

Perspektive BAHN 2050



Studie zum Kernsatz 8

«Der Ausbau und Unterhalt der Schieneninfrastruktur sowie der Bahnbetrieb sind energieeffizient und treibhausgasneutral. Die Bahn nutzt Potenziale für die Produktion von erneuerbaren Energien.»

Abschlussbericht, 13.8.2021

Autoren

Matthias Rücker, SBB Energie

Matthias Tuchschnid, SBB Energie

Christian Schirmer, SBB Konzern, Center of Competence Circular Economy

Marcel Reinhard, SBB Energie

Begleitgruppe

BAV Marionna Lutz
Christophe Mayor
Tristan Chevroulet
Hans-Jörg Althaus, INFRAS für
Stabstelle Planung des BAV

BFE Christoph Schreyer

SBB Annette Antz

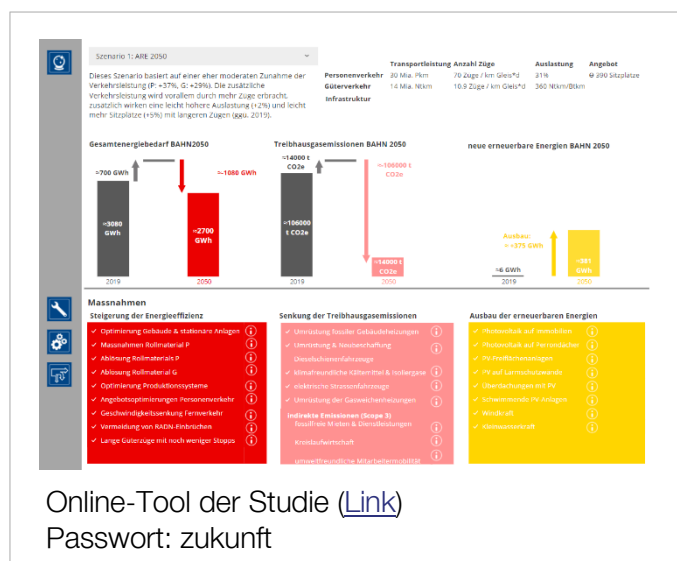
Impressum

Auftraggeberin

Bundesamt für Verkehr BAV
Marionna Lutz, Sektion Planung
CH-3003 Bern

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

Bern, den 13.8.2021



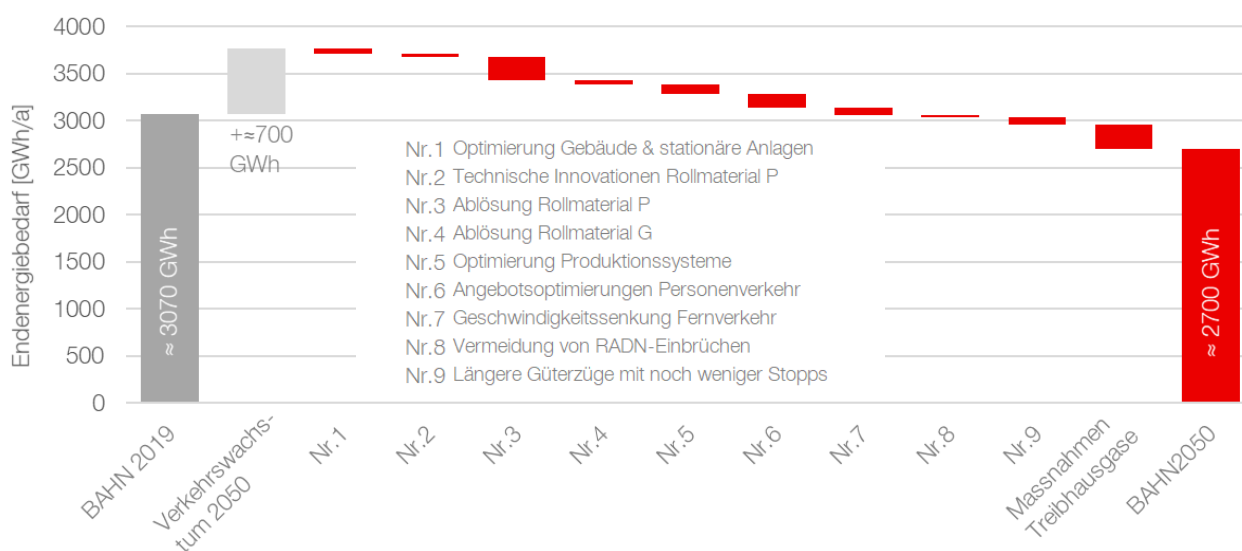
Management Summary

Für den Kernsatz 8 der Langfristplanung vom BAV wurde in dieser Studie das System BAHN 2050 bezüglich der Steigerung der Energieeffizienz, der Senkung der Treibhausgasemissionen und dem Ausbau von erneuerbaren Energien untersucht. Auf Basis der bisherigen Erfahrungen im Programm «Energiesparen und erneuerbare Energie» der SBB und umfangreichen Interviews mit Fachexperten wurden insgesamt 25 Einzelmassnahmen identifiziert und in ihrer Wirkung quantifiziert. Zusätzlich wurden alle Massnahmen hinsichtlich ihrer Umsetzbarkeit bezüglich technischer Reife, der Wirtschaftlichkeit und der Rahmenbedingungen bewertet.

Diese Massnahmen wurden in drei Szenarien auf das Jahr 2050 angewendet und in ihren Auswirkungen auf die Energie- und Treibhausgasbilanz bewertet. Im Fokus der Studie stand das Szenario «ARE 2050», bei dem die Annahmen der Verkehrsperspektive 2040 für das Jahr 2050 zu Grunde liegen, die Anforderungen einer Verdoppelung des Modalsplits im schienengebundenen Personen- und Güterverkehr wurden im Szenario «Verdoppelung Modalsplit» abgebildet. Das Szenario «Best effort» steht bezüglich Transportleistung zwischen den anderen beiden Szenarien und bildet die gemäss Experten maximal mögliche Transportleistung ab.

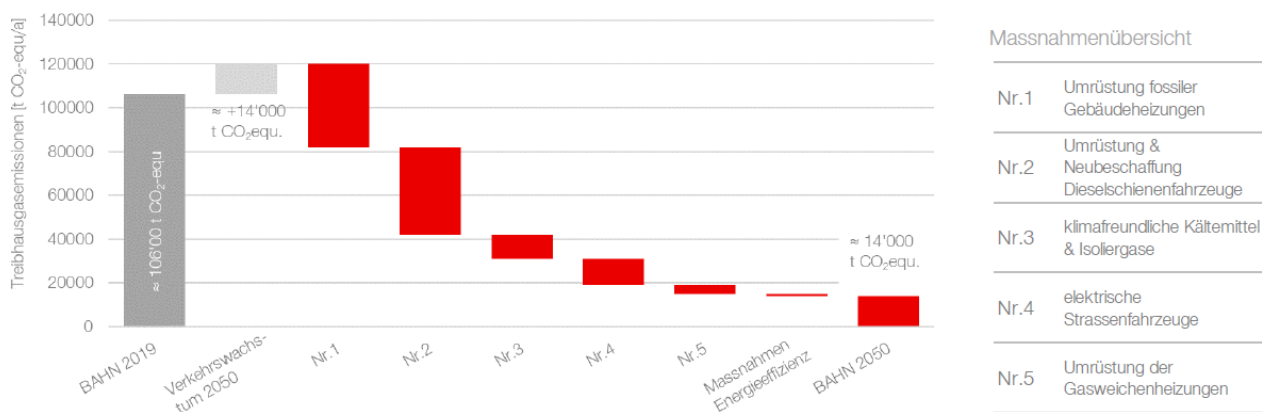
Weniger Energie mit mehr Verkehrsleistung im Jahr 2050 (Szenario ARE 2050)

Die Ergebnisse zeigen, dass bei einer vollständigen Umsetzung aller Massnahmen und einem moderaten Ausbau der Verkehrsleistung (P = +38%, G = +28%) eine Reduktion des Endenergiebedarfs um rund 10% ggü. dem Gesamtenergiebedarf von 2019 realistisch ist. Die Massnahmen mit den grössten Wirkungen sind der Ersatz des heute eingesetzten Rollmaterials durch energieeffizienteres Rollmaterial, die Angebotsoptimierung im Personenverkehr und die Massnahmen zur Senkung der Treibhausgasemissionen. Mit Umsetzung aller Massnahmen basiert das System BAHN noch stärker auf Strom: Rund 96% des Endenergiebedarfes (≈2600 GWh) stammen aus eigenen Kraftwerken (Wasserkraft und PV) oder werden eingekauft.



Reduktion der direkten Treibhausgasemissionen, aber Bedeutung der indirekten steigt weiter an.

Eine Reduktion der direkten Treibhausgasemissionen um 85% auf rund 14'000 tCO₂eq/a ist realistisch. Die grössten Reduktionen werden durch den Ersatz fossiler Gebäudeheizungen sowie die Umrüstung und Neubeschaffung von Dieselschienenfahrzeugen erzielt.



Wichtig ist den Fokus auch auf die indirekten Emissionen aus der Vor- und Nachkette (Scope 3) zu setzen: Der Anstieg der Verkehrsleistungen benötigt unausweichlich den Ausbau von zusätzlicher Bahninfrastruktur, welcher signifikante indirekte Emissionen auslöst. Schon bei einem moderaten Ausbau der Schieneninfrastruktur gemäss Szenario «ARE 2050» (Annahme: +157 Gleiskilometer) entsprechen allein die indirekten Emissionen aus dem Ausbau rund dem Dreifachen der betrieblichen Emissionen. Bei einem Ausbau gemäss Szenario «Verdoppelung Modalsplit» (Annahme: +857 Gleiskilometer) sind die indirekten Emissionen aus dem Neubau rund 18-25 mal höher als die direkten Treibhausgasemissionen.

Eine grosse Bedeutung haben entsprechend Massnahmen zur Senkung der indirekten Emissionen beim Bau der Eisenbahninfrastruktur. Zur Senkung der indirekten Emissionen tragen auch Vorgaben für die nachhaltige Beschaffung von Dienstleistungen und die Anwendung von Kreislaufwirtschafts-Konzepten bei.

Erhöhung der Produktion erneuerbarer Energien, vor allem im Bereich Photovoltaik

Das Gesamtpotential zum Ausbau der Produktion der erneuerbaren Energien beträgt ~375 GWh/a und deckt damit rund 14% des Endenergiebedarfs im Szenario ARE 2050. Mit den bestehenden Grosswasserkraftwerken müsste dann im Szenario «ARE 2050» nur noch Strom im Umfang von 8% eingekauft werden, d.h. das System BAHN 2050 wäre weitgehend energieautark.

Im Szenario «Verdoppelung Modalsplit» stellt sich aufgrund des wesentlich höheren Energiebedarfs die Lage anders dar: Auch bei einem Ausbau der Produktion erneuerbarer Energien auf 375 GWh/a müssten immer noch rund 1500 GWh an Strom aus dem 50Hz-Netz beschafft werden (d.h. 40% der Gesamtenergie).

Das grösste Potential bietet eine konsequente Ausrüstung von PV-Anlagen am Gebäudepark des Systems BAHN. Der zukünftige Ausbau der erneuerbaren Energien hängt wesentlich von der Schweizer Energiepolitik ab. Damit verbundene regulatorische Veränderungen können die Potentiale im System BAHN vervielfachen.

Zielkonflikte in Angebotskonzeption transparent benennen

Die Angebotskonzeption und die Fahrplangestaltung haben einen sehr grossen Einfluss auf den Energiebedarf. Aus Perspektive «Energieeffizienz» soll das BAV deshalb Angebotskonzepte bevorzugen, welche möglichst homogene Trassengeschwindigkeiten aufweisen, einen möglichst flexiblen Einsatz der Gefässgrössen ermöglichen und ausreichend Zeitreserven beinhalten. Den Autoren ist bewusst, dass solche Angebotskonzepte Zielkonflikte zu Kundennutzen, unternehmerischen Freiheiten oder Kundenkomfort aufweisen können. Gerade deshalb sollen diese Zielkonflikte bereits in der Planung auf Korridorebene entsprechend quantifiziert und transparent ausgewiesen werden.

Finanzierung von Massnahmen über zusätzliche LV-Mittel und Programme

Die Bahnunternehmen der Schweiz können aufgrund der regulatorischen Bestimmungen und der Vorgaben der jeweiligen Eigner nicht frei Geld am Markt aufnehmen, aufgrund von Covid-19 ist die Finanzlage der meisten Bahnunternehmen angespannt. Es besteht die Gefahr, dass aufgrund von Repriorisierungen von Finanzmitteln die Massnahmenumsetzung stockt oder gar stoppt. Deshalb sollte das BAV den ISB's einen direkten Auftrag zur Umsetzung von Massnahmen im Kernsatz 8 formulieren. Zudem sollen aus dem BIF zusätzliche Finanzmittel für die Umsetzung der identifizierten Massnahmen bereitgestellt werden, die Ausgestaltung der LV 25-28 bietet entsprechende Möglichkeiten.

Nach Einschätzung der Autoren kann die Transition zu einer deutlich energieeffizienten, weitgehend klimaneutralen BAHN 2050 mit vertretbaren finanziellen Ressourcen erreicht werden. Zusammen mit der gesteigerten Produktion von erneuerbaren Energien wird das System BAHN seiner Vorbildfunktion im Rahmen der Energiestrategie 2050 gerecht: Der Umweltvorteil Bahn wird nicht nur gewahrt, sondern bekräftigt.

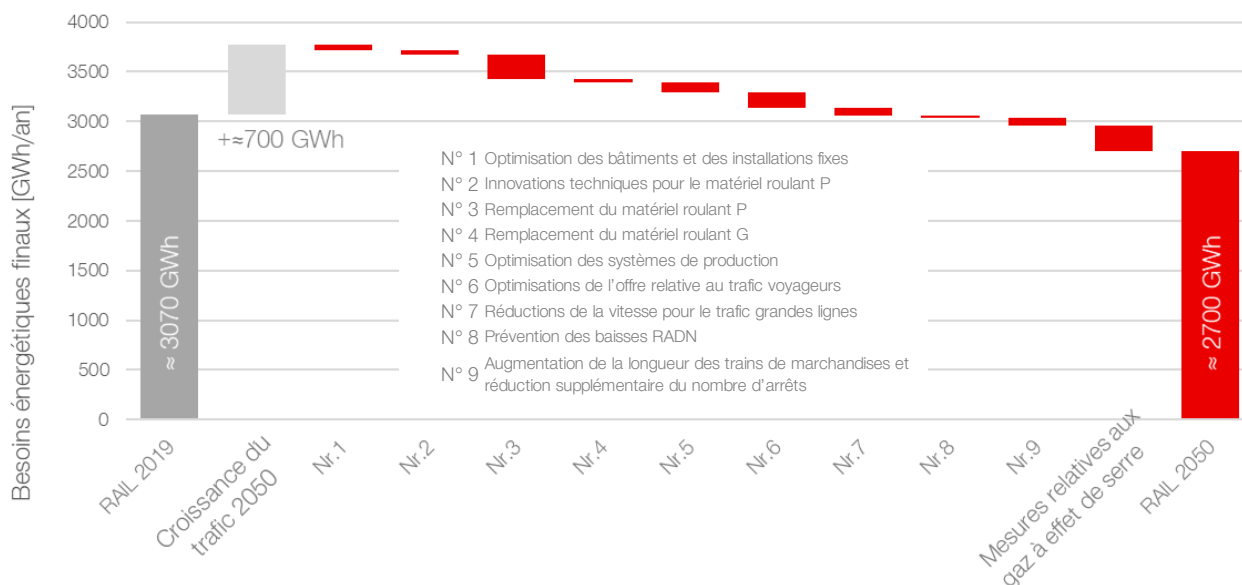
Synthèse

Cette étude s'inscrit dans le cadre du principe directeur 8 de la planification à long terme de l'OFT. Elle se penche sur la perspective RAIL 2050 en ce qui concerne l'augmentation de l'efficacité énergétique, la réduction des émissions de gaz à effet de serre et le développement des énergies renouvelables. Sur la base de l'expérience acquise dans le cadre du programme «Économies d'énergie et énergies renouvelables» des CFF et d'entretiens approfondis avec des experts, un total de 25 mesures isolées ont été définies et leur impact quantifié. En outre, toutes ces mesures ont été analysées quant à leur faisabilité en termes de maturité technique, de rentabilité et de conditions-cadres.

Ces mesures ont été appliquées à l'année 2050 dans trois scénarios et leurs effets sur le bilan énergétique et les émissions de gaz à effet de serre ont été évalués. L'étude s'est concentrée sur le scénario "ARE 2050", qui repose sur les hypothèses de la perspective de transport 2040 pour l'année 2050 ; les exigences d'un doublement de la répartition modale dans le transport ferroviaire de passagers et de marchandises ont été cartographiées dans le scénario "Doublement de la répartition modale". Le scénario "Best effort" se situe entre les deux autres scénarios en termes de performance de transport et représente la performance de transport maximale possible selon les experts.

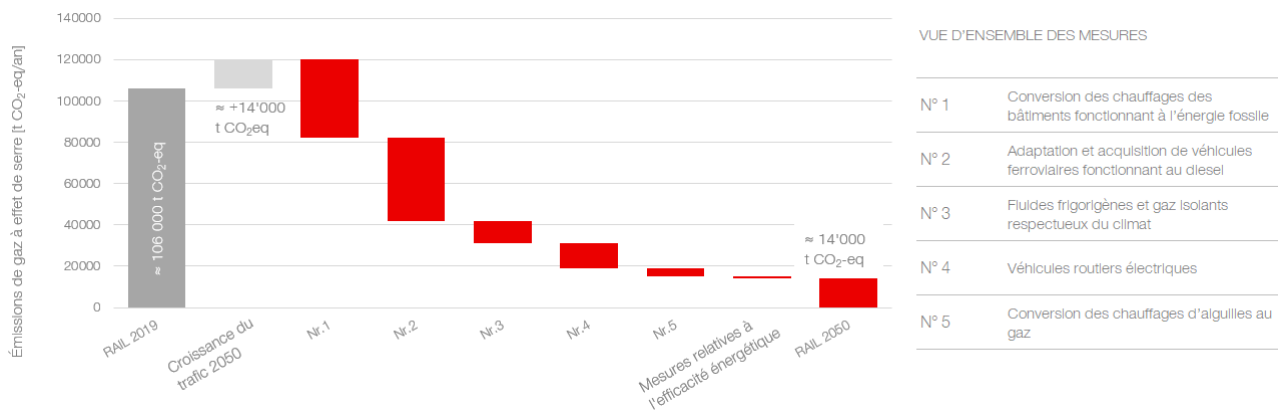
Moins d'énergie pour plus de prestations de transport en 2050 (scénario «ARE 2050»)

Les résultats montrent qu'en mettant pleinement en œuvre toutes les mesures et en développant modérément la prestation de transport (P = +38%, G = +28%), une réduction des besoins énergétiques finaux d'environ 10% par rapport aux besoins énergétiques totaux de 2019 est réaliste. Les mesures ayant le plus d'impact sont le remplacement du matériel roulant actuellement utilisé par du matériel roulant plus performant sur le plan énergétique, l'optimisation de l'offre relative au trafic voyageurs ainsi que les mesures visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre. En appliquant toutes ces mesures, la perspective RAIL s'appuie encore plus fortement sur l'électricité: près de 96% des besoins énergétiques finaux (≈2600 GWh) proviennent de nos propres centrales électriques (énergie hydraulique et photovoltaïque) ou sont achetés.



Réduction des émissions directes de gaz à effet de serre, mais importance toujours croissante des émissions indirectes.

Une réduction des émissions directes de gaz à effet de serre de 85%, pour atteindre environ 14 000 tonnes équivalent CO₂ par an, est réaliste. Les mesures ayant le plus d'impact sont le remplacement des chauffages des bâtiments fonctionnant à l'énergie fossile ainsi que l'adaptation et l'acquisition de nouveaux véhicules ferroviaires fonctionnant au diesel.



Il est également important de se concentrer sur les émissions indirectes en amont et en aval (objectif n° 3): l'augmentation du nombre de prestations de transport passe inévitablement par le développement d'infrastructures ferroviaires supplémentaires, ce qui engendre d'importantes émissions indirectes. Même en développant modérément l'infrastructure ferroviaire selon le scénario «ARE 2050» (hypothèse: +157 kilomètres de voies), les émissions indirectes qui découlent de ce simple développement équivalent environ au triple des émissions issues de l'exploitation. En développant l'infrastructure ferroviaire selon le scénario «Doublement de la répartition modale» (hypothèse: +857 kilomètres de voies), les émissions indirectes qui en résultent sont environ 18 à 25 fois supérieures aux émissions directes de gaz à effet de serre.

Par conséquent, les mesures visant à réduire les émissions indirectes revêtent une grande importance dans le développement de l'infrastructure ferroviaire. Les prescriptions relatives à l'acquisition durable de prestations et à l'application de concepts d'économie circulaire contribuent également à la réduction des émissions indirectes.

Augmentation de la production d'énergies renouvelables, notamment dans le domaine du photovoltaïque

Le potentiel total d'augmentation de la production d'énergies renouvelables est d'environ 375 GWh par an et couvre ainsi près de 14% des besoins énergétiques finaux selon le scénario «ARE 2050». Avec les grandes centrales hydrauliques existantes, seuls 8% de l'électricité devraient alors être achetés selon ce même scénario, c'est-à-dire que la perspective RAIL 2050 serait largement autosuffisante en énergie.

Dans le scénario «Doublement de la répartition modale», la situation est différente en raison des besoins énergétiques nettement plus élevés: même en augmentant la production d'énergies renouvelables pour la porter à 375 GWh par an, il faudrait encore se procurer quelque 1500 GWh d'électricité issue du réseau 50 Hz (soit 40% de l'énergie totale).

La mise en place systématique d'installations photovoltaïques sur le parc immobilier de la perspective RAIL offre le plus grand potentiel. Le développement futur des énergies renouvelables dépend en grande partie de la politique énergétique suisse. Les modifications réglementaires connexes peuvent multiplier les potentiels que présente la perspective RAIL.

