehr (44%) und der Energiestrategie im öffentlichen Verkehr 2050 (40%). Über ihre gesamte Laufzeit haben die drei Programme 35,5 Millionen Franken in die Forschung und die Innovation investiert (äussere Kreise).

Es ist zu berücksichtigen, dass das mit diesen Programmen ausgelöste Volumen wesentlich grösser ist als die ausbezahlten

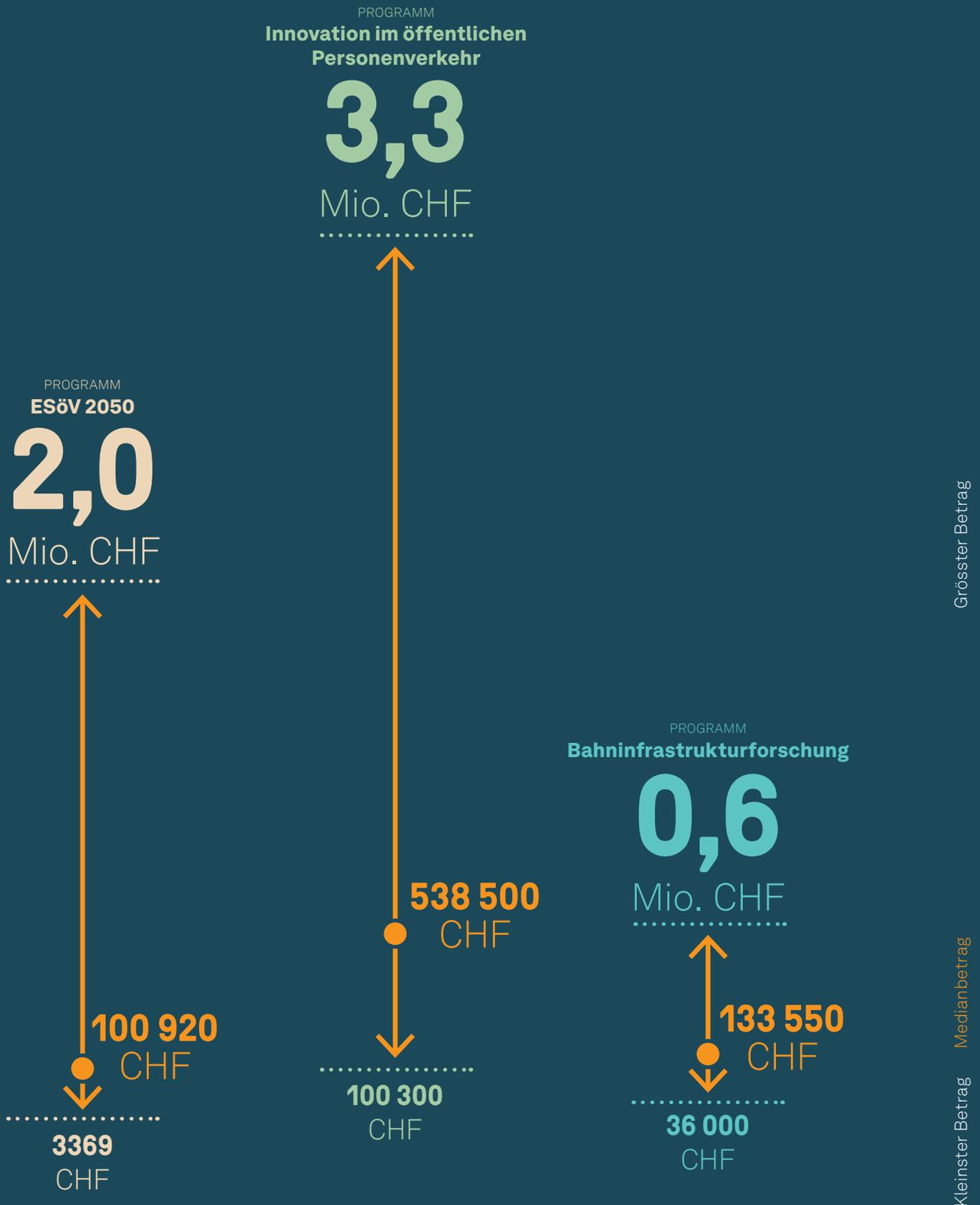
Beträge. In der Regel macht der Förderbetrag nämlich 40% des Projektbudgets aus; der Rest wird von den Gesuchstellern über Eigenleistungen und Drittaufträge selbst aufgebracht. Das BAV schreibt bei Bedarf Forschungsaufträge aus und finanziert diese vollumfänglich. Dies ist in der «Bahnhofinfrastrukturforschung» und im Programm «Energiestrategie im öffentlichen Verkehr 2050» der Fall; die entsprechenden Beträge liegen bei weniger als 10% der ausbezahlten Mittel.