Identification des objectifs contradictoires de manière transparente lors de la conception de l'offre

La conception de l'offre et l'élaboration de l'horaire exercent une influence considérable sur les besoins énergétiques. Du point de vue de l'efficacité énergétique, l'OFT devrait donc privilégier les concepts d'offre qui présentent les vitesses de sillons les plus homogènes possibles, qui permettent l'utilisation la plus souple possible des capacités en places assises et qui prévoient des réserves de temps

suffisantes. Les auteurs sont conscients que ces concepts d'offre peuvent poursuivre des objectifs contradictoires en termes d'utilité pour la clientèle, de liberté entrepreneuriale ou de confort pour la clientèle. C'est précisément pour cette raison que les objectifs contradictoires doivent être quantifiés et identifiés en conséquence au niveau des corridors dès la phase de planification, et ce de manière transparente.

Financement de mesures par le biais de programmes et d'investissements CP supplémentaires

Les compagnies ferroviaires suisses ne peuvent pas lever de fonds librement sur le marché en raison des dispositions réglementaires et des prescriptions de leurs propriétaires respectifs; la pandémie de coronavirus fait que la situation financière de la plupart des entreprises de chemin de fer est tendue. Il existe un risque que la mise en œuvre des mesures soit ralentie, voire interrompue, en raison de la redéfinition des priorités en matière de ressources financières. L'OFT devrait donc adresser un mandat direct aux GI pour qu'ils appliquent les mesures relevant du principe directeur 8. En outre, des fonds supplémentaires provenant du FIF devraient être mis à disposition pour la mise en œuvre des mesures définies; l'élaboration de la CP 2025-2028 offre des possibilités correspondantes.

Selon les auteurs, la transition vers un RAIL 2050 sensiblement efficace sur le plan énergétique et quasiment neutre sur le plan climatique peut être réalisée avec des ressources financières raisonnables. Avec l'augmentation de la production d'énergies renouvelables, la perspective RAIL remplit son rôle de modèle dans le cadre de la Stratégie énergétique 2050: l'avantage écologique du rail est non seulement conservé, mais aussi réaffirmé.

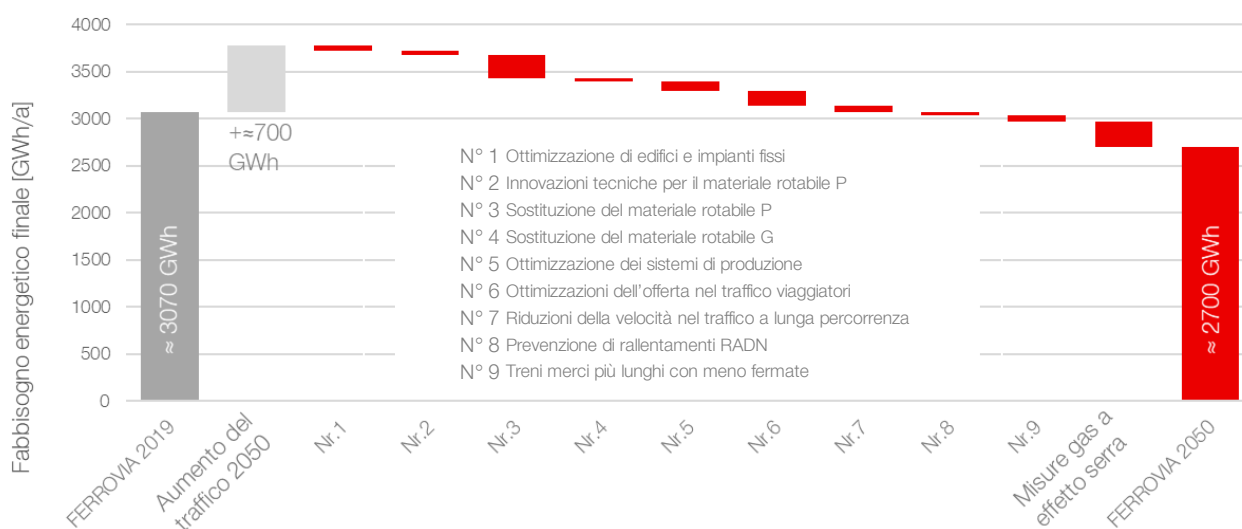
Sintesi della gestione

Per il concetto 8 della pianificazione a lungo termine dell'UFT, il presente studio ha esaminato il sistema FERROVIA 2050 in relazione ad aumento dell'efficienza energetica, riduzione delle emissioni di gas a effetto serra e potenziamento di energie rinnovabili. Sulla base delle esperienze finora raccolte nell'ambito del programma di energie rinnovabili e risparmio energetico delle FFS e di approfonditi colloqui intercorsi con esperti, sono state identificate complessivamente 25 misure di cui si è provveduto a quantificare l'efficacia e valutare l'attuabilità in riferimento a maturità tecnica, economicità e condizioni quadro.

Queste misure sono state applicate all'anno 2050 in tre scenari e sono stati valutati i loro effetti sul bilancio energetico e delle emissioni di gas serra. Lo studio si è concentrato sullo scenario "ARE 2050", che si basa sulle ipotesi della prospettiva di trasporto 2040 per l'anno 2050; i requisiti di un raddoppio della ripartizione modale nel trasporto passeggeri e merci su rotaia sono stati mappati nello scenario "Raddoppiamento split modale". Lo scenario "Best effort" si trova tra gli altri due scenari in termini di prestazioni di trasporto e rappresenta la massima prestazione di trasporto possibile secondo gli esperti.

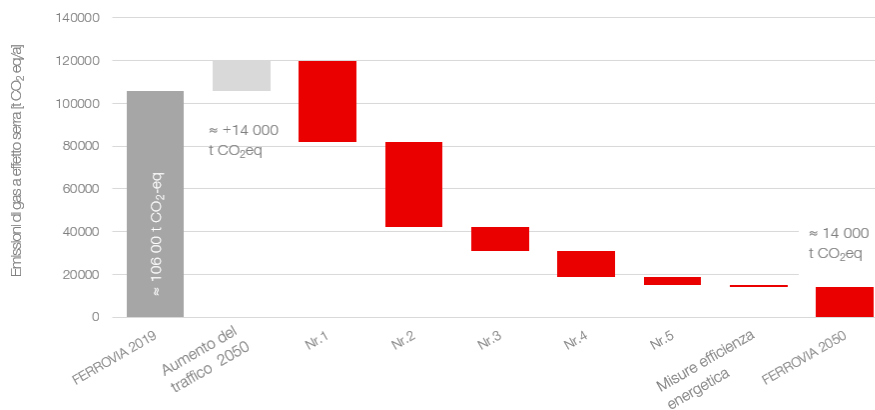
Scenario ARE 2050: meno energia a fronte di un aumento delle prestazioni di trasporto

I risultati illustrano che con la piena implementazione di tutte le misure e un potenziamento moderato delle prestazioni di trasporto (viaggiatori = +38%, merci = +28%) si profila come realistica una riduzione del fabbisogno di energia del 10% circa rispetto ai valori complessivi del 2019. Le misure più efficaci sono la sostituzione del materiale rotabile attualmente utilizzato con materiale a maggiore efficienza energetica, l'ottimizzazione dell'offerta nel traffico viaggiatori e l'adozione di provvedimenti volti a ridurre le emissioni di gas a effetto serra. Attraverso l'attuazione di tutte le misure, il sistema FERROVIA punta sempre più sull'energia elettrica, con un 96% circa del fabbisogno energetico finale (≈ 2600 GWh) acquistato o coperto da centrali di proprietà (energia idroelettrica e fotovoltaica).



Riduzione delle emissioni dirette di gas a effetto serra a fronte di un continuo aumento della rilevanza di quelle indirette.

È realistico un taglio dell'85% delle emissioni dirette di gas a effetto serra, fino ad arrivare a circa 14 000 tCO₂ eq/a. Le riduzioni maggiori si ottengono sostituendo il riscaldamento a combustibili fossili degli edifici e convertendo i veicoli ferroviari diesel o acquistandone di nuovi.



PANORAMICA DELLE MISURE

N° 1	Conversione del riscaldamento a combustibili fossili degli edifici
N° 2	Conversione di veicoli ferroviari diesel o nuovi acquisti
N° 3	Gas isolanti e prodotti refrigeranti rispettosi del clima
N° 4	Veicoli stradali elettrici
N° 5	Conversione del riscaldamento degli scambi a gas

È importante concentrarsi anche sulle emissioni indirette nella catena a monte e a valle (Scope 3): l'aumento delle prestazioni di trasporto richiede inevitabilmente il potenziamento di infrastruttura ferroviaria supplementare, con conseguenti emissioni indirette significative. Già un potenziamento moderato dell'infrastruttura ferroviaria secondo lo scenario «ARE 2050» (ipotesi: +157 chilometri di binari) triplicherebbe le sole emissioni indirette rispetto alle emissioni operative. Un potenziamento secondo lo scenario «Raddoppiamento split modale» (ipotesi: +857 chilometri di binari) causerebbe emissioni indirette da nuove costruzioni pari a 18-25 volte le emissioni dirette di gas a effetto serra.

Assumono pertanto notevole importanza le misure volte a ridurre tali emissioni nella fase di costruzione dell'infrastruttura ferroviaria. Al taglio delle emissioni indirette contribuiscono anche le prescrizioni per l'acquisto sostenibile di servizi e l'applicazione di piani di economia circolare.

Aumento della produzione di energie rinnovabili, soprattutto in ambito fotovoltaico

Il potenziale complessivo di ampliamento della produzione di energie rinnovabili, pari a ~375 GWh/a, copre il 14% circa del fabbisogno energetico finale dello scenario ARE 2050. Secondo questo scenario, grazie alle grandi centrali idroelettriche esistenti sarebbe necessario acquistare energia elettrica solo per un 8%: di conseguenza, il sistema FERROVIA 2050 sarebbe ampiamente autonomo dal punto di vista energetico.

Lo scenario «Raddoppiamento split modale», che prevede un fabbisogno di energia molto più elevato, presenta una situazione diversa: anche in caso di ampliamento della produzione di energie rinnovabili a 375 GWh/a, sarebbe comunque necessario procurarsi dalla rete a 50 Hz altri 1500 GWh circa di energia elettrica (pari al 40% dell'energia complessiva).

Il potenziale maggiore potrà essere garantito dotando sistematicamente di impianti fotovoltaici il parco edifici del sistema FERROVIA. Il futuro potenziamento delle energie rinnovabili dipende sostanzialmente dalla politica energetica svizzera. I mutamenti normativi connessi sono in grado di moltiplicare il potenziale del sistema FERROVIA.

Presentazione trasparente dei conflitti tra obiettivi che emergono nell'elaborazione del concetto d'offerta

L'elaborazione del concetto d'offerta e la strutturazione dell'orario influiscono notevolmente sul fabbisogno di energia. Dal punto di vista dell'efficienza energetica, l'UFT dovrebbe quindi prediligere concetti d'offerta che prevedano velocità quanto più possibile omogenee sul tracciato, consentano la massima flessibilità possibile nell'impiego delle capacità dei veicoli e includano riserve di tempo sufficienti. Gli autori sanno che gli obiettivi di tali concetti possono essere in contrasto con finalità quali la garanzia di benefici e comodità ai clienti o la libertà imprenditoriale: proprio per questo motivo è necessario quantificare i conflitti già durante la pianificazione a livello di corridoio e indicarli con trasparenza.

Finanziamento delle misure con programmi e risorse CP supplementari

Le imprese di trasporto ferroviario della Svizzera non possono usufruire liberamente di prestiti sul mercato a causa delle disposizioni normative e delle prescrizioni dei rispettivi proprietari. A causa della pandemia, gran parte di esse versa in difficoltà finanziarie. Sussiste il pericolo che la ridefinizione delle priorità delle risorse finanziarie rallenti o addirittura blocchi la realizzazione delle misure. L'UFT dovrebbe quindi formulare nel concetto 8 un incarico diretto di attuazione delle misure rivolto ai gestori dell'infrastruttura. Inoltre, occorre ricavare dal FlnFer risorse finanziarie supplementari per realizzare le misure individuate. La strutturazione della CP 2025-2028 offre strumenti adeguati.

Secondo gli autori, la transizione verso una FERROVIA 2050 notevolmente efficiente sotto il profilo energetico e pressoché a impatto zero è attuabile con risorse finanziarie sostenibili. Questo, insieme all'aumento della produzione di energie rinnovabili, consentirà al sistema FERROVIA di espletare la propria funzione di modello nell'ambito della strategia energetica 2050: il vantaggio ambientale della ferrovia non solo sarà garantito, ma ne uscirà rafforzato.

Inhaltsverzeichnis

Management Summary	3
1. Einleitung	14
2. Fragestellung und Überblick	15
3. Geschätzter Energiebedarf und Treibhausgasbilanz BAHN 2019	16
3.1. Vorgehen und Methodik	16
3.2. Energiebedarf BAHN 2019	18
3.3. Treibhausgasbilanz BAHN 2019	19
3.4. Kenngrößen indirekte Treibhausgasemissionen vom Bau der Eisenbahninfrastruktur	23
4. Geschätzter Energiebedarf und Treibhausgasbilanz BAHN 2050	25
4.1. Vorgehen und Methodik	25
4.2. Prognostizierter Energiebedarf BAHN 2050 ohne Massnahmen	29
4.3. Prognostizierte Treibhausgasbilanz BAHN 2050 ohne Massnahmen	29
5. Steigerung der Energieeffizienz	30
5.1. Massnahmen	30
5.2. Gesamtpotential im Jahr 2050 zur Steigerung der Energieeffizienz	32
6. Senkung der Treibhausgasemissionen	34
6.1. Massnahmen, Teil 1 (Treibhausgasemissionen Scope 1 & 2)	35
6.2. Massnahmen, Teil 2 (Treibhausgasemissionen Scope 3)	36
6.3. Gesamtpotential im Jahr 2050 zur Senkung der Treibhausgasemissionen	38
7. Erhöhung der Produktion von erneuerbarem Strom	40
7.1. Vorgehen und Methodik	40
7.2. Massnahmen	42
7.3. Gesamtpotential BAHN 2050 zum Ausbau der erneuerbaren Energien	44
8. Synthese	47
8.1. Online-Tool	47
8.2. Szenario I: ARE 2050	48
8.3. Szenario II: Best effort	50
8.4. Szenario III: Verdoppelung Modalsplit	51
9. Empfehlungen	53
10. Anhang	56
10.1. Quellenverzeichnis	56
10.2. Massnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz: Steckbriefe	57
10.3. Massnahmen zur Reduktion der Treibhausgasemissionen: Steckbriefe	66
10.4. Massnahmen zur Erhöhung der Produktion von erneuerbarem Strom: Steckbriefe	75
10.5. Verwendete Emissionsfaktoren	84
10.6. Herleitung von einzelnen Energieeffizienzpotentialen	85
10.7. Beispiele zirkulärer Design-Anforderungen	91

Abkürzungsverzeichnis

ADL	Adaptive Lenkung, stellt eine direkte Datenverbindung zwischen dem Rail Control System (RCS) und dem Lokpersonal her, die Funktion wurde im Jahr 2015 eingeführt und verhilft dem Bahnverkehr zur grünen Welle, hat den Preis Watt d'Or im Jahr 2016 gewonnen.
CE	Steht für Circular Economy, resp. die Konzepte der Kreislaufwirtschaft, der Steckbrief ist auf Seite 66 und 67 abgebildet.
ESöV	Abkürzung des Programmnamens "Energiestrategie im öffentlichen Verkehr" vom BAV, unterstützt die Massnahmen von Transportunternehmen, Zulieferindustrie und Behörden zur Steigerung der Energieeffizienz, dem Ausstieg aus der Kernenergie, der Senkung des CO ₂ -Ausstosses und der Produktion erneuerbarer Energie.
EVU	Eisenbahnverkehrsunternehmen, Unternehmen, das Personen- und/oder Güterverkehr auf eigener oder fremder Infrastruktur betreibt. In der Schweiz sind viele Bahnunternehmen sowohl Infrastrukturbetreiberin als auch Eisenbahnverkehrsunternehmen.
GWP	Global Warming Potential. Das relative Treibhauspotential oder CO ₂ -Äquivalent einer chemischen Verbindung gibt an, wie viel eine bestimmte Masse eines Treibhausgases über einen bestimmten Zeitraum (i.d.R. 100 Jahre) im Vergleich zur gleichen Masse CO ₂ zur globalen Erwärmung beiträgt (IPCC 2014).
HFKW	Teilfluorierte Kohlenwasserstoffe, das heute in Kühlanlagen eingesetzte Kältemittel R134a zählt zu dieser Gruppe von Stoffen.
HVO	Steht für «Hydrotreated Vegetable Oils» und ist eine Abkürzung für hydrierte Pflanzenöle, wird auch als sogenannter synthetischer Diesel der 2. Generation bezeichnet, unterscheidet sich aus chemischer Sicht deutlich vom sogenannten FAME-Diesel (Fatty acid methyl ester). Relevant ist die Herkunft der Grundstoffe, aus ökologischer Sicht ist höchstens die Nutzung von Rest- und Abfallgrundstoffen sinnvoll.
ISB	Infrastrukturbetreiberin, Betreiberin und in der Regel Besitzerin von Infrastrukturanlagen für den Eisenbahnverkehr (öffentliches Eisenbahnnetz). Der grössere Teil der schweizerischen Bahngesellschaften ist sowohl Infrastrukturbetreiberin als auch Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU). Die Finanzierung der ISB erfolgt durch Leistungsvereinbarungen vom Bund.
LCC	Beim Life-cycle costing (Lebenszykluskostenrechnung) werden die Kosten eines Produkts über dessen gesamte Lebensdauer betrachtet, d.h. von der Entwicklung bis zur Entsorgung (European Commission 2021).
LV	Leistungsvereinbarung vom Bund (vertreten durch das BAV) und einem Infrastrukturbetreiber, enthält die Leistungen für den Betrieb, zur Erhaltung und Entwicklung der bestehenden Infrastruktur (Substanzerhalt).
RADN	Streckentabelle der Höchstgeschwindigkeiten für die Züge, die Abkürzung RADN steht für die Zugreihen R (Reisezüge), A (Güterzüge mit v _{max} =120 km/h), D (Güterzüge mit v _{max} =100 km/h) und N (Neigezüge)
RCS	Rail Control System, Verkehrsmanagementsoftware zur Disposition, Steuerung und Überwachung des Zugverkehrs im Normalspurnetz der Schweiz. Die Software ist seit 2009 in Betrieb und wird durch TMS abgelöst.
SF ₆	Schwefelhexafluorid, Isoliergas in elektrischen Schaltanlagen. Zu unterscheiden sind die beiden Typen AIS (Air-insulated switchgear bzw. luftisolierte Schaltanlage mit einer Füllmenge von rund 6kg SF ₆ pro Anlage) und GIS (Gas-insulated switchgear bzw. gasisolierte Schaltanlage mit rund 94kg SF ₆ pro Anlage). Wenn der lokal verfügbare Bauraum eingeschränkt ist, kann keine AIS-Anlage gebaut werden.
TMS	Traffic Management System, Nachfolgesystem von RCS zur Steuerung der Züge auf dem Netz. Entwicklung wird in mehreren Modulen vorangetrieben, System ist ab 2025 operativ.
vPRO	Funktion im Personenverkehr für eine pünktliche und energiesparende Bahnproduktion, ist mit der Weiterentwicklung von ADL entstanden und seit Januar 2021 flächendeckend bei SBB Personenverkehr, BLS Personenverkehr und thurbo in Betrieb. Neu werden dem Lokpersonal die Zeiten von Ankunft und Abfahrt in 10-Sekundenschritten angezeigt, zusätzlich erhält das Lokpersonal mit der vPRO-Geschwindigkeit die minimal notwendige Geschwindigkeit für eine pünktliche Zielerreichung.

1. Einleitung

Gegenwärtig wird durch das BAV die Langfristperspektive BAHN 2050 erarbeitet, als Ausgangspunkt dienen insgesamt 8 Kernsätze. In einer ersten Phase werden die möglichen Auswirkungen auf die Bahn mittels Studien eruiert. Diese Phase soll nebst den Vorgaben der vorhandenen Strategien explizit auch Out of the box-Überlegungen zulassen.¹ Der für diese Studie relevante Kernsatz 8 lautet:

«Der Ausbau und Unterhalt der Schieneninfrastruktur sowie der Bahnbetrieb sind energieeffizient und treibhausgasneutral. Die Bahn nutzt Potenziale für die Produktion von erneuerbaren Energien.»

Darin abgebildet sind die drei Zielsetzungen, welche direkt aus der übergeordneten Energiestrategie 2050 stammen: a) Steigerung der Energieeffizienz, b) Senkung der Treibhausgasemissionen und c) Erhöhung der Produktion erneuerbarer Energie. In dieser Studie wird deshalb analysiert, wie sich der Energiebedarf und die Treibhausgasemissionen im Bahnsystem für das Jahr 2050 entwickeln, mit welchen Massnahmen der Energiebedarf und die Treibhausgasemissionen minimiert sowie die Produktion erneuerbarer Energie im Bahnsystem 2050 gefördert werden können.

Perspektive BAHN 2050 mit Kernsätzen

Der Bundesrat hat den Auftrag, die Langfristperspektive Bahn im Hinblick auf die Planung des nächsten Ausbaus schritts zu überarbeiten. Der Arbeitstitel lautet Perspektive BAHN 2050, darin werden aus den vorliegenden Bundesstrategien die relevanten Stossrichtungen für den nationalen sowie den internationalen Schienenpersonen- und Schienengüterverkehr abgeleitet. Der übergeordnete Rahmen bildet der Sachplan Verkehr. Einen zentralen Stellenwert bei der Erarbeitung der Perspektive BAHN 2050 haben neu das 2017 vom Stimmvolk angenommene revidierte Energiegesetz und das Klimaziel 2050 "Netto-Null Treibhausgasemissionen", das der Bundesrat am 28. August 2019 beschlossen hat.

Verkehrsverlagerung auf die Bahn als Beitrag zum Klimaziel

Wichtig ist die Betrachtung der Mobilität aus einer übergeordneten, systemischen Sicht: Eine Verkehrsverlagerung zugunsten der Bahn trägt erheblich zur Reduktion der Treibhausgasemissionen sowie zu einer verträglichen Raumentwicklung bei, sofern der verwendete (Mehr-)Energiebedarf erneuerbar, nachhaltig produziert ist. Die Stärken der Bahn, insbesondere die grosse Beförderungskapazität auf kleiner Fläche und der vergleichsweise geringere Energieverbrauch bei guter Auslastung, sowie die technologischen Innovationen sind zu nutzen, um eine Verlagerung des motorisierten Strassenverkehrs auf die Bahn zu unterstützen. Aus diesen Überlegungen leitet sich die Vision für die Perspektive BAHN 2050 ab:

«Die Bahn leistet dank effizienter Nutzung ihrer Stärken einen grossen Beitrag zum Klimaziel 2050 und dem Lebens- und Wirtschaftsstandort Schweiz.»

Zur Konkretisierung der Vision wurden insgesamt 8 Kernsätze erstellt, welche ein breites Spektrum von Themen und Trends abdecken: den Personenverkehr (Binnenverkehr und grenzüberschreitend), den Güterverkehr (Binnenverkehr und grenzüberschreitend), Finanz und Wirtschaft (Digitalisierung), die Gesellschaft (Alterung, Individualisierung, Multimodalität), sowie Raum, Energie und Umwelt.

¹ In der zweiten Phase (Q3/Q4 2021) werden die strategischen Stossrichtungen für den Ausbau des Eisenbahnnetzes festgelegt. Dies erfolgt in Abstimmung mit den vorhandenen Strategien, wie der Klimastrategie Teil Verkehr sowie dem SPV Teil Programm. In der dritten Phase (bis Ende 2022) werden diese strategischen Stossrichtungen in Bezug auf das Eisenbahnnetz konkretisiert. Auf Korridorebene werden Aussagen zu Angebotsdichte, Fahrzeiten und Mobilitätsdrehscheiben gemacht.

2. Fragestellung und Überblick

In dieser Studie werden die folgenden drei Fragen im Zeithorizont 2050 detailliert betrachtet und analysiert:

- Wie kann die Energieeffizienz bei der Bahn gesteigert werden, auch bei einer Verdoppelung des Modalsplits BAHN?
- Welche Massnahmen unterstützen die Senkung der Treibhausgasemissionen bei der Bahn?
- Welches Potential bietet die Bahn für eine Erhöhung der eigenen Produktion von erneuerbaren Energien und welche Massnahmen sind notwendig?

Explizit wird im gesamten Bericht das System BAHN betrachtet, d.h. die Infrastrukturbetreiber (ISB) und Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU) innerhalb der Schweiz, weitere Details zur Abgrenzung dazu in der untenstehenden TextBox. Dieser Bericht ist wie folgt aufgebaut:

- In Kapitel 3 werden der Energiebedarf und die Treibhausgasemissionen des Systems BAHN 2019 geschätzt, diese Daten dienen als Grundlage für die nachhergehende Extrapolation auf das Jahr 2050 und die Quantifizierung der Massnahmen.
- In Kapitel 4 werden der Energiebedarf und die Treibhausgasbilanz für das System BAHN 2050 ohne Massnahmen ermittelt, als Basis dienen drei verschiedene Szenarien.
- Darauf aufbauend beinhalten die Kapitel 5 bis 7 die Massnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz, zur Senkung der Treibhausgasemissionen und zum Ausbau der Produktion von erneuerbarer Energie.
- In Kapitel 8 wird eine Synthese von Kapitel 4 bis 7 vorgenommen, d.h. der zukünftige Energiebedarf und die Treibhausgasemissionen für das System BAHN 2050 werden unter Berücksichtigung der Massnahmen abgeschätzt. Ebenfalls beschrieben ist die Verwendung des Online-Tools, mit welchem Interessierte den Einfluss von einzelnen Parametern selbst abschätzen können.
- Das Kapitel 9 beinhaltet übergeordnete Empfehlungen zuhanden des BAV.

System BAHN der Schweiz

Das in diesem Bericht betrachtete System BAHN umfasst die Infrastrukturbetreiber (ISB) und Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU) mit der geografischen Grenze Schweiz, d.h. der schienengebundene Personen- und Güterverkehr aller Normal- und Schmalspurbahnen in der Schweiz.

- Als Energiebedarf berücksichtigt wird der Bedarf an Bahnstrom (16.7Hz), Gleichstrom oder Diesel für die Traktion in der Schweiz. Zusätzlich werden die stationären und strassengebundenen Energieverbräuche der ISB und EVU betrachtet.
- Explizit ausgeklammert werden die Seilbahnen und der schienengebundene öffentliche Nahverkehr städtischer Verkehrsbetriebe (z.B. Trams).
- Das System BAHN transportierte im Jahr 2019 im Personentransport insgesamt 21.7 Mia Pkm und im Güterverkehr 10.1 Mia. Ntkm (VöV 2021). Weiter wurden im System BAHN pro Tag 3.4 Mio. Reisende transportiert, insgesamt belief sich die Anzahl Zugkilometer im Personentransport auf 201 Mio. km.

3. Geschätzter Energiebedarf und Treibhausgasbilanz BAHN 2019

3.1. Vorgehen und Methodik

Für das System BAHN 2019 sind nur einige globale Kennziffern bekannt, beispielsweise aus der Energiestatistik der Gesamtenergiebedarf (BFE 2020). Für das System SBB 2019 sind hingegen relativ genaue Daten zum Endenergiebedarf vorhanden. Im Rahmen dieser Studie wird zur Abschätzung des Energiebedarfs und der Treibhausgasbilanz des Systems BAHN 2019 deshalb eine Extrapolation vorgenommen (siehe Abbildung 1).

In einem ersten Schritt wird der Energiebedarf der SBB aus dem Jahr 2019 entsprechend den Systemgrenzen zusammengezogen. Explizit wird für die beiden Tochterunternehmen SBB seehas GmbH und SBB Cargo International nur der Energiebedarf innerhalb der Schweiz berücksichtigt. Anschliessend wird für jede einzelne Kategorie ein Skalierungsfaktor festgelegt, um von den Daten der SBB ausgehend den Gesamtenergiebedarf des Systems BAHN 2019 zu ermitteln. Diese Skalierungsfaktoren sind in Tabelle 1 detaillierter beschrieben.

In einem zweiten Schritt wird die Treibhausgasbilanz aufgrund der einzelnen Energieverbräuche und den jeweiligen Emissionsfaktoren berechnet. Die Emissionsfaktoren entsprechen dem sogenannten Greenhouse Gas-Standard (GHG) und sind im Anhang in Kapitel 10.5 aufgeführt.

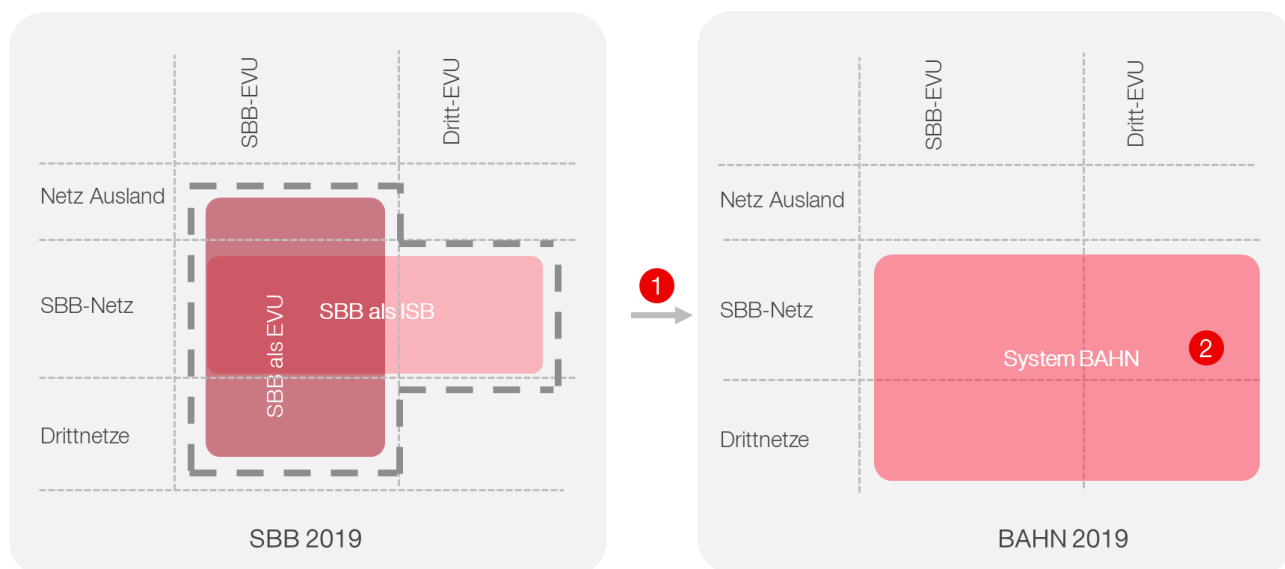


Abbildung 1: Extrapolation von SBB 2019 auf BAHN 2019 und Berechnung der Treibhausgasbilanz

Tabelle 1: Skalierungsfaktoren für Extrapolation von SBB 2019 auf BAHN 2019, inkl. Quellen.

SBB 2019	Division	Wert	BAHN 2019	Wert	Anteil SBB	Faktor
Bahnstrom 16.7 Hz ⁽¹⁾	P&G	1762 GWh	Bahnstrom Gesamtsystem (16.7 Hz)	2199 GWh	80.1%	1.25
Verkehrsleistung SBB Personenverkehr ⁽²⁾	P	19.7 Mia. Pkm	Gesamtverkehrsleistung Personenverkehr	21.7 Mia. Pkm	90.8%	1.10
Trassenkilometer Personenverkehr ⁽³⁾	P	138.4 Mio Zugkm	Zugkilometer Personenverkehr Gesamtsystem	201 Mio Zugkm	68.9%	1.45
Bahnstrom SBB P (RV & FV) auf allen CH-Netzen ⁽⁴⁾	P	1455 GWh	Bahnstrom Personenverkehr (alle EVU & ISB's)	1712 GWh	85.0%	1.18
Verkehrsleistung Güterverkehr SBB Cargo, ohne SBB Cargo International ⁽⁵⁾	G	6.0 Mia Ntkm	Verkehrsleistung Güterverkehr	10.1 Mia. Ntkm	59.2%	1.69
Bahnstrom SBB G & G Int auf allen CH-Netzen ⁽⁶⁾	G	307 GWh	Bahnstrom Güterverkehr (alle EVU's & ISB's)	487 GWh	63.0%	1.59
Trassenkilometer SBB Cargo & SBB Cargo Int in CH ⁽⁷⁾	G	22.4 Mio. Gkm	Zugkilometer Güterverkehr Gesamtsystem	28 Mio. Gkm	80.0%	1.25
Anzahl Dieselloks ⁽⁸⁾	G	76 Loks	Anzahl Dieselloks	80 Loks	95.0%	1.05
Streckenkilometer ⁽⁹⁾	I	3236 km	Streckenkilometer	4307 km	75.1%	1.33
Gleiskilometer ⁽¹⁰⁾	I	6745 km	Gleiskilometer	9443 km	71.4%	1.40
Ein-/Aussteigende Bhf. SBB 2019, durchschn. tägl. Verkehr (Mo-So) ⁽¹¹⁾	IM	3'310'400 Reisende	Ein-/Aussteigende alle Bhf. 2019	3'451'770 Reisende	95.9%	1.04

Generell stammen die Zahlen der obigen Tabelle zu SBB 2019 vom Statistikportal (<https://reporting.sbb.ch>) bzw. vorgelagerten Datenquellen, die Zahlen zu BAHN 2019 von verschiedenen Publikationen. Im Detail wurden die Skalierungsfaktoren wie folgt hergeleitet:

1)	Zahlen basieren auf Einspeisung Bahnstrom von SBB Energie an Unterwerken, resp. der abgerechneten Energie im Jahr 2019. Die Verluste zwischen Unterwerk und Lok, resp. Drittverbraucher sind in den Zahlen nicht berücksichtigt.
2)	Gemäss SBB Statistikportal und BFS-Publikation "Verkehrsleistungen im Personenverkehr", online verfügbar unter Direktlink .
3)	Gemäss SBB Statistikportal und BFS-Publikation "Öffentlicher Verkehr (inkl. Schienengüterverkehr) - Übersicht", online verfügbar unter Direktlink .
4)	Hergeleitet mit Berechnung: Bahnstrom Personenverkehr = Bahnstrom Gesamtsystem (1) – Strom Güterverkehr (6)
5)	Gemäss SBB Statistikportal und BFS-Publikation "Öffentlicher Verkehr (inkl. Schienengüterverkehr) - Übersicht", online verfügbar unter Direktlink .
6)	Gemäss BFE-Publikation «Energieverbrauch nach Einsatzzweck», Tabelle 40: Gesamtstrom für Güterverkehr wird auf 1.8 PJ Bahnstrom geschätzt, d.h. 487 GWh Bahnstrom.
7)	Gemäss SBB Statistikportal und BFS-Publikation "Öffentlicher Verkehr (inkl. Schienengüterverkehr) - Übersicht", online verfügbar unter Direktlink .
8)	Summe der Rangierlokomotiven gemäss Netzzustandsberichten SBB (76) und BLS (4).
9)	Gemäss Statistik Verband öffentlicher Verkehr Schweiz.
10)	Hergeleitet gemäss Netzzustandsbericht SBB 2019 und BLS 2019.
11)	Gemäss Open-Data-Plattform Mobilität Schweiz, Ein- und Aussteigende, online verfügbar unter Direktlink .

3.2. Energiebedarf BAHN 2019

Die untenstehende Abbildung 2 zeigt das Sankey-Diagramm über den geschätzten Bedarf der verschiedenen Energieträger und deren Hauptnutzung im System BAHN 2019. Im Rahmen dieser Studie konnte auf die prinzipielle Thematik der Stromherkunft und dessen Kennzeichnung mittels Herkunftsnachweisen² nicht eingegangen werden.

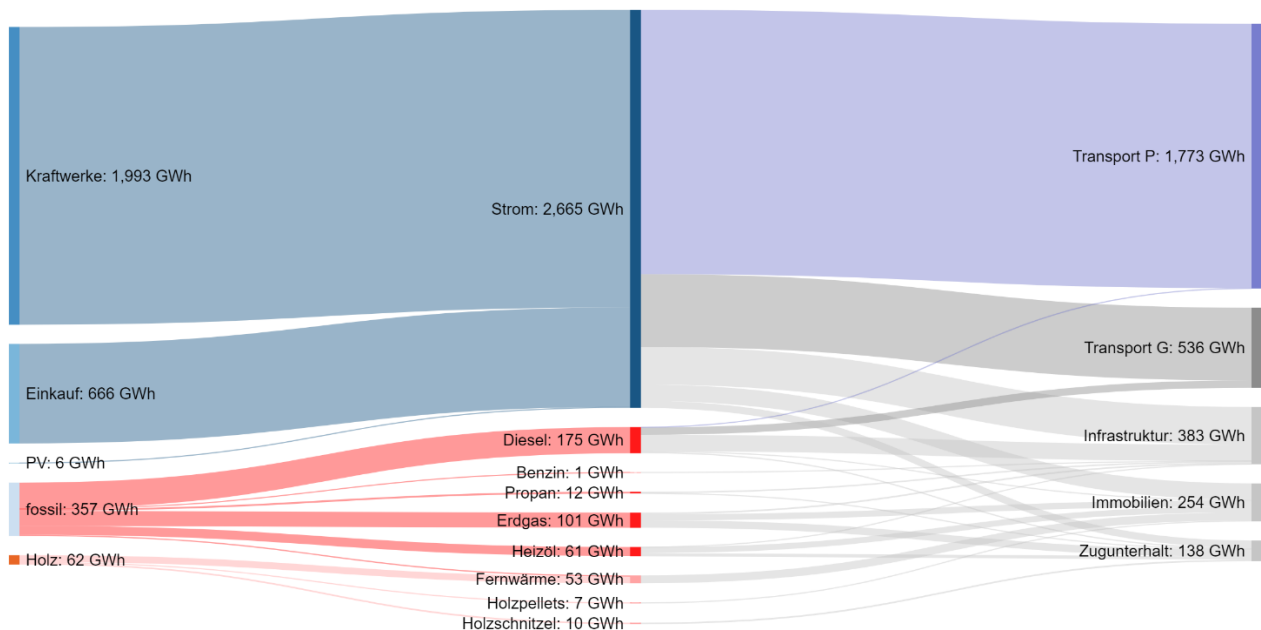


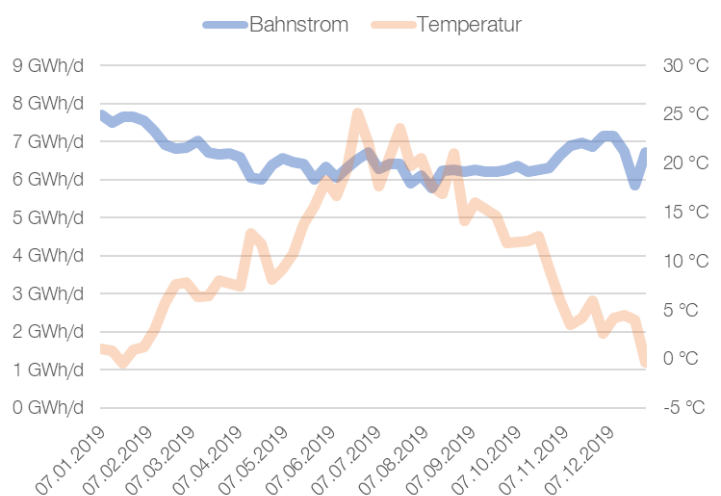
Abbildung 2: Sankey-Diagramm der geschätzten Energieflüsse im System BAHN 2019

Die eigenen Kraftwerke von SBB Energie im Bahnstromnetz (16.7Hz) lieferten im Jahr 2019 insgesamt 1993 GWh an Bahnstrom, zusätzlich wurden schätzungsweise 666 GWh an Strom eingekauft (v.a. aus dem 50-Hz-Netz). Aus der Photovoltaikproduktion im System BAHN stammten im Jahr 2019 rund 6 GWh. Damit stammen rund 85% des Endenergiebedarfes aus Strom, resp. 2665 GWh. Aus fossilen Energieträgern stammten insgesamt rund 360 GWh, besonders relevant war der Dieselbedarf der Lokomotiven von Infrastruktur und Güterverkehr (175 GWh, resp. rund 17 Mio. Liter) und Heizöl und Erdgas für die Raumwärme (≈ 160 GWh).

Saisonaler Bahnstrombedarf

Die nebenstehende Grafik zeigt den saisonalen Verlauf der täglich ins Bahnstromnetz von SBB Infrastruktur eingespeisten Energie aus dem Jahr 2019 (Ebene Unterwerk, Wochendurchschnitt). Sobald die Aussentemperatur unter 5°C fällt, so erhöht sich der Bahnstrombedarf leicht.

Verantwortlich dafür ist vor allem die Beheizung des Rollmaterials von Personenverkehr, nur ein sehr kleiner Teil entfällt auf die elektrisch betriebenen Weichenheizanlagen (Schätzung ≈ 0.06 GWh/d).



² Die SBB besitzt eine Kernkraftwerksbeteiligung und wies im Jahr 2019 für den im Bahnbetrieb abgesetzten Strom gemäss Kennzeichnungspflicht die Stromherkunft mit 90% Wasserkraft und 10% Atomstrom aus.

3.3. Treibhausgasbilanz BAHN 2019

Zu den Treibhausgasen zählen neben CO₂ unter anderem auch Methan, Lachgas, verschiedene halogenierte Kältemittel oder Schwefelhexafluorid (SF₆). Davon haben im System BAHN CO₂, Methan, Kältemittel und SF₆ eine gewisse Relevanz. Zur besseren Vergleichbarkeit werden in der Bilanzierung die Mengen jeweils in CO₂-Äquivalente³ umgerechnet.

Unterscheidung in direkte und indirekte Treibhausgasemissionen

Als Quasistandard für die Bilanzierung dient das sogenannte «Greenhouse Gas Protocol»⁴, bei dem die direkten und indirekten Treibhausgasemissionen mit den sogenannten «Scopes» unterschieden wird:

- Scope 1: Treibhausgasemissionen, die direkt aus dem Betrieb des Unternehmens resultieren (Bsp. für Bahnunternehmen: Betrieb von Diesellokomotiven).
- Scope 2: Treibhausgasemissionen, die aus der Erzeugung von Elektrizität zur Versorgung des Unternehmens sowie der Heizung und Kühlung des Unternehmens resultieren (Bsp. Bahnunternehmen: Methanemissionen aus Stauseen, Verluste von Kältemitteln aus Klimaanlage von Personenzügen).
- Scope 3: Treibhausgasemissionen aus der Wertschöpfungskette, d.h. der Vor- und Nachkette des Unternehmens (Bsp. Bahnunternehmen: Einkauf von Stahl, bei dessen Produktion und Transport Treibhausgasemissionen in der Vorkette bzw. bei der Produktion und dem Transport anfallen).

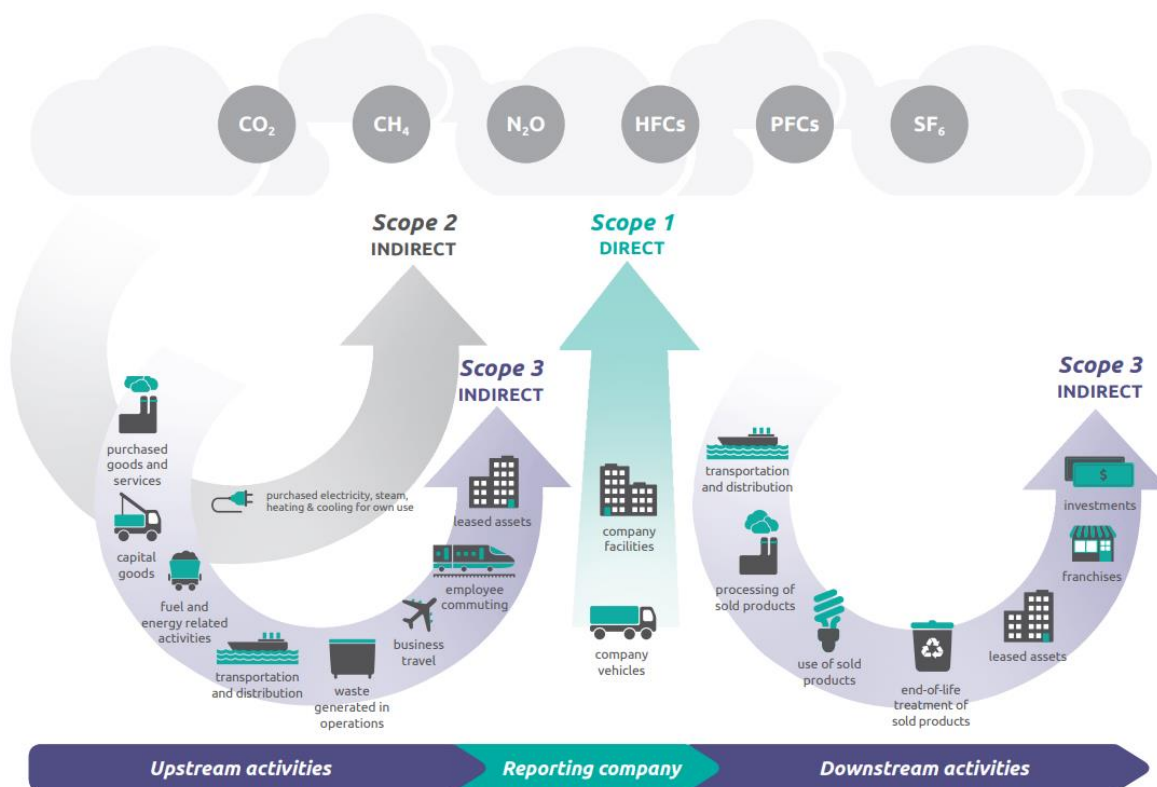


Abbildung 3: Darstellung der drei Arten von Treibhausgasemissionen gemäß Greenhouse Gas Protocol.