— Ausbezahlte Beiträge 2024

••••• Ausbezahlte Beträge seit Programmstart. Die Ausgaben «Bahnhofinfrastrukturforschung» enthalten auch Beiträge an Einzelprojekte, die vor 2017 bewilligt wurden.

Die Fläche der Kreise ist proportional zur ausbezahlten Summe



### Spanne der bewilligten Beiträge

In allen drei Programmen decken die Beiträge an Gesuche und Forschungsaufträge eine grosse Spannbreite ab. Dies widerspiegelt die Überzeugung des BAV, dass auch kleinere Projekte wertvolle Beiträge an die Forschung und die Innovation leisten können. Umgekehrt will das BAV mit entsprechenden Beiträgen die

Realisierung umfangreicher Vorhaben ermöglichen, wenn diese Themen mit hohem Handlungsbedarf behandeln. In jedem Fall steht für das BAV die Qualität des Gesuchs und des beantragten Projekts im Zentrum. Es zieht deshalb zur Prüfung der Anträge gezielt ausgewiesene Expertinnen und Experten bei.

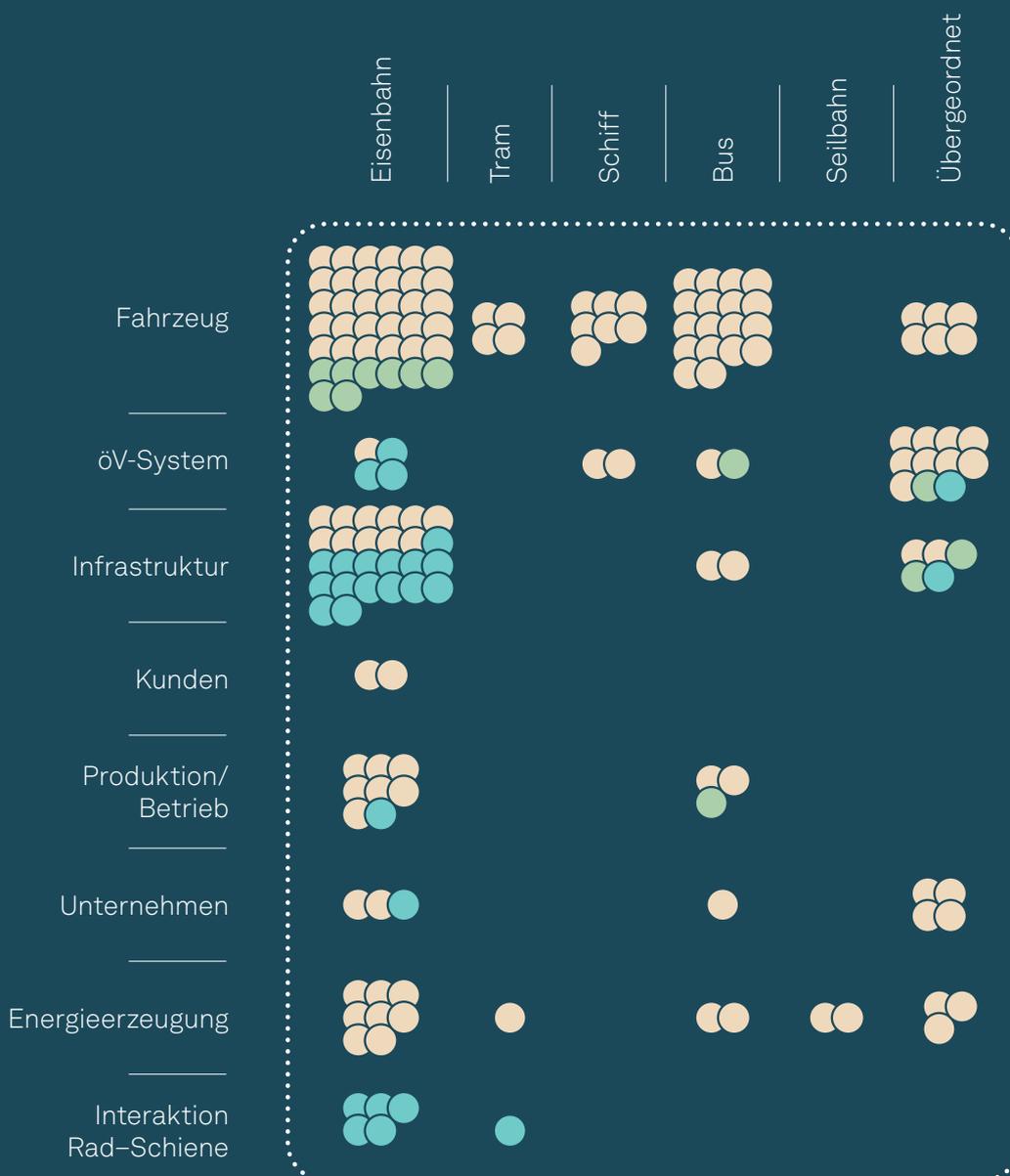
## Verkehrsmittel und Themenbereiche

Insgesamt haben bisher 174 Projekte über eines der drei Programme eine Förderung erhalten. Davon entfallen 134 auf das Programm «Energiesstrategie im öffentlichen Verkehr 2050», das am längsten laufende unter den dreien, während in der Bahninfrastrukturforschung bisher 27 und in der Innovation im öffentlichen Personenverkehr 13 Projekte unterstützt werden konnten.

Die geförderten Vorhaben decken eine breite Themenpalette ab. Der Fahrzeugbereich bildet sowohl zahlenmässig wie finanziell das Schwergewicht, flossen doch rund zwei Drittel der bisher ausbezahlten Fördermittel in Projekte, die sich auf Fahrzeuge beziehen. Zunehmend sind aber auch Arbeiten vertreten, die sich mit der Infrastruktur oder dem System des öffentlichen Verkehrs beschäftigen. Diese stammen mehrheitlich aus den Programmen «Innovation im öffentlichen Personenverkehr» und

«Bahninfrastrukturforschung» und sind tendenziell umfangreicher als die Fahrzeugprojekte.