³ Die Abkürzung lautet kg CO₂eq (für engl. *equivalent*), dieser Wert beschreibt die mittlere Erwärmungswirkung eines bestimmten Treibhausgases über einen bestimmten Zeitraum (meist 100 Jahre) im Vergleich zur Erwärmungswirkung von CO₂.

⁴ World Resources Institute und des World Business Council for Sustainable Development (WRI, WBCSD 2004, S. 25-31)

Fokus der Studie auf direkten Emissionen (Scope 1 & 2), Abschätzung der indirekten Emissionen

In Absprache mit dem Auftraggeber⁵ liegt der Fokus dieser Studie auf den direkten Treibhausgasemissionen (Scope 1 & 2). Die Gründe dazu liegen im bisher beschränkten Wissen, der hohen Komplexität des Themas und der erst verhältnismässig kurzen, aber vertieften Beschäftigung der verschiedenen Personen mit dem Thema. Die indirekten Emissionen werden in dieser Studie wie folgt abgeschätzt:

- Auf Seite 22 wird die Abschätzung der indirekten Emissionen der SBB gezeigt, diese basiert auf einer Quantifizierung des Einkaufsvolumens. Aus den Daten wird unter anderem auch hergeleitet, mit welchen indirekten Treibhausgasemissionen der Bau und Unterhalt der Eisenbahninfrastruktur verbunden ist.
- In Abschnitt 3.4. werden aus verschiedenen Ökobilanz-Untersuchungen Kenngrössen hergeleitet, welche die indirekten Treibhausgasemissionen für den Bau von einem Eisenbahnkilometer Strecke, Tunnel und Brücke abschätzen.
- In Kapitel 6.2. sind punktuelle Massnahmen zur Senkung der indirekten Treibhausgasemissionen formuliert. Diese Massnahmen stellen potentiell grosse Hebel zur Senkung der Treibhausgasemissionen im System BAHN dar, können allerdings aufgrund des fehlenden Wissens noch nicht näher quantifiziert werden.
- In der Synthese in den Abschnitten 8.2 bis 8.4 werden neben den direkten Emissionen auch die indirekten Emissionen für den Bau der Bahninfrastruktur in den einzelnen Szenarien abgeschätzt.

Zu beachten ist, dass alle obigen Abschätzungen aus heutiger Sicht erst eine erste Einordnung erlauben, die Thematik birgt einen beträchtlichen Forschungsbedarf.

Abschätzung der direkten Treibhausgasemissionen im System BAHN 2019 (Scope 1 & 2)

Mit der in Kapitel 3.1 beschriebenen Methodik wird eine Bezifferung der direkten Treibhausgasemissionen im System BAHN vorgenommen, insgesamt ergeben sich für das Ausgangsjahr jährliche Emissionen von rund 106'000 t CO₂eq/a. Explizit soll hier aber erwähnt werden, dass es sich um Abschätzungen handelt, die mit entsprechenden Unsicherheiten verbunden sind.

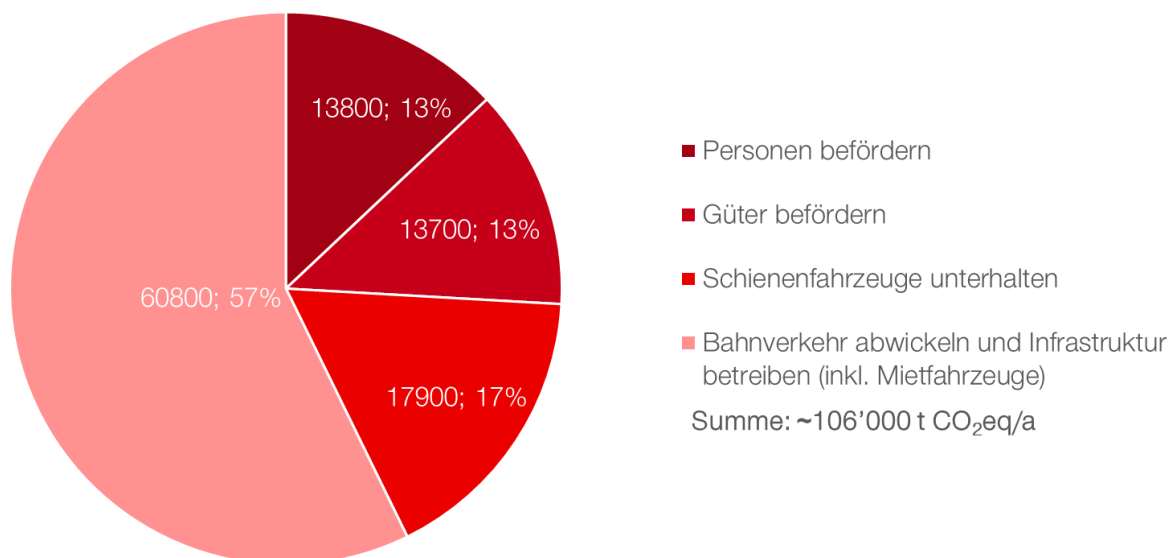


Abbildung 4: Treibhausgasemissionen System BAHN 2019 (Scope 1&2, in t CO₂eq/a).

⁵Treffen vom 16. April 2021.

Mehr als die Hälfte der Emissionen entfällt auf die Abwicklung des Bahnverkehrs und den Betrieb der Infrastruktur. Die restlichen Emissionen verteilen sich relativ gleichmässig auf den Personen- und Gütertransport sowie den Unterhalt der Schienenfahrzeuge. Die untenstehende Tabelle 2 zeigt die detaillierte Aufteilung dieser Kategorien. Grösste Emittenten sind hierbei die Bahnhofs-, Betriebs- und Bürogebäude (≈23%) sowie die schienengebundenen Unterhalts- und Baufahrzeuge (≈22%).

Tabelle 2: Abschätzung der Treibhausgasemissionen im System BAHN 2019 für Scope 1&2.

Kategorie	Subkategorie	[t CO ₂ eq/a]
Personen befördern	Verlust von Kältemitteln	11'000
	Treibstoffverbrauch von Lokomotiven	900
	Bahnstromverbrauch aus eigener Stromproduktion, SF ₆	900
	Bahnstromverbrauch aus eigener Stromproduktion, Methan	900
	Bahnstromverbrauch aus zugekauftem Strom	200
Güter befördern	Treibstoffverbrauch von Lokomotiven	13'300
	Bahnstromverbrauch aus eigener Stromproduktion, SF ₆	200
	Bahnstromverbrauch aus eigener Stromproduktion, Methan	200
Schienenfahrzeuge unterhalten	Werkstätten und Serviceanlagen für Schienenfahrzeuge vom Personenverkehr	14'300
	Strassenfahrzeugflotte Personenverkehr	1'700
	Werkstätten und Serviceanlagen für Schienenfahrzeuge vom Güterverkehr	1'200
	Strassenfahrzeugflotte Güterverkehr	500
	Konzernweit eingekaufte Gefahrstoffe mit flüchtigen org. Kohlenwasserst. (VOC)	200
Bahnverkehr abwickeln & Infrastruktur betreiben	Betriebs- und Bürogebäude, Bahnhöfe	24'600
	Schienengebunde Unterhalts- und Baufahrzeuge	23'400
	Strassenfahrzeugflotte Infrastruktur	6'800
	Einsatz von Brennstoffen für Bahnanlagen	4'200
	Strassenfahrzeugflotte Immobilien	1'400
	Mietfahrzeuge	300
	Einsatz von Bahnstrom für Bahnanlagen	200

Abschätzung der indirekten Treibhausgasemissionen im System BAHN 2019 (Scope 3)

Die Untersuchungen bei der SBB haben ergeben, dass die indirekten Emissionen aus der Vor- und Nachkette (Scope 3) rund das Zehnfache der direkten Emissionen betragen (Stand 2019). Die untenstehende Abbildung 5 zeigt die Aufteilung der indirekten Emissionen anhand einer Abschätzung über das Einkaufsvolumen der SBB.

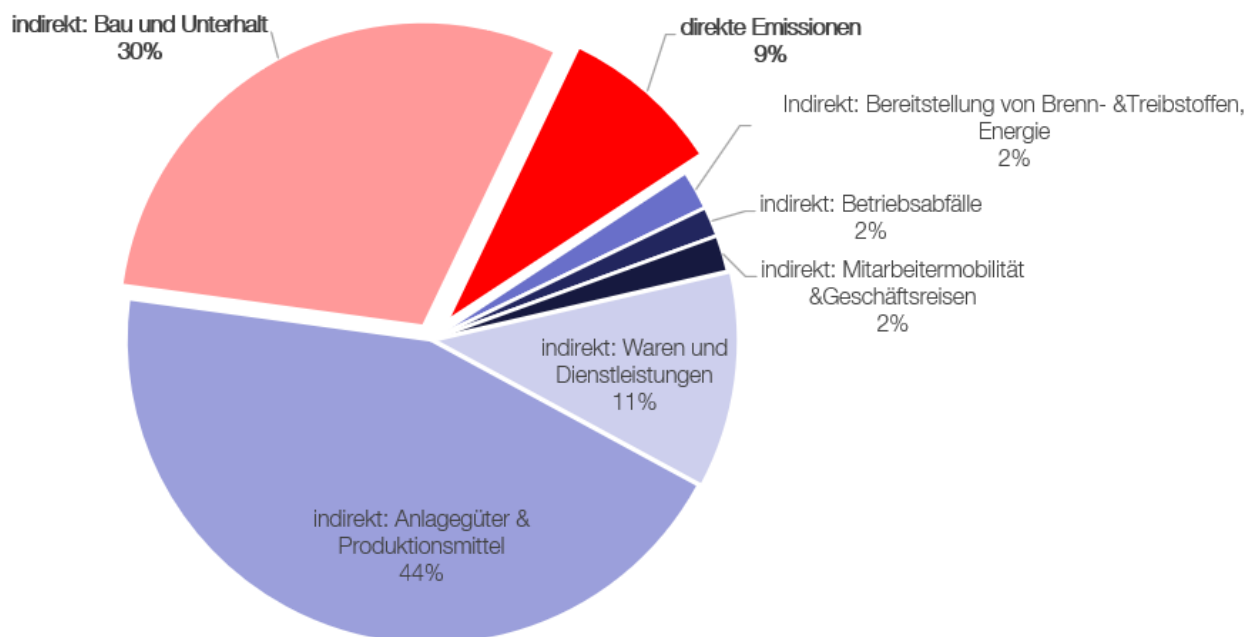


Abbildung 5: Grobschätzung der direkten und indirekten Emissionen bei der SBB, basierend auf dem Einkaufsvolumen.

Die obige Schätzung basiert auf der Multiplikation des Einkaufsvolumens mit generischen Treibhausgasfaktoren, das Vorgehen erlaubt eine Grobbeurteilung der Relevanz von einzelnen Einkaufswarengruppen. Die Zahlen zeigen die hohe Bedeutung der indirekten Emissionen aus Bau und Unterhalt: Schätzungsweise werden jährlich zusätzlich rund 350'000-400'000t CO₂eq pro Jahr ausgestossen, was rund 30% der gesamten Treibhausgasemissionen entspricht (Scope 1,2 und 3). Die Tabelle 3 zeigt eine weitere Detaillierung der anteilmässig bedeutendsten Emissionsquellen in der Kategorie «Bau und Unterhalt». Zur Formulierung von konkreten Massnahmen muss die Datengrundlage aber noch deutlich verbessert werden.

Tabelle 3 Abschätzung der Treibhausgasemissionen im System BAHN 2019 für Scope 3, Kategorie «Bau und Unterhalt».

Kategorie	[t CO ₂ eq/a]
Tiefbau (Rohbau)	90'100
Schienen (Stahlproduktion)	58'000
Realisierung GU/TU	40'500
Betonschwellen (Zementproduktion)	27'800
Weichenbauteile (Metallproduktion)	27'300
Baunebengewerbe	25'400
Massenschüttgüter (u.a. Zementproduktion)	24'800
Spezialfahrzeuge Infrastruktur (Herstellung)	17'700
Fahrbahn (Einbau, Bau, Unterhalt)	17'500
Gleisbaumaschinenleistungen	17'400
Werkzeuge, Maschinen, Befestigungsmaterial, Kabel, Kabelschutz (Herstellung)	14'100
Vegetationskontrolle und -pflegeleistungen	4'900
Manuelles Schienenschweissen	4'100
Total	369'600

3.4. Kenngrößen indirekte Treibhausgasemissionen vom Bau der Eisenbahninfrastruktur

Es gibt eine Reihe von Studien, welche die indirekten Treibhausgasemissionen (Scope 3) beim Bau von Eisenbahninfrastruktur beleuchten. Im Sinne eines Überblicks werden in diesem Bericht deshalb die wichtigsten Kenngrößen aus den Studien zusammengezogen – so können die direkten Treibhausgasemissionen vom Betrieb (Scope 1 und 2) besser mit geplanten Ausbauten in Relation gesetzt werden. Zu unterscheiden ist allerdings die Art der neuen Infrastrukturbauten: Der Ausbau von offenen Strecken (z.B. der Doppelspurausbau im Laufental zwischen Grellingen und Duggingen) verursacht deutlich geringere indirekte Treibhausgasemissionen als Tunnelstrecken (z.B. der neue Bözbergunnel) oder neue Brücken.

- In der Ökobilanzdatenbank ecoinvent ist die Erstellung und der Unterhalt von einem Kilometer Strecke modelliert, es findet keine Unterscheidung nach Tunnel, Brücken oder offene Strecke statt. Insgesamt werden rund 4'700 t CO₂ pro Kilometer Doppelspurstrecke über die Lebensdauer von 100 Jahren modelliert (ecoinvent, 2021).
- In der Studie des internationalen Eisenbahnverbandes UIC (UIC, 2011) werden die indirekten Emissionen für die Erdarbeiten und dem Bahnoberbau bilanziert, es resultieren ≈1'500 t CO₂eq pro Kilometer **offene Bahnstrecke**.
- Die grauen Emissionen von **Eisenbahntunnels** in Abhängigkeit von Querschnitt, Bauweise und Betriebsregime werden im BAV-Projekt «GrETu⁶» detaillierter betrachtet, der Projektleiter ist Christoph Schneider von der Abteilung Sicherheit. Zum aktuellen Zeitpunkt (Juli 2021) waren noch keine gesicherten Erkenntnisse verfügbar, sodass in diesem Bericht auf andere Studien zurückgegriffen werden muss. Zu beachten ist allerdings, dass im Tunnelbau neben den dimensionierenden Parametern wie Querschnitt und Länge auch die geologischen Bedingungen die geeignete Bauweise definieren – die Werte differieren von Projekt zu Projekt deshalb relativ stark. In dieser Studie werden deshalb folgende Daten verwendet:
 - In der Dissertation von Saurer (2016) der Technischen Universität München werden verschiedene Eisenbahntunnels bilanziert, die Treibhausgasemissionen werden massgeblich durch die Nutzung von Zement und Stahl beeinflusst (> 80% der Emissionen). Zusätzlich muss unterschieden werden zwischen konventionellem Sprengvortrieb und dem Bau mittels Tunnelbaumaschine (ca. 30-50% tiefere Emissionen). Umgerechnet auf einen Kilometer Tunnelstrecke mit zwei Röhren ergeben sich Werte von 12'000-15'000 t CO₂ beim Bau mit Tunnelbaumaschine, resp. 18'000-29'000 t CO₂ im konventionellen Sprengvortrieb.
 - In UIC (2011) werden je nach Bauweise (Tagebauverfahren vs. Bohrverfahren, Einspur vs. Doppelspur) indirekte Emissionen zwischen 10'000 und 28'000 t CO₂ pro Kilometer Tunnel berechnet.
- Für den **Brückenbau** finden sich ähnliche Angaben von Lünser (1999) und UIC (2011): Während sich aus den Angaben des erstgenannten Autors eine indirekte Belastung von rund 7'000-8'000 t CO₂eq ergeben, weist UIC (2011) Werte zwischen 6'000 und 15'000 t CO₂eq aus.

Zu betonen ist allerdings, dass alle diese Studien unterschiedliche Emissionsfaktoren verwenden, die Detaillierung unterschiedlich ist und die betrachteten Projekte ebenfalls differieren. Die untenstehenden Werte können deshalb einzig die Dimension der indirekten Emissionen aus dem Bau von Infrastruktur abschätzen, sie sind zur konkreten Beurteilung von Varianten in der Planungsphase nicht geeignet.

⁶ GrETu steht für «Graue Energie in Tunnel», die Studie wird durch die Firma Ernst Basler + Partner und weitere Partner bearbeitet.

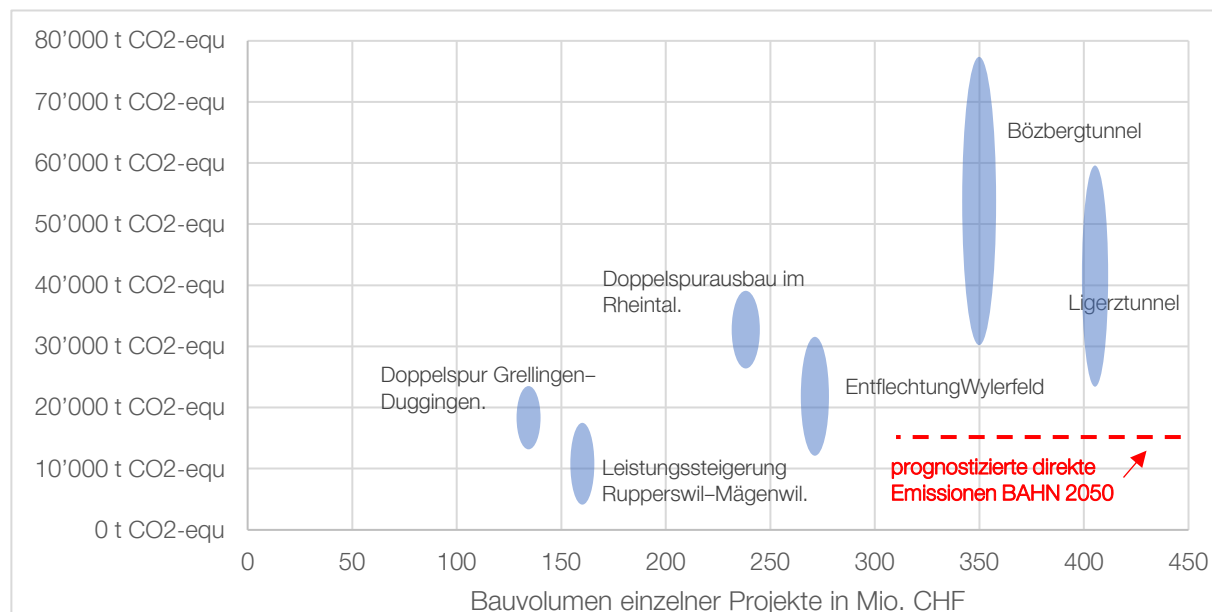
Tabelle 4: Kenngrössen der indirekten Treibhausgasemissionen aus dem Bau von Eisenbahninfrastrukturelementen

Infrastrukturelement	t CO ₂ eq	Bemerkungen	Quelle
1000 m Gleisbau durchschnittliche Strecke, Doppelspur	≈ 4'700 t CO ₂ eq	Mittelwert über gesamtes Eisenbahnnetz, durchschnittliche Berücksichtigung der Kunstbauten	ecoinvent, 2021
1000 m Gleisbau offene Strecke, Doppelspur	≈ 1'500 t CO ₂ eq	Bilanz einer Doppelspurstrecke ohne Kunstbauten, Berücksichtigung der Erdarbeiten und Fundament, der Schotterung mit Betonschwellen und Gleisbau, zudem Berücksichtigung von Signalen, Kommunikationskabeln und Entwässerungsgraben	UIC, 2011
1000 m Eisenbahntunnel, doppelsturig	≈ 12'000 – 29'000 t CO ₂ eq	Detailbilanz von zwei Tunnels mit je zwei richtungsgetrennten Röhren, Unterscheidung nach TBM und konventionellem Vortrieb	Sauer, 2016
1000 m Eisenbahntunnel, doppelsturig	≈ 10'000 – 28'000 t CO ₂ eq	Metastudie, Unterscheidung zwischen Tagebauverfahren und Bohrverfahren, Ein- und Doppelspurausbau, ohne Gleisoberbau	UIC, 2011
1000 m Eisenbahntunnel, doppelsturig	≈ 7'000 – 8'000 t CO ₂ eq	Hochrechnung des Flächenfaktors von 1 t CO ₂ eq pro m ² auf 1km Doppelspurbrücke, Annahme Breite: 7-8m	Lünser, 1999
1000 m Betonbrücke, doppelsturig	≈ 6'000 – 15'000 t CO ₂ eq	Unterscheidung nach Grösse des Bauwerks (Viadukt vs. Brücke)	UIC, 2011

Relevanz der indirekten Treibhausgasemissionen aus dem Bau der Eisenbahninfrastruktur

Anhand der obigen Kenngrössen wurden die indirekten Treibhausgasemissionen von einigen aktuellen Eisenbahnprojekten bestimmt. Auf der waagrechten Achse findet sich das Bauvolumen in Mio. CHF, auf der vertikalen Achse ist die Schätzung der indirekten Emissionen angegeben. Zum Vergleich: Im Jahr 2019 betrug der Ausstoss der direkten Treibhausgase des System BAHN gut 100'000 t CO₂eq, für 2050 wird ein Ausstoss von insgesamt rund 15'000 t CO₂eq prognostiziert (Szenario 1: ARE 2050).

Es zeigt sich, dass bereits ein einzelnes Projekt im Umfang von 100-150 Mio. CHF mit den gleichen indirekten Emissionen verbunden ist, wie das gesamte System BAHN im Jahr 2050 ausstossen wird. Zum Vergleich: Im Ausbauschnitt 2035 werden rund 12.9 Milliarden CHF verbaut.



4. Geschätzter Energiebedarf und Treibhausgasbilanz BAHN 2050

4.1. Vorgehen und Methodik

Die Extrapolation des geschätzten Energiebedarfs und der Treibhausgasbilanz vom System BAHN 2019 auf das System BAHN 2050 erfolgt in drei Szenarien, welche sich vor allem in der prognostizierten Verkehrsleistung unterscheiden. Die Tabelle 5 gibt einen Überblick über die grundlegenden Annahmen.

Tabelle 5: Annahmen zu den Entwicklungen der Transportleistungen im Personen- und Gütertransport

	Personen-transport	Gütertransport
System BAHN 2019	21.6 Mia. Pkm	10.7 Mia. Ntkm
Szenario I «ARE 2050» Das Szenario basiert auf der Verkehrsperspektive 2040 des ARE bzw. der- ren Projektion für das Jahr 2050.	29.7 Mia. Pkm (+38%)	13.7 Mia. Ntkm (+28%)
Szenario II «Best effort» Das Szenario basiert auf den gemäss Fachexperten maximal vertretbaren Annahmen zu Gleiskilometer, Auslastung, Zugdichte und -länge.	38.7 Mia. Pkm (+79%)	15.9 Mia. Ntkm (+49%)
Szenario III «Verdopplung Modalsplit» Das Szenario basiert auf der Verdopplung des Modalsplits der Eisenbahn im Jahr 2050 sowohl im Personen- wie im Güterverkehr ggü. dem Referenz- jahr 2019.	55.4 Mia. Pkm (+156%)	19.1 Mia. Ntkm (+79%)

In jedem Szenario wurden die Parameter «Auslastung Personenverkehr», «Auslastung Güterverkehr», «Sitzplätze pro Zug», «Zugdichte Personenverkehr», «Zugdichte Güterverkehr» und «Gleiskilometer» grob dimensioniert. Diese dienen als Basis für die drei Skalierungsfaktoren (Zugkilometer Personenverkehr, Zugkilometer Güterverkehr und Gleiskilometer), mit denen die Energiebedarfs- und Treibhausgasemissionsdaten (Treibhausgasemissionen nur Scope 1&2) des Systems BAHN 2019 auf das Jahr 2050 extrapoliert wurden. Tabelle 6 zeigt die Skalierungsfaktoren inkl. ihrer Berechnung, den getroffenen Annahmen und den herangezogenen Quellen in der Übersicht.

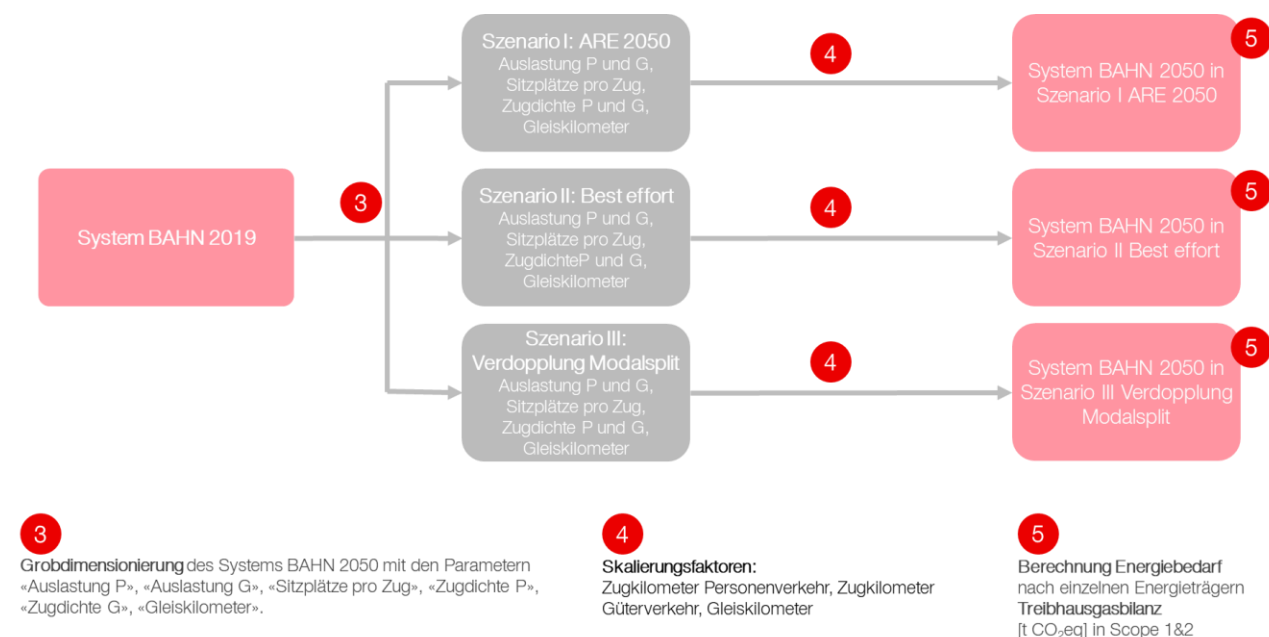


Abbildung 6: Extrapolation von System BAHN 2019 auf System BAHN 2050 in drei Szenarien

Tabelle 6: Skalierungsfaktoren für die Extrapolation von Energiebedarf und Treibhausgasbilanz

System BAHN 2050	Personenverkehr (Zugkilometer P)	Güterverkehr (Zugkilometer G)	Infrastruktur (Gleiskilometer)	Immobilien (Gleiskilometer)
<i>Szenario 1: ARE 2050</i>	1 1.28	2 1.29	3 1.02	3 1.02
<i>Szenario 2: Best effort</i>	4 1.62	5 1.49	6 1.07	6 1.07
<i>Szenario 3: Verdopplung Modalsplit</i>	7 2.08	8 1.80	9 1.09	9 1.09

Berechnung und Quellen der Skalierungsfaktoren

- 1 Skalierungsfaktor: Produkt der Verhältnisse von Sitzplätzen pro Zug 2050 vs. 2019 (Länge der Züge beeinflusst den Energiebedarf), Zugsdichte P 2050 vs. 2019 (Anzahl der Züge beeinflusst den Energiebedarf) und Gleiskilometer 2050 vs. 2019 (zurückgelegte Distanzen beeinflussen den Energiebedarf). Berechnung und Annahmen: Zugsdichte P = $\text{Pkm}/(\text{Auslastung} \cdot \text{Sitzplätze pro Zug} \cdot \text{Gleiskilometer} \cdot 365)$. Dies ergibt für 2019 bei einer Auslastung von 29%, 372 Sitzplätzen pro Zug (Herleitung: $\text{Pkm 2019}/\text{Zugskilometer P 2019} \cdot \text{Auslastung}$) und 9443 Gleiskilometern eine Zugsdichte P von rund 58.3 Zügen pro Gleiskilometer und Tag. Gemäss ARE-Verkehrsperspektive und Kernsatz 3 entfallen 2050 rund 29.6 Mrd. Pkm auf die Eisenbahn. Annahmen für 2050: Auslastung: 31%, Sitzplätze pro Zug: 390, Gleiskilometer: 9600. Damit resultiert eine Zugsdichte P 2050 von rund 70 Zügen pro Gleiskilometer und Tag. Der Skalierungsfaktor ergibt sich damit wie folgt: $(\text{Sitzplätze pro Zug 2050}/\text{Sitzplätze pro Zug 2019}) \cdot (\text{Zugsdichte P 2050}/\text{Zugsdichte P 2019}) \cdot (\text{Gleiskilometer 2050}/\text{Gleiskilometer 2019}) = (390/372) \cdot (70/58.3) \cdot (9600/9443) = 1.28$. Quellen: SBB Statistikportal, Interpolation gemäss Bundesamt für Raumentwicklung ARE (Hrsg.) (2016): Perspektiven des Schweizerischen Personen- und Güterverkehrs bis 2040. Projektion 2050. Annahme: Anteil der Eisenbahn am Modalsplit ÖV gleich wie 2019.
- 2 Skalierungsfaktor: Produkt der Verhältnisse von Anhängelast 2050 vs. 2019 (Gewicht der Züge beeinflusst den Energiebedarf), Zugsdichte G 2050 vs. 2019 (Anzahl der Züge beeinflusst den Energiebedarf) und Gleiskilometer 2050 vs. 2019 (zurückgelegte Distanzen beeinflussen den Energiebedarf). Berechnung und Annahmen: Zugsdichte G = $\text{Ntkm}/(\text{Anhängelast} \cdot \text{Gleiskilometer} \cdot 365)$. Die Anhängelast ergibt sich aus dem Verhältnis von Ntkm zu Zugskilometern G. Dies ergibt für 2019 bei einer Verkehrsleistung von rund 10.7 Mrd. Ntkm, einer Anhängelast von 360 Ntkm/Zugskilometer und 9443 Gleiskilometern eine Zugsdichte G von 8.6 Zügen pro Gleiskilometer und Tag. Gemäss aktueller ARE-Verkehrsperspektive (noch unveröffentlicht) fallen 2050 rund 13.7 Mrd. Ntkm an. Annahmen für 2050: Anhängelast: 360 Ntkm/Zugskilometer, Gleiskilometer: 9600. Damit resultiert eine Zugsdichte G 2050 von 10.9 Zügen pro Gleiskilometer und Tag. Der Skalierungsfaktor ergibt sich damit wie folgt: $(\text{Anhängelast 2050}/\text{Anhängelast 2019}) \cdot (\text{Zugsdichte G 2050}/\text{Zugsdichte G 2019}) \cdot (\text{Gleiskilometer 2050}/\text{Gleiskilometer 2019}) = (360/360) \cdot (10.9/8.6) \cdot (9600/9443) = 1.29$. Quelle: Bundesamt für Raumentwicklung ARE (Hrsg.) (erwartet 2021): Perspektiven des Schweizerischen Personen- und Güterverkehrs.
- 3 Skalierungsfaktor: Gleiskilometer 2019 vs. 2050. Für (1) und (2) wurde die Länge der Gleiskilometer für das Jahr 2050 mit 9600 angenommen. Entsprechend resultiert ein Skalierungsfaktor von 1.02 ggü. den 9443 Kilometern Gleislänge im System Bahn im Jahr 2019. Quelle: Herleitung gemäss Netzzustandsbericht SBB 2019 und BLS 2019.
- 4 Skalierungsfaktor: Produkt der Verhältnisse von Sitzplätzen pro Zug 2050 mit Best effort-Annahmen vs. 2019 (Länge der Züge beeinflusst den Energiebedarf), Zugsdichte P 2050 mit Best effort-Annahmen vs. 2019 (Anzahl der Züge beeinflusst den Energiebedarf) und Gleiskilometer 2050 mit Best effort-Annahmen vs. 2019 (zurückgelegte Distanzen beeinflussen den Energiebedarf). Berechnung und Annahmen: Zugsdichte P = $\text{Pkm}/(\text{Auslastung} \cdot \text{Sitzplätze pro Zug} \cdot \text{Gleiskilometer} \cdot 365)$. Dies ergibt für 2019 bei einer Auslastung von 29%, 372 Sitzplätzen pro Zug (Herleitung: $\text{Pkm 2019}/\text{Zugskilometer P 2019} \cdot \text{Auslastung}$) und 9443 Gleiskilometern eine Zugsdichte P von rund 58.3 Zügen pro Gleiskilometer und Tag. Gemäss Expertenaussagen kann als Best effort von folgenden, maximal vertretbaren Annahmen für 2050 ausgegangen werden: Auslastung: 32%, Sitzplätze pro Zug: 410, Gleiskilometer: 10100. Damit resultiert eine Zugsdichte P 2050 Best effort von rund 80 Zügen pro Gleiskilometer und Tag. Der Skalierungsfaktor ergibt sich damit wie folgt: $(\text{Sitzplätze pro Zug 2050 Best effort}/\text{Sitzplätze pro Zug 2019}) \cdot (\text{Zugsdichte P 2050 Best effort}/\text{Zugsdichte P 2019}) \cdot (\text{Gleiskilometer 2050 Best effort}/\text{Gleiskilometer 2019}) = (410/372) \cdot (80/58.3) \cdot (10100/9443) = 1.62$. Quellen: SBB Statistikportal, Expertenaussagen.
- 5 Skalierungsfaktor: Produkt der Verhältnisse von Anhängelast 2050 mit Best effort-Annahmen vs. 2019 (Gewicht der Züge beeinflusst den Energiebedarf), Zugsdichte G 2050 mit Best effort-Annahmen vs. 2019 (Anzahl der Züge beeinflusst den Energiebedarf) und Gleiskilometer 2050 mit Best effort-Annahmen vs. 2019 (zurückgelegte Distanzen beeinflussen den Energiebedarf). Berechnung und Annahmen: Zugsdichte G = $\text{Ntkm}/(\text{Anhängelast} \cdot \text{Gleiskilometer} \cdot 365)$. Die Anhängelast ergibt sich aus dem Verhältnis von Ntkm zu Zugskilometern G. Dies ergibt für 2019 bei einer Verkehrsleistung von rund 10.7 Mrd. Ntkm, einer Anhängelast von 360 Ntkm/Zugskilometer und 9443 Gleiskilometern eine Zugsdichte G von 8.6 Zügen pro Gleiskilometer und Tag. Gemäss Expertenaussagen kann als Best effort von folgenden, maximal vertretbaren Annahmen für 2050 ausgegangen werden: Anhängelast: 360 Ntkm/Zugskilometer, Gleiskilometer: 10100. Damit resultiert eine Zugsdichte G 2050 Best effort von rund 12 Zügen pro Gleiskilometer und Tag. Der Skalierungsfaktor ergibt sich damit wie folgt: $(\text{Anhängelast 2050 mit Best effort-Annahmen}/\text{Anhängelast 2019}) \cdot (\text{Zugsdichte G 2050 mit Best effort-Annahmen}/\text{Zugsdichte G 2019}) \cdot (\text{Gleiskilometer 2050 mit Best effort-Annahmen}/\text{Gleiskilometer 2019}) = (360/360) \cdot (12/8.6) \cdot (10100/9443) = 1.49$. Quellen: SBB Statistikportal, Expertenaussagen, Bundesamt für Raumentwicklung ARE (Hrsg.) (erwartet 2021): Perspektiven des Schweizerischen Personen- und Güterverkehrs.

- 6 Skalierungsfaktor: Gleiskilometer 2019 vs. 2050 Best effort. Für (4) und (5) wurde die Länge der Gleiskilometer für das Jahr 2050 im Szenario Best effort mit 10100 angenommen. Entsprechend resultiert ein Skalierungsfaktor von 1.07 ggü. den 9443 Kilometern Gleislänge im System Bahn im Jahr 2019. Quelle: Herleitung aus Netzzustandsbericht SBB 2019 und BLS 2019.
- 7 Skalierungsfaktor: Produkt der Verhältnisse von Sitzplätzen pro Zug 2050 gemäss Verdopplung Modalsplit vs. 2019 (Länge der Züge beeinflusst den Energiebedarf), Zugsdichte P 2050 gemäss Verdopplung Modalsplit vs. 2019 (Anzahl der Züge beeinflusst den Energiebedarf) und Gleiskilometer 2050 gemäss Verdopplung Modalsplit vs. 2019 (zurückgelegte Distanzen beeinflussen den Energiebedarf). Berechnung und Annahmen: Zugsdichte $P = \text{Pkm} / (\text{Auslastung} * \text{Sitzplätze pro Zug} * \text{Gleiskilometer} * 365)$. Dies ergibt für 2019 bei einer Auslastung von 29%, 372 Sitzplätzen pro Zug (Herleitung: $\text{Pkm 2019} / \text{Zugskilometer P 2019} * \text{Auslastung}$) und 9443 Gleiskilometern eine Zugsdichte P von rund 58.3 Zügen pro Gleiskilometer und Tag. Gemäss BFS betrug der Anteil der Eisenbahn am Modalsplit Personenverkehr 2019 in der Schweiz 15.7%; berücksichtigt wird jedoch in Abstimmung mit dem Kernsatz 3 lediglich der MIV und der ÖV. Daraus ergibt sich ein Anteil der Eisenbahn am Modalsplit 2019 von 17.4%, eine Verdoppelung entspricht also einem Anteil 2050 von 34.8%. Gemäss ARE-Verkehrsperspektive fallen 2050 rund 137.1 Mrd. Pkm als Verkehrsleistung von MIV und ÖV an, wovon mit 34.8% rund 47.7 Mrd. Pkm auf die Eisenbahn entfallen. Rechnet man den Verlagerungseffekt gemäss Kernsatz 3 hinzu, resultieren rund 55.4 Mrd. Pkm. Damit diese Verkehrsleistung abgedeckt werden kann, wurden folgende Annahmen getroffen: Auslastung: 36%, Sitzplätze pro Zug: 430, Gleiskilometer: 10300. Damit ergibt sich eine Zugsdichte P von rund 96 Zügen pro Gleiskilometer und Tag. Der Skalierungsfaktor ergibt sich damit wie folgt: $(\text{Sitzplätze pro Zug 2050 Verdopplung Modalsplit} / \text{Sitzplätze pro Zug 2019}) * (\text{Zugsdichte P 2050 Verdopplung Modalsplit} / \text{Zugsdichte P 2019}) * (\text{Gleiskilometer 2050 Verdopplung Modalsplit} / \text{Gleiskilometer 2019}) = (430/372) * (96/58.3) * (10300/9443) = 2.08$. Quellen: SBB Statistikportal; Bundesamt für Statistik BFS (Hrsg.) (2020): Leistungen im Personenverkehr. Online verfügbar; Bundesamt für Raumentwicklung ARE (Hrsg.) (2016): Perspektiven des schweizerischen Personen- und Güterverkehrs bis 2040. Projektion 2050, S. 25.
- 8 Skalierungsfaktor: Produkt der Verhältnisse von Anhängelast 2050 mit gemäss Verdopplung Modalsplit vs. 2019 (Gewicht der Züge beeinflusst den Energiebedarf), Zugsdichte G 2050 gemäss Verdopplung Modalsplit vs. 2019 (Anzahl der Züge beeinflusst den Energiebedarf) und Gleiskilometer 2050 gemäss Verdopplung Modalsplit vs. 2019 (zurückgelegte Distanzen beeinflussen den Energiebedarf). Berechnung und Annahmen: Zugsdichte $G = \text{Ntkm} / (\text{Anhängelast} * \text{Gleiskilometer} * 365)$. Die Anhängelast ergibt sich aus dem Verhältnis von Ntkm zu Zugskilometern G. Dies ergibt für 2019 bei einer Verkehrsleistung von rund 10.7 Mrd. Ntkm, einer Anhängelast von 360 Ntkm/Zugskilometer und 9443 Gleiskilometern eine Zugsdichte G von 8.6 Zügen pro Gleiskilometer und Tag. Gemäss noch unveröffentlichter ARE-Langfristperspektive kann bei einer Verdopplung des Modalsplits (Binnenverkehr, Import und Export; bei Transit wurde als Annahme vom Erreichen des Verlagerungsziels ausgegangen) im Jahr 2050 von rund 19.1 Mrd. Ntkm auf der Schiene ausgegangen werden. Damit diese Verkehrsleistung abgedeckt werden kann, wurden folgende Annahmen getroffen: Anhängelast: 360 Ntkm/Zugskilometer, Gleiskilometer: 10300. Damit ergibt sich eine Zugsdichte G von 14.2 Zügen pro Gleiskilometer und Tag. Der Skalierungsfaktor ergibt sich damit wie folgt: $(\text{Anhängelast 2050 gemäss Verdopplung Modalsplit} / \text{Anhängelast 2019}) * (\text{Zugsdichte G 2050 gemäss Verdopplung Modalsplit} / \text{Zugsdichte G 2019}) * (\text{Gleiskilometer 2050 gemäss Verdopplung Modalsplit} / \text{Gleiskilometer 2019}) = (360/360) * (14.2/8.6) * (10300/9443) = 1.80$. Quelle: Bundesamt für Raumentwicklung ARE (Hrsg.) (erwartet 2021): Perspektiven des Schweizerischen Personen- und Güterverkehrs.
- 9 Skalierungsfaktor: Gleiskilometer 2019 vs. 2050 Verdopplung Modalsplit. Für (7) und (8) wurde die Länge der Gleiskilometer für das Jahr 2050 im Szenario Verdopplung Modalsplit mit 10300 angenommen. Entsprechend resultiert ein Skalierungsfaktor von 1.09 ggü. den 9443 Kilometern Gleislänge im System Bahn im Jahr 2019. Quelle: Herleitung aus Netzzustandsbericht SBB 2019 und BLS 2019.

Ausgehend von den so festgelegten Szenarien für das System BAHN 2050 wurde die Wirkung der Massnahmen zur Erhöhung der Energieeffizienz, zur Senkung der Treibhausgasemissionen (Scope 1&2) und zum Ausbau der erneuerbaren Energien abgeschätzt und die Potentiale der Massnahmen quantifiziert. Die untenstehende Abbildung 7 zeigt schematisch das Vorgehen zur Abschätzung der Potentiale aus den Massnahmen in den Szenarien BAHN 2050.