Im Vergleich der verschiedenen Verkehrsträger ist die Eisenbahn mit Abstand am stärksten vertreten. Dies ist insofern gerechtfertigt, als sie sowohl bezüglich der Transportleistung als auch bezüglich der Aufwendungen der öffentlichen Hand der bedeutendste Sektor des öffentlichen Verkehrs ist. An zweiter Stelle folgt der öffentliche Verkehr auf der Strasse, wo in den letzten Jahren vermehrt Projekte zur Umstellung von Bussen auf nicht fossile Antriebe eingereicht wurden. Bei Seilbahnen konnten erst drei Vorhaben gefördert werden, obwohl dort Unterstützung sowohl für Innovationen im öffentlichen Personenverkehr als auch für energetische Massnahmen beantragt werden könnte.



- Projekte im Programm «Bahninfrastrukturforschung»
- Projekte im Programm «Energiesstrategie im öffentlichen Verkehr 2050»
- Projekte im Programm «Innovation im öffentlichen Personenverkehr»

# Forschungs- und Innovationsförderung beim BAV

Mit seinen drei Programmen setzt das BAV Schwerpunkte bei der Eisenbahninfrastruktur, dem öffentlichen Personenverkehr und der Energie. Sein Engagement zur Förderung von Forschung und Innovation geht aber darüber hinaus. Zusätzlich werden über eigene Gefässe die Forschung zum Eisenbahnlärm und die Innovation im Schienengüterverkehr gefördert. Bei der Eisenbahninfrastruktur können Innovationen der Betreiberinnen via Leistungsvereinbarungen gefördert werden.

Weitere Informationen zum Programm unter diesem Link:



## Forschung in der Bahninfrastruktur

Zur dauerhaften Finanzierung von Betrieb und Unterhalt, Modernisierung und Ausbau der Eisenbahninfrastruktur wurde per Volksentscheid der Bahninfrastrukturfonds (BIF) geschaffen. Er kann vom BAV auch zur Förderung von Forschungsvorhaben in diesem Bereich genutzt werden. Im Vordergrund stehen dabei Projekte, die einen Nutzen für den Werterhalt der Infrastruktur sowie ihren effizienten und sicheren Betrieb erwarten lassen.

Weitere Informationen zum Programm unter diesem Link:



## Innovation in der Bahninfrastruktur

Im Rahmen der Leistungsvereinbarungen mit den Infrastrukturbetreiberinnen kann die Innovation gefördert werden, sofern diese dem Betrieb oder Substanzerhalt der Eisenbahninfrastruktur dient. Darin eingeschlossen ist die Anpassung an den Stand der Technik und an die Erfordernisse des Verkehrs. Finanziert wird die Umsetzung neuer Lösungen, die sich auf Forschung stützen, und nicht die Forschung selbst. In diesem Sinne zielt die Finanzierung darauf ab, innovative Projekte auf der Grundlage von Forschungsergebnissen zu fördern.