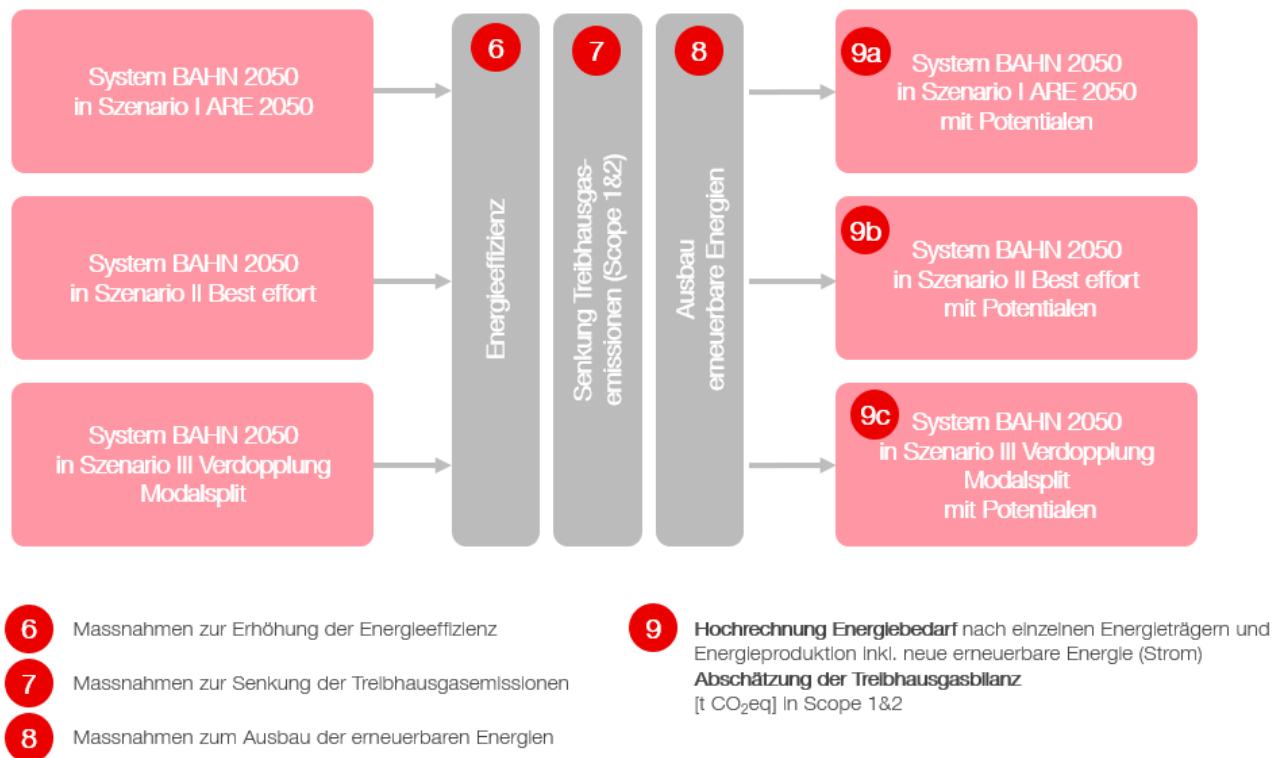


Abbildung 7: Vorgehen zur Berechnung der Massnahmen zur Erhöhung der Energieeffizienz, Senkung der Treibhausgasemissionen (Scope 1&2) und Ausbau der erneuerbaren Energien.

Im vorliegenden Bericht werden die Resultate des Szenario I ARE 2050 detaillierter betrachtet, diejenigen der Szenarien II und III nur überblicksweise in Kapitel 8 Synthese. Das im Rahmen dieser Studie erstellte Online-Tool erlaubt dafür das individuelle Anpassen von einzelnen Parametern, mehr dazu in Kapitel 8.1.

4.2. Prognostizierter Energiebedarf BAHN 2050 ohne Massnahmen

Ohne Massnahmen ergäbe sich für das Szenario 1: ARE 2050 mit den verwendeten Skalierungsfaktoren im Jahr 2050 ein theoretischer Gesamtendenergiebedarf von 3771 GWh. Verglichen mit dem System BAHN 2019 entspricht dies einer Steigerung von 23 %, hauptverantwortlich ist die Zunahme an Bahnstrom (+636 GWh). Zu unterstreichen ist der hypothetische Charakter dieser Werte: Der so ermittelte Endenergiebedarf dient als Basis, um die Wirkung der Massnahmen im nächsten Schritt zu quantifizieren.

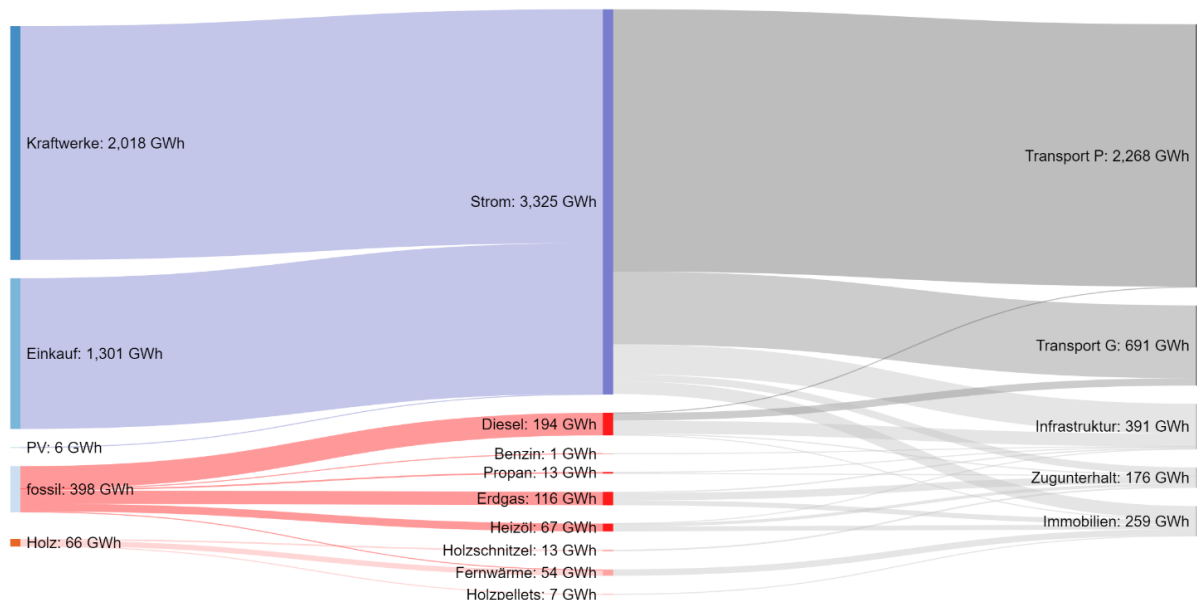


Abbildung 8: Hochskalierte Energieflüsse im System BAHN2050 ohne Massnahmen

4.3. Prognostizierte Treibhausgasbilanz BAHN 2050 ohne Massnahmen

Ohne Massnahmen steigen im Jahr 2050 die Treibhausgasemissionen auf rund 120'000 t CO₂eq/a an (+13%, bei einer angenommenen Zunahme der Transportleistung im Szenario I ARE 2050 von 38% im Personen- und 28% im Güterverkehr). Anteilsmässig ergibt sich die gleiche Verteilung wie im Jahr 2019 (vgl. Kap. 3.3): Auch im Jahr 2050 entfallen die meisten Treibhausgasemissionen auf die Abwicklung des Bahnverkehrs und den Betrieb der Infrastruktur. Die restlichen Emissionen verteilen sich relativ gleichmässig auf den Personen- und Güterverkehr sowie den Unterhalt der Schienenfahrzeuge.

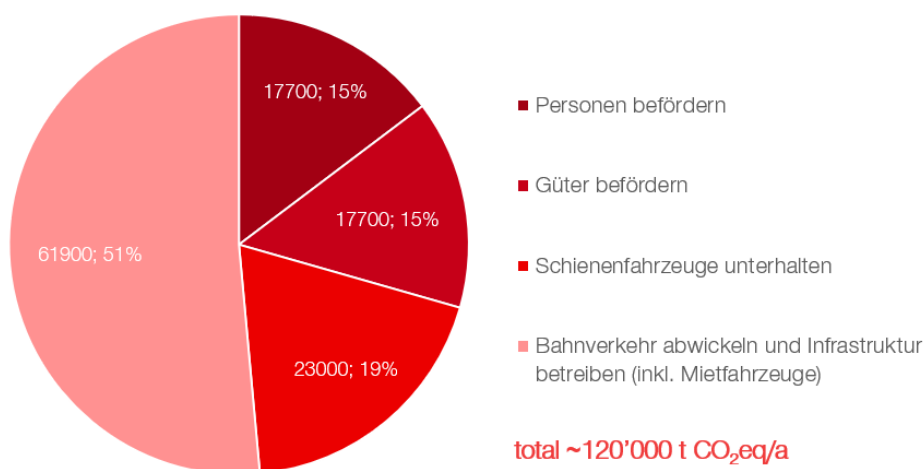


Abbildung 9: Treibhausgasemissionen System BAHN 2050, Szenario I ARE 2050 (Scope 1&2).

5. Steigerung der Energieeffizienz

Im System BAHN werden Massnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz schon sehr lange verfolgt, beispielsweise war dies ein wesentlicher Treiber für die Elektrifizierung bereits vor fast 100 Jahren.

Betrachtet man die Entwicklung von Verkehrsleistung und Energiebedarf in den letzten 25 Jahren, so lässt sich eine deutliche Steigerung der Energieeffizienz beobachten. Bei etwa stabilem Gesamtenergiebedarf steigerte sich die Verkehrsleistung im Personenverkehr um gut 80%, im Güterverkehr um 30%. Gründe für diese Effizienzsteigerung sind die Einführung von Umrichterfahrzeugen (statt der Fahrzeuge mit Stufenschalterloks oder Phasenanschnittsteuerung), mehr Sitzplätze durch Doppelstockfahrzeuge und eine effizientere Bahnproduktion mit einer direkten Verbindung zwischen Betriebszentrale und Lokpersonal.

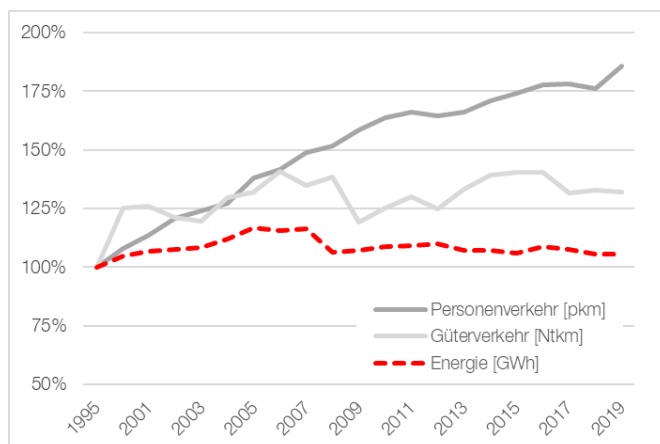


Abbildung 10: Entwicklung von Verkehrsleistung und Energiebedarf

5.1. Massnahmen

Insgesamt wurden 9 Massnahmen definiert, diese basieren weitgehend auf den bereits bekannten Massnahmen aus dem Programm «Energiesparen & erneuerbare Energien» der SBB und Interviews mit verschiedenen Fachexperten. Massnahmen, welche auf einem Wechsel auf erneuerbare Energieträger beruhen (wie z.B. der Ersatz einer Ölheizung mit einer Wärmepumpe) sind im Abschnitt «Reduktion der Treibhausgasemissionen» aufgeführt.

Für jede Massnahme wurde das Potential mit einer Abschätzung bestimmt, diese basiert in den meisten Fällen auf einer Adaption der Einsparungen aus der Vergangenheit auf die Zukunft. Für jede Massnahme resultiert eine prozentuale Reduktion, dabei dienen die bereits gemachten Erfahrungen aus der Vergangenheit als Anhaltspunkt. Es ist explizit zu berücksichtigen, dass es sich bei diesen Abschätzungen um Prognosen handelt, welche mit entsprechenden Unsicherheiten behaftet sind. Zusätzlich wurden das Potential und die Umsetzbarkeit jeder Massnahme mit «Sternen» gemäss Tabelle 7 bewertet:

- Fünf Sterne erhalten diejenigen Massnahmen, welche im unbeeinflussten Szenario I: ARE 2050 mehr als 200 GWh pro Jahr einsparen, ein Stern solche mit weniger als 25 GWh/a.
- Die Umsetzbarkeit wurde nach dem Vorhandensein einer technischen Lösung, der Wirtschaftlichkeit und den regulatorischen Rahmenbedingungen differenziert; insgesamt erfolgte jedoch nur eine Gesamtbewertung über diese drei Subkategorien.

Tabelle 7 Bewertungsschema der Massnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz nach Potential und Umsetzbarkeit.

Potential	★	★★	★★★	★★★★	★★★★★
GWh/a	≤25	>25	>50	>100	>200
Umsetzbarkeit	★	★★	★★★	★★★★	★★★★★
Technische Lösung	nicht vorhanden	Konkretisierung erforderlich	Konkretisierung erforderlich	vorhanden	vorhanden
Wirtschaftlichkeit	nicht gegeben	nicht gegeben	eher nicht gegeben	teilweise gegeben	gegeben
Regulatorische Rahmenbedingungen	Anpassungen notwendig	limitierend	unsicher	teilweise gegeben	gegeben

Tabelle 8 zeigt die Massnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz in der Übersicht, die detaillierten Steckbriefe zu den Massnahmen finden sich im Anhang.

Tabelle 8 Massnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz.

Titel der Massnahme	Kurzbeschreibung	Potential (GWh/a)	Umsetzbarkeit
Optimierung von Gebäuden & stationären Anlagen	Der Energiebedarf von Gebäuden und stationären Anlagen wird durch den technologischen Fortschritt, bessere Wärmedämmungen und den laufenden Substanzerhalt weiter reduziert.	★★★☆☆	★★★★★
Massnahmen auf bestehendem Rollmaterial Personentransport	Der Energiebedarf des bestehenden Rollmaterials wird durch div. Massnahmen (u.a. Schlumberbetrieb, fahrplanbasierte Bereitstellung, optimierte Aerodynamik) weiter reduziert.	★★★☆☆	★★★★★
Ablösung Rollmaterial Personentransport	Neue Fahrzeuge sind i.d.R. energieeffizienter als die abgelösten Altflotten, was den spez. Energiebedarf pro Zugkilometer senkt.	★★★★★	★★★★★
Ablösung Rollmaterial Gütertransport	Stufenschalterloks (z.B. Re420 oder Re620) werden durch energieeffizientere, moderne Umrichterloks ersetzt.	★★★☆☆	★★★★★
Optimierung der Produktionssysteme	Die kontinuierliche Weiterentwicklung von Verkehrsmanagementsystemen (ADL, TMS, RCS) ermöglicht ein noch feineres Fahren, eine engere Verzahnung der Systeme und genauere Prognosen für das Lokpersonal.	★★★☆☆	★★★★★
Angebotsoptimierungen zur Erhöhung der Auslastung Personenverkehr	Mit gezielten finanziellen Anreizen, einer Änderung der Startzeiten von Schulen und Universitäten, der Flexibilisierung von Arbeitszeiten und der Einführung sitzplatzgebundener Angebote im Fernverkehr könnte die Auslastung geglättet und damit im Durchschnitt erhöht werden.	★★★★★	★★★☆☆
Geschwindigkeitssenkungen im Fernverkehr (Personentransport)	Wird im Fernverkehr die mittlere Geschwindigkeit verringert, sinkt der Energiebedarf; gleichzeitig steigt die Fahrplanstabilität sowie die Trassenkapazität im Netz an.	★★★★★	★★★☆☆
Vermeidung von RADN-Einbrüchen für Erhöhung Fahrplanstabilität	Einbrüche in der RADN-Geschwindigkeit werden gezielt identifiziert und behoben, inkl. Berücksichtigung von geplanten Projekten.	★★★☆☆	★★★★★
Lange Güterzüge mit noch weniger Stopps	Gezielte Infrastrukturausbauten ermöglichen längere und schwerere Güterzüge mit einem tieferen spez. Energiebedarf; bessere Planungsprämissen eine optimierte Abstimmung von Güter- und Personenverkehr.	★★★★★	★★★★★

5.2. Gesamtpotential im Jahr 2050 zur Steigerung der Energieeffizienz

Mit den skizzierten Massnahmen ist bis ins Jahr 2050 eine deutliche Einsparung in den Bereichen Rollmaterial, Fahrplangestaltung und Bahnbetrieb möglich. Unter der Annahme, dass alle Massnahmen umgesetzt werden, resultiert für das Jahr 2050 ein Endenergiebedarf von ≈ 2700 GWh. Gegenüber der unbeeinflussten Entwicklung ergibt sich dadurch ein kombiniertes Einsparpotential von 1070 GWh/a, gegenüber dem heutigen Endenergiebedarf (2019) wird Energie im Umfang von rund 380 GWh, resp. etwa 10% eingespart.

Kombinierte Wirkung der Energieeffizienz-Massnahmen

Die einzelnen Einsparungen sind multiplikativ, d.h. sie hängen voneinander ab: Wenn die Technik der Fahrzeuge effizienter wird, so sparen entsprechend die bahnbetrieblichen Massnahmen weniger ein. Abbildung 11 zeigt die Beiträge der einzelnen Massnahmen zur Senkung des Endenergiebedarfes, resp. der Steigerung der Energieeffizienz.

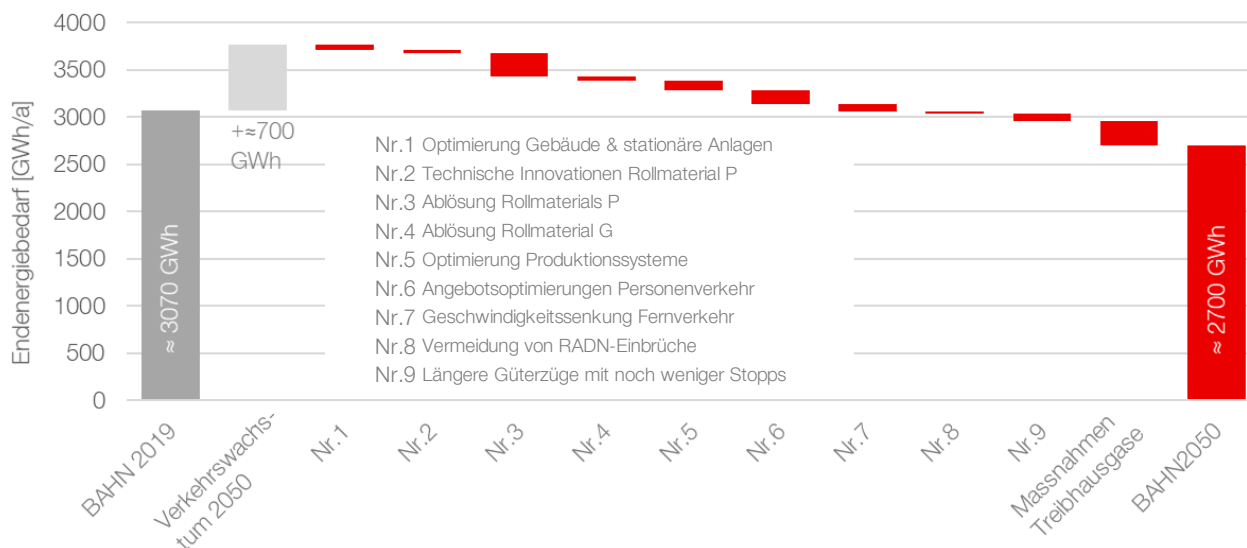


Abbildung 11: Reduktion des Endenergiebedarfes im Szenario I: ARE 2050 mit Massnahmen.

Die Massnahmen mit den grössten Wirkungen sind die Ablösung Rollmaterial (3), die Angebotsoptimierung Personenverkehr (6) und die Massnahmen zur Senkung der Treibhausgasemissionen. Mit Umsetzung aller Massnahmen basiert das System BAHN noch stärker auf Strom: Rund 96% des Endenergiebedarfes (≈ 2600 GWh) stammen aus eigenen Kraftwerken (Wasserkraft und PV) oder werden eingekauft.

Grössenordnung der Energieeinsparungen

Sind die Einsparungen von 380 GWh/a gegenüber heute nun viel oder wenig? Dazu ein Vergleich: Aktuell produziert die SBB ihren Bahnstrom in acht Wasserkraftwerken, für die Region Zürich hat das Kraftwerk Etzelwerk eine grosse Bedeutung. Jährlich produziert das Werk mit dem Wasser aus dem Sihlsee rund 250 GWh an Bahnstrom. Multipliziert mit dem heute gültigen Bahnstrompreis entspricht dies rund 28 Mio. CHF.



Bahnstromproduktion vom Kraftwerk «Etzelwerk»: 250 GWh/a

Einteilung der Massnahmen nach Potential und Umsetzbarkeit

Die Massnahmen unterscheiden sich in ihrer Umsetzbarkeit und ihrem Potential. In Abbildung 12 wurden deshalb die Massnahmen in ein Raster nach Umsetzbarkeit (senkrechte Achse) und Steigerung der Energieeffizienz (waagerechte Achse) eingeteilt. Daraus ergeben sich folgende Empfehlungen:

- Massnahmen mit einem hohen Potential und einer hohen Umsetzbarkeit landen im Quadranten oben rechts, diese sind sinnvollerweise mit einer hohen Priorität umzusetzen. Ein Beispiel ist hier die Ablösung Rollmaterial im Personenverkehr.
- Die Massnahmen unten rechts weisen zwar ein hohes Potential auf, deren Umsetzbarkeit ist nach Ansicht der Autoren aber nicht unmittelbar gegeben. Für diese Massnahmen ist deshalb in einem ersten Schritt die Machbarkeit durch zusätzliche Untersuchungen oder in Pilotanwendungen zu erhöhen (beispielsweise die Angebotsoptimierungen im Personentransport).
- Massnahmen oben links steigern die Energieeffizienz in kleineren Schritten, in Summe ist der Effekt aber nicht zu vernachlässigen. Bei Opportunitäten sollen diese Massnahmen deshalb umgesetzt werden (z.B. Optimierung von Gebäuden und stationären Anlagen im Rahmen des Substanzerhalts).
- Massnahmen unten rechts weisen ein geringeres Einsparpotential und eine tiefe Umsetzbarkeit auf, für die Energieeffizienz ist ein Beispiel die Vermeidung von RADN-Einbrüchen. Sinnvollerweise wird bei der Planung auf Korridorebene analysiert, ob sich auch zur Unterstützung der Fahrplanstabilität ein RADN-Einbruch vermeiden lässt.

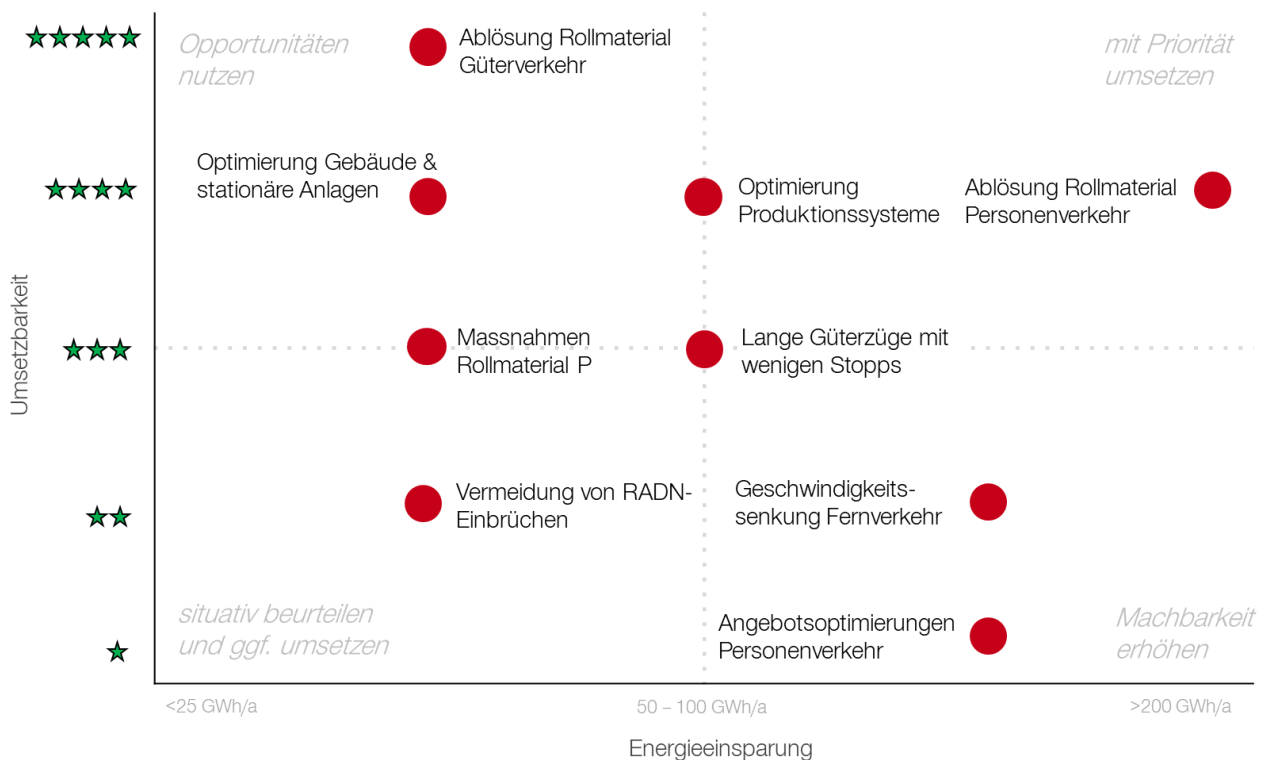


Abbildung 12: Einschätzung zu Umsetzbarkeit und Potential der Massnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz

6. Senkung der Treibhausgasemissionen

Insgesamt wurden 8 Massnahmen zur Senkung der Treibhausgasemissionen identifiziert und beschrieben, im Anhang findet sich die ausführliche Beschreibung der Massnahmen in Form von Steckbriefen. Die Massnahmen umfassen sowohl die direkten Emissionen wie auch die indirekten Emissionen aus der Wertschöpfungskette der Bahnunternehmen:

- Die 5 Massnahmen, welche zu einer Reduktion der **direkten Emissionen** (Scope 1 & 2) führen, sind in Kapitel 6.1. aufgeführt. Zu beachten ist, dass die Quantifizierung sich wie schon bei den Massnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz auf das Szenario I ARE 2050 bezieht.
- Die Abschätzungen in Kapitel 3.3 ergeben, dass die **indirekten Emissionen** (Scope 3) die direkten Emissionen um ein Vielfaches übertreffen. In Kapitel 6.2. sind Massnahmen zu ihrer Reduktion aufgeführt, allerdings ist eine Quantifizierung der Potentiale im Zeithorizont 2050 für die Scope 3-Emissionen nur annäherungsweise möglich und zudem stark abhängig von der Ausgestaltung des zukünftigen Systems BAHN 2050.

Die Erhöhung der Eigenproduktion von erneuerbaren Energien führt ebenfalls zu einer Senkung der Treibhausgasemissionen, weil sich dadurch die Menge an zugekaufter Energie (z.B. aus nicht vollständig fossilfreien Fernwärmenetzen) und die damit verbundenen Treibhausgasemissionen reduzieren. Dieser Aspekt wurde jedoch nicht als eigene Massnahme aufgenommen, sondern über das Kap. 7 abgehandelt.

Die Bewertung des Potentials und der Umsetzbarkeit der Massnahmen erfolgen nach dem Bewertungsschema in Tabelle 9. Die Kategorisierung der Potentiale spiegelt eine sinnvolle Unterteilung entsprechend der Wirkung der Massnahme wider. Bei der Umsetzbarkeit wurde differenziert nach dem Vorhandensein einer technischen Lösung, der Wirtschaftlichkeit und den regulatorischen Rahmenbedingungen; insgesamt erfolgte jedoch nur eine Gesamtbewertung über diese drei Subkategorien. Es gilt zu berücksichtigen, dass es sich bei der Bewertung um Prognosen handelt, die mit entsprechenden Unsicherheiten behaftet sind.

Tabelle 9: Bewertungsschema der Massnahmen zur Senkung der Treibhausgasemissionen nach Potential und Umsetzbarkeit.

Potential	★	★★	★★★	★★★★	★★★★★
t CO ₂ eq/a	≤5'000	>5'000	>10'000	>25'000	>50'000
Umsetzbarkeit	★	★★	★★★	★★★★	★★★★★
Technische Lösung	nicht vorhanden	Konkretisierung erforderlich	Konkretisierung erforderlich	vorhanden	vorhanden
Wirtschaftlichkeit	nicht gegeben	nicht gegeben	eher nicht gegeben	teilweise gegeben	gegeben
Regulatorische Rahmenbedingungen	Anpassungen notwendig	limitierend	unsicher	teilweise gegeben	gegeben

6.1. Massnahmen, Teil 1 (Treibhausgasemissionen Scope 1 & 2)

Insgesamt wurden 5 Massnahmen zur Senkung der direkten Treibhausgasemissionen identifiziert und bewertet, die Tabelle 10 zeigt die Übersicht. Mehr Details zeigen die Steckbriefe im Anhang 10.3.1.

Tabelle 10 Massnahmen zur Reduktion der direkten Treibhausgasemissionen (Scope 1&2).

Titel der Massnahme	Kurzbeschreibung	Potential (tCO ₂ eq/a)	Umsetzbarkeit
Umrüstung fossil betriebener Gebäudeheizungen	Heutige Gebäudeheizungen mit fossilen Brennstoffen werden durch Heizanlagen mit erneuerbaren Energien (z.B. Holz, Umwelt- oder Fernwärme) ersetzt.	★★★★☆	★★★★★
Umrüstung & Neubeschaffung Dieselschienenfahrzeuge	Mit Diesel angetriebene Güterlokomotiven sowie schienengebundene Infrastruktur- und Unterhaltsfahrzeuge werden auf emissionsfreie Antriebe umgerüstet oder durch klimaneutrale Neubeschaffungen ersetzt.	★★★★☆	★★★★☆
Klimafreundliche Kältemittel & Isoliergase	HFKW-Kältemittel in Klimaanlage von Personenzügen und Gebäuden sowie das Isoliergas SF6 in Schaltanlagen werden durch umweltfreundlichere Kältemitteln (z.B. CO ₂ , Propan) ersetzt.	★★★☆☆	★★★☆☆
Elektrische Strassenfahrzeuge	Fossil angetriebene Strassenfahrzeuge werden durch alternativ (v.a. batterieelektrisch) angetriebene ersetzt.	★★★★☆	★★★★☆
Umrüstung Gasweichenheizungen	Erd- und propangasbetriebene Weichenheizungen werden durch Elektroweichenheizanlagen ersetzt.	★☆☆☆☆	★★★★☆

6.2. Massnahmen, Teil 2 (Treibhausgasemissionen Scope 3)

Die Massnahmen zur Reduktion der Scope 3-Emissionen umfassen die Potentiale aus der Wertschöpfungskette der Bahnunternehmen und von Assets, die nicht dem Eigentum oder der Kontrolle der Bahnunternehmen selbst unterstehen (WRI, WBCSD 2004, S. 28-29).

Da die aktuelle Datengrundlage (Stand Frühjahr 2021) keine Quantifizierungen der Potentiale im Bereich der Scope 3-Emissionen zulässt, werden diese nur annäherungsweise beziffert. Der Bundesrat hat im August 2019 das Ziel einer klimaneutralen Schweiz bis 2050 beschlossen (Der Bundesrat 2019). Soll dieses Ziel erreicht werden, müssen die Bahnunternehmen entsprechend auch ihre Verantwortung im Bereich der Scope 3-Emissionen wahrnehmen.

Tabelle 11 zeigt die Massnahmen der indirekten Treibhausgasemissionen (Scope 3) in der Übersicht, die Bewertung des Potentials und der Umsetzbarkeit basiert auf dem Schema in Tabelle 9 (siehe vorherige Seite). In der TextBox auf der nächsten Seite sind exemplarisch die Erfahrungen zum Einsatz einer hybriden Gleisbaumaschine enthalten.

Tabelle 11 Massnahmen zur Reduktion der indirekten Treibhausgasemissionen (Scope 3).

Titel der Massnahme	Kurzbeschreibung	Potential (tCO ₂ eq/a)	Umsetzbarkeit
Beschaffung von fossilfreien Mieten und Dienstleistungen	Das Ziel besteht darin, externalisierte Aufgaben des Kerngeschäfts mit 100% erneuerbaren Energien zu erbringen.	★★★★☆	★★★★☆
Kreislaufwirtschaft	Alle Assets (Materialien und Produkte) der Bahnunternehmen sollen in Kreisläufen erhalten und so ihre Nutzungsdauer und Werte maximiert werden. Dadurch werden die bei der Neuherstellung entstehenden Emissionen eingespart.	★★★★☆	★★★★☆
Mitarbeitermobilität	Durch die Mitarbeitenden verursachte Emissionen aus dem Arbeitsweg und aus Geschäftsreisen sollen weiter reduziert werden.	★★★★☆	★★★★☆

Hybride Gleisbaumaschine (Pantograph & Diesel)

Die Hybridstopfmaschine von Krebs ist ein Beispiel zur Reduktion der Scope3-Emissionen und könnte als Blaupause für weitere ausgeschriebene Leistungen dienen:

- Die SBB vergibt die Gleisarbeiten an externe Unternehmen, über diese Aufträge sind rund 80 Maschinen für die SBB unterwegs (24 Stopfen, 12 Verdichten und Planieren, 9 Schienenbearbeitung, 25 Erneuerung, 8 Krane).
- Der Markt ist relativ überschaubar, nur einige wenige Firmen haben die notwendigen Maschinen und verfügen über das entsprechende Knowhow.
- Heute werden praktisch alle Maschinen mit Diesel betrieben, eine Stopfmaschine benötigt pro Stunde bis zu 130 Liter Diesel.



Seit 2016 ist von der Firma Krebs für die SBB eine hybride Gleisbaumaschine im Einsatz (Pantograph & Diesel), welche nach Möglichkeit den Strom über den Pantographen bezieht. Die Treiber für die Entwicklung einer solchen Gleisbaumaschine waren das leisere Arbeiten in besiedelten Gebieten, der Schutz des Fachpersonals (Lärm, Staub, Ergonomie) und eine bessere Wirtschaftlichkeit, resp. bessere Reputation. In Form eines [Fachartikels](#) liegen nun die Betriebserfahrungen von drei Jahren vor.

- Insgesamt können die CO₂-Emissionen um 80-95% gesenkt werden, pro Jahr spart eine elektrifizierte Gleisbaumaschine rund 120 t CO₂.
- Die Investitionen sind zwar 20-30% höher für die Anschaffung einer elektrifizierten Gleisbaumaschine. Dafür ist aber der Betrieb und der Unterhalt günstiger, da im Vergleich ein geringerer Verschleiss, reduzierte Energiekosten und weniger Betriebsmittel notwendig sind.
- Aufgrund der besseren Wirtschaftlichkeit sind die Schichtpreise pro Stunde für die SBB dadurch nun etwas geringer - insgesamt eine Win-Win-Win-Situation.

Zu beachten ist allerdings, dass solche Lösungen nicht einfach so entstehen. Vielmehr ist eine partnerschaftliche Kooperation mit den Lieferanten erforderlich und die Ausschreibungen müssen von Beginn weg auch möglichst Varianten mit alternativer Energiebereitstellung zulassen oder ggf. sogar fördern.

6.3. Gesamtpotential im Jahr 2050 zur Senkung der Treibhausgasemissionen

Kombinierte Wirkung der direkten Massnahmen

Das Gesamtpotential der Massnahmen zur Senkung der Treibhausgasemissionen aus Scope 1 & 2 im Szenario I ARE 2050 beträgt geschätzt rund 106'000 t CO₂eq/a. Die zusätzlichen Treibhausgasemissionen gegenüber dem Stand BAHN 2019 entstehen durch den Verkehrswachstum im Personen- und Güterverkehr für das Jahr 2050. Nachfolgend werden die Beiträge der einzelnen Massnahmen zur Reduktion der Treibhausgasemissionen dargestellt:

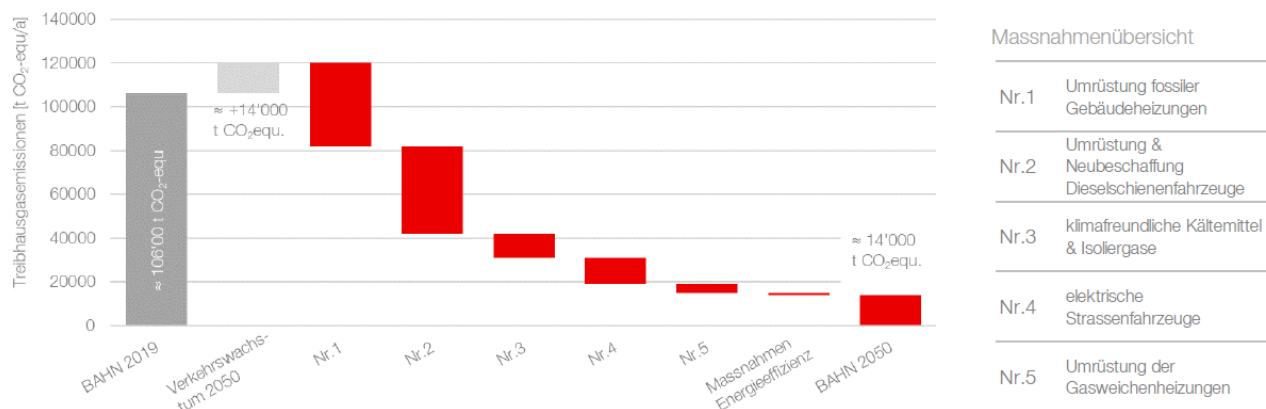


Abbildung 13: Reduktion der Treibhausgasemissionen mit Massnahmen.

Die grössten Reduktionen der Treibhausgasemissionen können mit der Umrüstung fossiler Gebäudeheizungen (~38'000 CO₂eq/a) sowie mit der Umrüstung und Neubeschaffung von Dieselschienenfahrzeugen (~40'000 CO₂eq/a) erzielt werden. Zusätzlich aufgeführt sind ausserdem die Massnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz, die gleichfalls zu einer minimalen Reduktion der Treibhausgasemissionen beitragen.

Bei Umsetzung der Massnahmen ergibt sich folgende Zusammensetzung der Treibhausgasemissionen im System BAHN 2050 Szenario I ARE 2050:

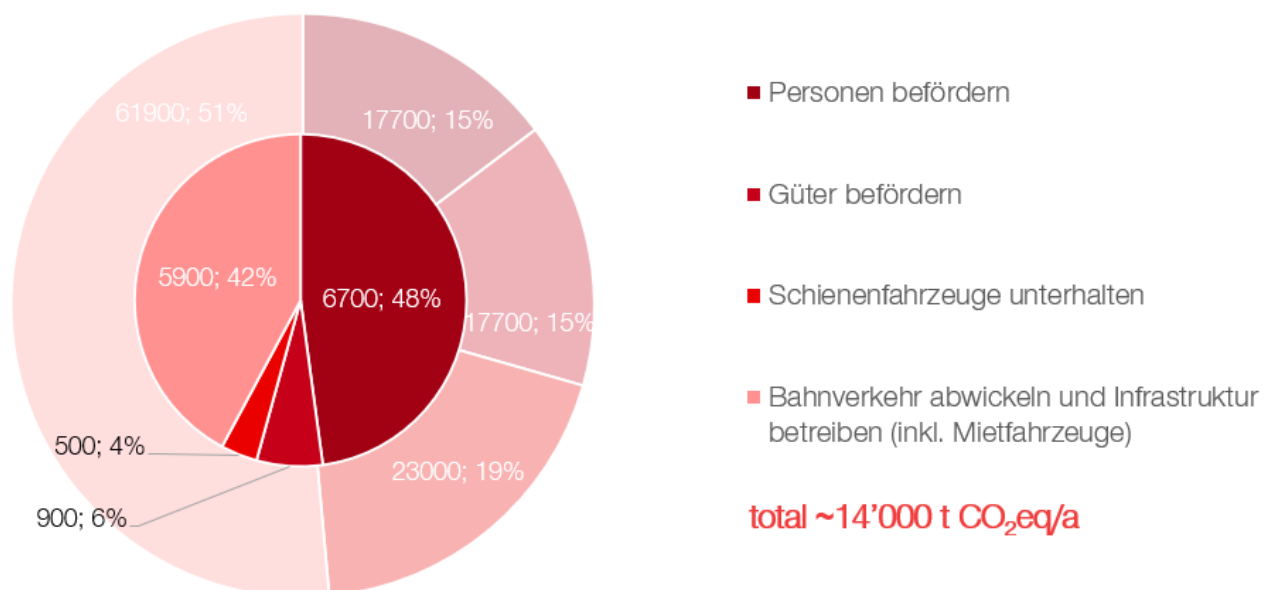


Abbildung 14: Treibhausgasemissionen im System BAHN 2050, Szenario I ARE 2050 nach Umsetzung der Massnahmen (Scope 1&2, in t CO₂eq/a, gerundet).

Insgesamt fallen noch geschätzt rund 14'000 tCO₂eq/a an, knapp die Hälfte davon beim Befördern von Personen. Die verbleibenden Hauptemissionsquellen sind hier v.a. die Verluste an umweltschädlichen Kältemittel-Gasen der Klimaanlage in den Zügen, die bis 2050 noch nicht vollständig durch umweltfreundlichere Kältemittel ersetzt werden können, sowie Emissionen aus der Methanentwicklung bzw. SF₆-Verlusten im Zusammenhang mit der Stromproduktion. Der zweite grosse Anteil der verbleibenden Emissionen entfällt auf den Bahn- und Infrastrukturbetrieb – hier bilden insbesondere die noch nicht umgerüsteten Dieselschienenfahrzeuge sowie der Bezug von Wärmeenergie aus nicht vollständig fossilfreien Fernwärmenetzen für Gebäudeheizungen die Hauptemissionsquellen.

Einteilung der Massnahmen nach Potential und Umsetzbarkeit

In der Einteilung nach ihrer Umsetzbarkeit und ihrem Potential ergibt sich bei den Massnahmen zur Reduktion der Treibhausgasemissionen (inkl. Scope 3) folgendes Bild (vgl.

Tabelle 9 in Kap. 6.):

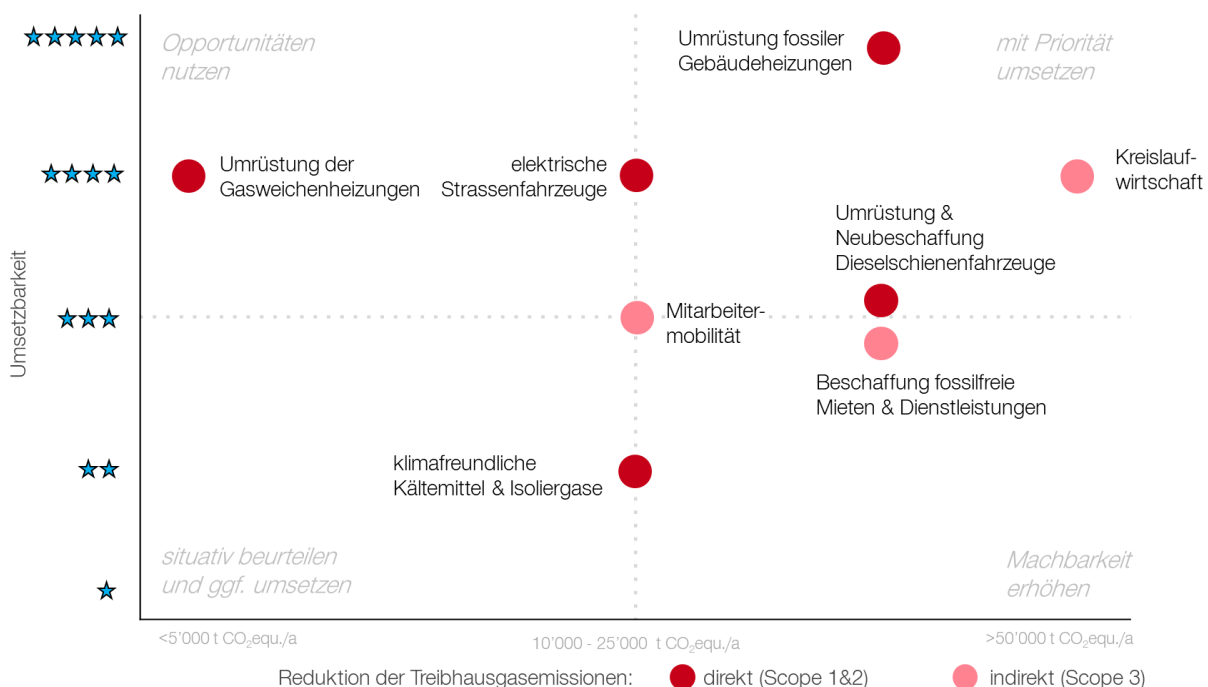


Abbildung 15: Einschätzung zu Umsetzbarkeit und Potential der Massnahmen zur Reduktion der Treibhausgasemissionen, inkl. möglichen Strategien zur Umsetzung ausgewählter Massnahmen.