Weitere Informationen  
zum Programm unter  
diesem Link:



## Energiestrategie im öffentlichen Verkehr 2050

Trotz seiner Vorteile gegenüber dem motorisierten Individualverkehr und dem Güterverkehr auf der Strasse muss auch der öffentliche Verkehr seinen Beitrag an die Energie- und Klimaziele der Schweiz leisten. Gestützt auf einen Bundesbeschluss fördert das Programm deshalb innovative Massnahmen der Branche und Forschungsprojekte zur Verbesserung der Energieeffizienz, zur Erzeugung erneuerbarer Energie und zur Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen bei allen öffentlichen Verkehrsmitteln.

Weitere Informationen  
zum Programm unter  
diesem Link:



## Innovation im öffentlichen Personenverkehr

Das Programm verfolgt das Ziel, innovative Lösungen im öffentlichen Personenverkehr zu fördern und damit die Transportunternehmen zu unterstützen, auf die Herausforderungen der Zukunft zu reagieren. Gestützt auf das Personenbeförderungsgesetz kann der Bund der Branche über dieses Programm jährlich 5 Millionen Franken zur Verfügung stellen. Die inhaltlichen Prioritäten liegen in den Bereichen Fahrzeugtechnik und fahrzeugbezogene Anlagen, Betrieb und Instandhaltung, Tarifgestaltung und Ticketing sowie Kundenerfahrung.

Weitere Informationen  
zum Programm unter  
diesem Link:



## Forschung Eisenbahnlärm

Die Forschung zum Eisenbahnlärm ergänzt die zweite Etappe der Lärmsanierung des Netzes. Der Bund finanziert, gestützt auf das 2013 revidierte Lärmsanierungsgesetz, mit Mitteln von insgesamt 25 Millionen Franken Forschungsvorhaben, die mit Massnahmen an Schienenfahrzeugen oder an der Infrastruktur zur Verminderung von Lärmemissionen führen. Das Programm wird vom Bundesamt für Umwelt (BAFU) in enger Koordination mit dem BAV geführt.

Weitere Informationen  
zum Programm unter  
diesem Link:



## Technische Neuerungen im Schienengüterverkehr

Zur Weiterentwicklung des Schweizer Schienengüterverkehrs sind umfassende Innovationen notwendig. Das BAV unterstützt technische Neuerungen durch Investitionsbeiträge an die Akteure im Schienengüterverkehr, insbesondere für den Einsatz von automatischer Kupplung und automatischer Bremsprobe.

# Mitmachen

## Wer kann mitmachen?

Die drei Programme «Bahninfrastrukturforschung», «Energiestrategie im öffentlichen Verkehr 2050» und «Innovation im öffentlichen Personenverkehr» richten sich an Transportunternehmen (TU), Hochschulen und die Industrie. Projekte mit einer gemeinsamen Trägerschaft werden begrüsst. Von besonderem Interesse sind Partnerschaften, bei denen TU mitarbeiten und die Ergebnisse nutzen. Für die Förderung im Bereich der Ressortforschung Eisenbahnlärm und der technischen Neuerungen im Schienengüterverkehr gelten eigene Bestimmungen (für weitere Informationen siehe Verweise auf der vorangehenden Seite).

## Wie hoch ist der Förderbeitrag?

Das BAV beteiligt sich in der Regel mit bis zu 40 % (ESöV 2050: 50 %) an den ausgewiesenen Projektkosten. Je nach Situation sind auch tiefere oder höhere Beiträge bis zu einer Vollfinanzierung möglich. In jedem Fall sind die Vorgaben des Subventionsgesetzes einzuhalten. Eigenleistungen der Projektpartner können angerechnet werden.

## Welche inhaltlichen Voraussetzungen müssen die Projekte erfüllen?

Bahninfrastrukturforschung: Die eingereichten Projekte müssen einen ausreichenden Bezug zu den Zielen des Bahninfrastrukturfonds aufweisen und mindestens einem der Schwerpunktthemen des aktuellen Forschungsprogramms Bahninfrastruktur (siehe Website) zugeordnet werden können.

Energiestrategie im öffentlichen Verkehr 2050: Grundsätzlich können Projekte eingereicht werden, welche einen innovativen Beitrag an die Steigerung der Energieeffizienz oder der Nutzung erneuerbarer Energie im öffentlichen Verkehr leisten.

Innovation im öffentlichen Personenverkehr: Die Projekte müssen vier Kriterien kumulativ erfüllen: 1. Die Lösung darf nicht bereits im Schweizer öV verfügbar oder getestet worden sein. 2. Das Projekt betrifft grösstenteils den öffentlichen Personenverkehr. 3. Die Risiken sind beherrschbar. 4. Die Lösung bietet Nutzenden und/oder den TU im öffentlichen Personenverkehr einen erheblichen Nutzen.

## Welche Projekte eignen sich nicht?

Bahninfrastrukturforschung: Projekte, welche keinen direkten Bezug zur Bahninfrastruktur aufweisen, können nicht berücksichtigt werden.

Energiestrategie im öffentlichen Verkehr 2050: Projekte im Bereich der Grundlagenforschung, Pilot- und Demonstrationsprojekte sowie Serienausrüstungen werden vom BAV nicht gefördert.

Innovation im öffentlichen Personenverkehr: Das Innovationsprogramm unterstützt hauptsächlich Pilot- und Demonstrationsprojekte, Feldtests und Analysen. Je nach Fall können auch Projekte auf dem Gebiet der experimentellen Entwicklung gefördert werden. Projekte, die nicht diesen Kategorien zugeordnet werden können, erhalten keine Förderung durch das BAV.

## Wie und wann kann man sich bewerben?

Bahninfrastrukturforschung: Die Gesuche können laufend mit dem Antragsformular Bahninfrastrukturforschung eingereicht werden.

Energiestrategie im öffentlichen Verkehr 2050: Reichen Sie für Ihr Vorhaben eine Interessensbekundung ein. Die Abgabefrist ist jeweils der 31. Januar bzw. der 30. Juni.

Innovation im öffentlichen Personenverkehr: Die Gesuche können laufend mit dem Antragsformular Innovation im öffentlichen Personenverkehr eingereicht werden.

## Was gilt es sonst noch zu beachten?

Um die Finanzmittel der Programme so wirkungsvoll wie möglich einzusetzen, begrüsst das BAV gemeinschaftliche Projekte. Dabei sind folgende Formen denkbar:

- Arbeitsgemeinschaften (z. B. in Form einer Zusammenarbeit zwischen mehreren TU oder zwischen TU, der Industrie und/oder Hochschulen)
- Folgestudien (z. B. Vertiefung von Fragestellungen, die in einem vorangehenden Projekt nicht abschliessend untersucht werden konnten)
- Partnerstudien (Bearbeitung verschiedener Aspekte des gleichen Themas in unterschiedlichen Projekten)
- Metastudien (z. B. Auswertung der bisherigen Arbeiten zu einem bestimmten Thema)

## Wo gibt es weitere Informationen?

Die Bewerbungsunterlagen und weitere Angaben zur Ausschreibung finden Sie unter [www.bav.admin.ch/forschung](http://www.bav.admin.ch/forschung) unter dem jeweiligen Programm. Für einen einfachen Zugang nutzen Sie die QR-Codes neben den Programmbeschreibungen

## **IMPRESSUM**

### **Herausgeber**

Bundesamt für Verkehr (BAV)  
CH-3003 Bern  
Mai 2025  
[forschung@bav.admin.ch](mailto:forschung@bav.admin.ch)  
[www.bav.admin.ch/forschung](http://www.bav.admin.ch/forschung)

### **Steuerungsgruppe**

Mélanie Attinger, BAV  
Stephan Husen, BAV  
Christophe Le Borgne, BAV  
Markus Liechti, BAV  
Philipp Mosca, BAV  
Stany Rochat, BAV

### **Projektleitung und Redaktion**

Rémy Chrétien, Federas Beratung AG

### **Konzeption und Layout**

moxi ltd., Biel/Bienne

### **Bildnachweis**

Personenporträts: Mark Balsiger, Albin Gehriger, Thao Nhi La, Nils Sandmeier  
Fotos zu den Projekten zur Verfügung gestellt von ACTS, BAV, Frey Stans AG, Getzner, HES-SO, HSLU / ETHZ, Hupac, SBB, SIKA, SMC, SOB, TU Berlin, VBZ  
Titelseite: Schiffahrtsgesellschaft Vierwaldstättersee (SGV)/rogergreutter.com

Zusätzliche Exemplare dieser Broschüre können beim Herausgeber kostenlos bestellt werden.

### **Versions linguistiques**

Cette publication est également disponible en français.

**Bundesamt für Verkehr (BAV)**  
CH-3003 Bern

[forschung@bav.admin.ch](mailto:forschung@bav.admin.ch)  
[www.bav.admin.ch/forschung](http://www.bav.admin.ch/forschung)