Die Kreislaufwirtschaft weist das grösste Reduktionspotential der Massnahmen auf und ist in vielen Bereichen bereits umsetzbar, bspw. über das Setzen von Vorgaben bei Ausbausritten und Beschaffungen. Bei der Umrüstung und Neubeschaffung von Dieselschienenfahrzeugen sowie bei der Beschaffung fossilfreier Mieten und Dienstleistungen müssen Lösungen gemeinsam mit den betroffenen Branchen entwickelt werden. Mit einem ähnlich hohen Reduktionspotential ist für die fossilen Gebäudeheizungen bereits ein Lösungsansatz bekannt: Heizungen mit erneuerbaren Energien sind verfügbar und bereits heute wirtschaftlich einsetzbar. Bei anderen Massnahmen wie der Umrüstung der Gasweicheheizungen oder dem Ersatz von Kältemitteln und Isoliergasen durch klimafreundliche Alternativen können bspw. Synergien mit laufenden Projekten gesucht und nach Möglichkeit die Unterstützung des BAV angefordert werden.

7. Erhöhung der Produktion von erneuerbarem Strom

Im System BAHN finden sich heute grosse, mehrheitlich noch nicht erschlossene, Potentiale zur Produktion von Strom aus erneuerbaren Quellen. Der Anteil an produziertem Strom aus neuen erneuerbaren Energien im System BAHN ist bislang noch bescheiden: Im Jahr 2019 wurden nur rund 6 GWh Photovoltaikstrom und 9 GWh Strom aus Kleinwasserkraft produziert. Bis 2050 wird sich die Mobilität, die Gesellschaft wie auch die regulatorischen Bedingungen weiter wandeln. Damit wird sich sowohl das Potential der erneuerbaren Energien wie auch deren Erschliessbarkeit verändern.

7.1. Vorgehen und Methodik

Die Methodik für die Ermittlung der Potentiale der erneuerbaren Energien unterscheidet sich leicht zu der in Kap. 4.1 beschriebenen Methodik für den Energiebedarf und die Treibhausgasbilanz. Das Vorgehen zur Berechnung der Potentiale für erneuerbare Energien im System BAHN per 2050 ist in Abbildung 16 schematisch dargestellt. Bei der technologie- und anwendungsbezogenen Detaillierung der Potentiale für erneuerbare Energien wird in diesem Kapitel auf die Stromproduktion fokussiert. Weitere Potentiale für die Bereitstellung von Wärme werden nicht vertieft, sind jedoch ebenfalls vorhanden.

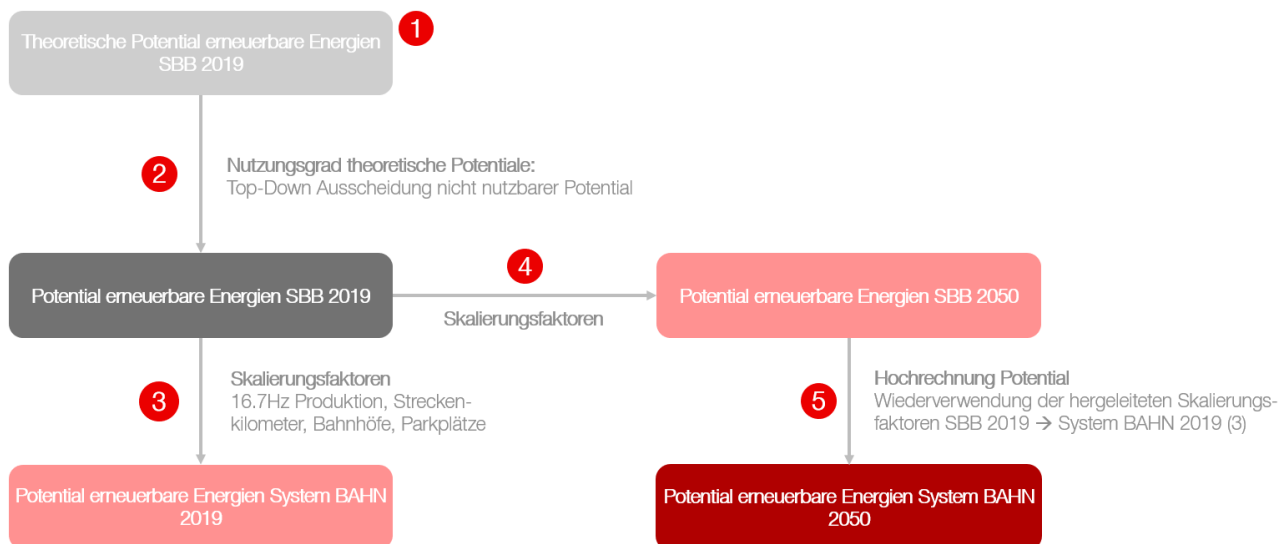


Abbildung 16: Extrapolation der Potentiale für erneuerbare Energien auf das System BAHN 2050

- 1** In einem ersten Schritt wurden die bei der SBB vorhandenen Potentialanalysen und Potentialabschätzungen für die verschiedenen Technologien und Assets zusammengetragen. Fehlende Informationen beim Potential wurden durch Experteneinschätzungen erhoben.
- 2** Diese theoretischen Potentiale wurden anschliessend mit einem Top-Down-Ansatz auf ein sogenanntes realistisches theoretisches Potential der SBB aus Perspektive 2019 reduziert.
- 3** Das realistisches theoretische Potential wurde mittels jeweils geeigneten Skalierungsfaktoren auf das System BAHN hochgerechnet – die für die Skalierung verwendeten Parameter, Datenquellen im System BAHN und die damit interpolierten Faktoren sind in Tabelle 12 ersichtlich.
- 4** Mit Hilfe von Expertenwissen und Resultate aus den Szenarien (Kap. 4.1) wurde das Potential der SBB 2019 auf das Jahr 2050 extrapoliert. Hierfür wurden strategische Aspekte aus der langfristigen integrierten Mobilitäts- und Arealentwicklung (LIMA) oder die Steigerung von Systemeffizienzen der Technologien berücksichtigt – die Skalierungsfaktoren finden sich in Tabelle 8.

5

In einem abschliessenden Schritt wurde das Potential SBB 2050 auf das System BAHN 2050 hochgerechnet. Hierfür wurden die in Schritt 3 berechneten Skalierungsfaktoren wieder verwendet. Dies, weil davon ausgegangen wird, dass sich das System BAHN als Ganzes grundsätzlich in dieselbe Richtung wie die SBB entwickeln wird. Damit werden dieselben Skalierungsfaktoren verwendet wie im Schritt 3 (Extrapolation der Daten für das Jahr 2019).

Tabelle 12: Skalierungsfaktoren Potential erneuerbare Energien von SBB 2019 nach BAHN 2019, inkl. Quellen.

SBB 2019	Wert	BAHN 2019	Wert	SBB-Anteil am System BAHN	Faktor
Produktion Bahnstrom 16.7 Hz ⁽¹⁾	1979 GWh/a	Produktion 16.7 Hz SBB = System BAHN	1979 GWh/a	100.0%	1.00
Streckenkilometer ⁽²⁾	3236 km	Streckenkilometer	4307 km	75.1%	1.33
Haltestellen / Bahnhöfe (gross & mittel) ⁽³⁾	510 Bhf	Haltestellen / Bahnhöfe (gross & mittel)	673 Bhf	75.8%	1.32
PV-Leitung der Perrondächer (gross & mittel) ⁽³⁾	92.3 MWp	PV-Leitung der Perrondächer (gross & mittel)	118.1 MWp	78.2%	1.28
PV-Ertrag der Perrondächer (gross & mittel) ⁽³⁾	88.8 GWh/a	PV-Ertrag der Perrondächer (gross & mittel)	113.5 GWh/a	78.2%	1.28
Fläche Perrondächer (gross & mittel) ⁽³⁾	543'058 m ²	Fläche Perrondächer (gross & mittel)	694'562 m ²	78.2%	1.28
Park & Rail Parkplätze ⁽⁴⁾	32'923 Parkplätze	Park & Rail Parkplätze	38'371 Parkplätze	85.8%	1.17

1) Gemäss SBB EN: Produktion 16.7Hz Bahnstrom inkl. Beteiligungen. Energiebilanz 2019

2) Gemäss Übersicht Bahnen vom Verband öffentlicher Verkehr (VÖV); Berücksichtigung der Bahnen im System BAHN

3) Gemäss Informationen System BAHN (BLS Netzzustandsbericht 2019, restl. BAHNEN Homepage BLS AG (Zugriff: 29.04.2021);

4) Gemäss SBB IM und Hochrechnung auf System BAHN über P&R-Informationen verfügbar auf Homepage SBB AG (Zugriff: 30.04.2021)

Tabelle 13: Skalierungsfaktoren Potential erneuerbare Energien von SBB 2019 nach SBB 2050, inkl. Berechnung.

2019 (SBB/BAHN)	Wert	2050 (SBB/BAHN)	Wert	Steigerung 2019 /2050	Faktor
Steigerung Technologieeffizienz PV ⁽¹⁾	6.0 m ² /kWp	Steigerung Technologieeffizienz PV	4.5 m ² /kWp	33.3%	1.33
Steigerung Wirkungsgrad Grosswasserkraft ⁽²⁾	1979.0 GWh/a	Steigerung Wirkungsgrad Grosswasserkraft	2'002.1 GWh/a	1.2%	1.01
Steigerung Technologieeffizienz Windkraft ⁽³⁾		Steigerung Technologieeffizienz Windkraft		10.0%	1.10
Zunahme Streckenkilometer ⁽⁴⁾	km	Zunahme Streckenkilometer	km	6.9%	1.07
Zunahme der Gebäude (Immobilien) ⁽⁵⁾	Objekte	Zunahme der Gebäude (Immobilien)	Objekte	25.0%	1.25
Entwicklung Gebäude KW, FU & UW ⁽⁶⁾	Objekte	Entwicklung Gebäude KW, FU & UW	Objekte	15.0%	1.15
Zunahme Perrondächer ⁽⁶⁾	Objekte	Zunahme Perrondächer	Objekte	10.0%	1.10
Zunahme PV auf Neubau-LSW ⁽⁶⁾	279.3 MWp	Zunahme PV auf Neubau-LSW	24.4 MWp	-91.3%	0.09

1) Gemäss Experteneinschätzung. 2019 6m²/kWp. Per 2050 Steigerung Technologieeffizienz auf 3m²/kWp. Annahme Ausbau/Erneuerung Gebäude linear: 4.5m²/kWp.

2) Gemäss Massnahmenreporting Programm «Energiesparen und erneuerbare Energien» SBB, Experteneinschätzung SBB Energie.

3) Gemäss Experteneinschätzung Windkraft

4) Gemäss Szenarien «Best effort» und «Verdopplung Modalsplit»

5) Gemäss Experteneinschätzung SBB Immobilien (Hergeleitet aus Annahme Komplettisanierung Bestandsbauten +10% und Zunahme/Ausbau von Neubauten +15%)

6) Gemäss Experteneinschätzung SBB Infrastruktur & Energie

7.2. Massnahmen

Im System BAHN findet sich Potential für die Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien aus Wasserkraft, Photovoltaik und Windkraft. Die Potentiale im Bereich Wasserkraft finden sich fast ausschliesslich bei der Kleinwasserkraft.

Abbildung 17 gibt einen Überblick über die einsetzbaren Technologien und die Anwendungsorte der erneuerbaren Energien für die Stromproduktion im System BAHN. Die Nummerierungen in der Abbildung beziehen sich auf die nachfolgend vorgestellten Massnahmen.

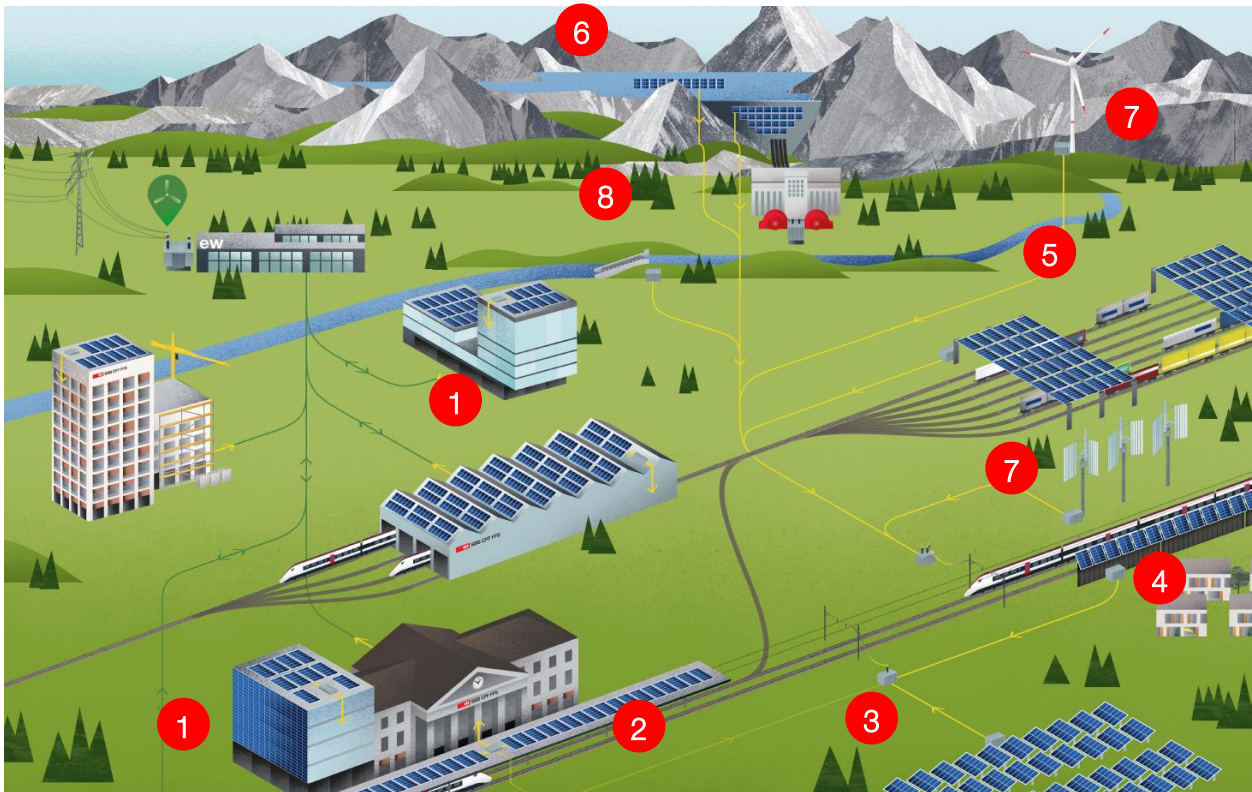


Abbildung 17: Überblick erneuerbare Energien und deren Anwendungsmöglichkeiten im System BAHN

Alle Potentiale sind betreffend Wirkung und Umsetzbarkeit bewertet. Die Bewertungslogik folgt der Sternebewertung für die Massnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz und Senkung der Treibhausgasemissionen (siehe Tabelle 9). Bei der Umsetzbarkeit wurde differenziert nach dem Vorhandensein einer technischen Lösung, der Wirtschaftlichkeit und den regulatorischen Rahmenbedingungen; insgesamt erfolgte jedoch nur eine Gesamtbewertung über diese drei Subkategorien. Es gilt zu berücksichtigen, dass es sich hier um Prognosen handelt, die mit entsprechenden Unsicherheiten behaftet sind.

Tabelle 14: Bewertungsschema der Massnahmen zur Produktion von erneuerbarem Strom nach Potential und Umsetzbarkeit

Potential	★	★★	★★★	★★★★	★★★★★
GWh/a	≤10	>10	>20	>50	>100
Umsetzbarkeit	★	★★	★★★	★★★★	★★★★★
Technische Lösung	nicht vorhanden	Konkretisierung erforderlich	Konkretisierung erforderlich	vorhanden	vorhanden
Wirtschaftlichkeit	nicht gegeben	nicht gegeben	eher nicht gegeben	teilweise gegeben	gegeben
Regulatorische Rahmenbedingungen	Anpassungen notwendig	limitierend	unsicher	teilweise gegeben	gegeben

Tabelle zeigt die Massnahmen zur Erhöhung der Produktion von erneuerbarem Strom in der Übersicht; die detaillierten Beschreibungen in Form von Steckbriefen finden sich im Anhang.

Tabelle 15 Massnahmen zur Erhöhung der Produktion von erneuerbarem Strom.

Titel der Massnahme	Kurzbeschreibung	Potential (GWh/a)	Umsetzbarkeit
Photovoltaik auf Gebäuden	Installation von Photovoltaik (PV) in Form von Auf-/Indachanlagen oder fassadenintegrierter PV.	★★★★★	★★★★★
Photovoltaik auf Perrondächern	Installation von PV auf Perrondächern in Form von aufgeständerten Aufdachanlagen oder semitransparenten dachintegrierten Anlagen bei Eindeckungserneuerungen.	★★★★★	★★★★★
Photovoltaik-Freiflächenanlagen	Installation von PV in Form von im Boden verankerten und aufgeständerten Anlagen auf Freiflächen entlang der Gleise, die weder bewaldet sind noch einen hohen Schutzstatus aufweisen.	★★★★★	★★★★★
Photovoltaik auf Lärmschutzwänden	Installation von PV-Anlagen auf Lärmschutzwänden entlang der Gleise.	★★★★★	★★★★★
Überdachungen mit Photovoltaik	Installation von PV-Anlagen auf Überdachungen von Gleisen und Parkplätzen.	★★★★★	★★★★★
Schwimmende PV-Anlagen	Installation von PV-Anlagen auf schwimmenden Modulen auf Seen, Ausgleichsbecken oder weiteren Wasserkörpern.	★★★★★	★★★★★
Windkraft	Bau von Klein- oder Grosswindkraftanlagen auf bahnnahe Grundstücken.	★★★★★	★★★★★
Kleinwasserkraft	Bau von Kleinwasserkraftwerken, interessant v.a. im Zusammenhang mit der Nutzung von Dotierwasser aus Grosswasserkraftwerken und Wasserabflüssen in Tunnelanlagen.	★★★★★	★★★★★

Zusätzlich wird im Rahmen der kontinuierlichen Betriebsoptimierung und Instandhaltung der Wirkungsgrad der bestehenden Grosswasserkraftwerke der SBB gesteigert; das Potential wird auf rund 25 GWh/a geschätzt.

7.3. Gesamtpotential BAHN 2050 zum Ausbau der erneuerbaren Energien

Gesamtpotential bei Umsetzung aller Massnahmen

Unter der Annahme, dass alle skizzierten Massnahmen umgesetzt werden können, beträgt das Gesamtpotential zum Ausbau der Produktion der erneuerbaren Energien rund 375 GWh (siehe Abbildung 18). Das Gesamtpotential clustert sich in Abbildung 18 in 335 GWh/a aus Photovoltaik, 25 GWh/a aus Kleinwasserkraft und 15 GWh/a aus Windkraft. Das grösste Potential für Photovoltaik bieten die Immobilien im System BAHN. Diese umfassen die Bahnhöfe, Werke, Infrastrukturgebäude wie Interventionszentren, Bahntechnikgebäude und die Gebäude rund um die Energieversorgung (Kraftwerke, Unter- und Frequenzumformerwerke). Dabei machen die PV-Aufdachanlagen rund 90% des Potentials und 10% die fassadenintegrierte Photovoltaik aus. Je 40-60 GWh/a betragen die Potentiale für Perrondächer, Freiflächenanlagen, Lärmschutzwände, Überdachungen und schwimmende PV-Anlagen (Floating PV).



Abbildung 18: Erhöhung der Produktion von erneuerbaren Energien mit Massnahmen.

Potential abhängig von Entwicklung der Schweizer Energiepolitik

Die Abschätzungen zur Bestimmung der Potentiale basiert auf einer Extrapolation mit den bestehenden Rahmenbedingungen. Insbesondere der Ausbau der Windkraft ist sehr stark von den Entwicklungen in der Schweizer Energiepolitik abhängig. Entsprechend könnte das Potential um ein Vielfaches anwachsen, sofern die regulatorischen Rahmenbedingungen «Windkraft-freundlicher» werden. Derselbe Effekt ist ebenfalls bei Photovoltaik und Kleinwasserkraft zu erkennen, wenn auch in deutlich kleineren Skalen. Sofern sich Opportunitäten für die Bahnunternehmen ergeben, können die Potentiale massiv grösser werden. Für die meisten Anlagentypen würde das Potential um Grössenordnung 50% zunehmen. Die Ausnahmen hier bilden die PV-Überdachungen und das Floating-PV. Diese Potentiale können ggf. um ein Vielfaches ansteigen, falls die Anlagen bis 2050 bewilligungsfähig und wirtschaftlich werden. Jedoch könnten je nach regulatorischen Entwicklungen auch Potentiale gegebenenfalls gar nicht erschlossen werden.

Einteilung der Potentiale in Wirkung und Umsetzbarkeit

In der untenstehenden Abbildung sind die Potentiale und Umsetzbarkeit der Massnahmen zur Erzeugung von erneuerbarem Strom visualisiert. Die Potentiale im oberen rechten Spektrum werden aufgrund deren Potentialgrösse, guter Rahmenbedingungen und bestehenden Synergieeffekte mehrheitlich erschlossen werden. Demgegenüber sind die Potentiale und deren Umsetzbarkeit für PV auf Staumauern und Dämme eher gering. Gegebenenfalls ergeben sich hier Opportunities, welche in den Einzelfällen genutzt werden sollten. Das besondere Augenmerk erhalten die Potentiale rechts unten in der Grafik, welche mittel bis hoch beurteilt sind, jedoch von der Reife der Umsetzbarkeit noch tief sind. Diese Potentiale müssen aktiv entwickelt werden was einerseits heissen kann, dass weitere Grundlagen erarbeitet und Machbarkeiten geprüft werden müssen und andererseits, dass die regulatorischen Rahmenbedingungen beobachtet und Opportunities gezielt genutzt werden sollten.

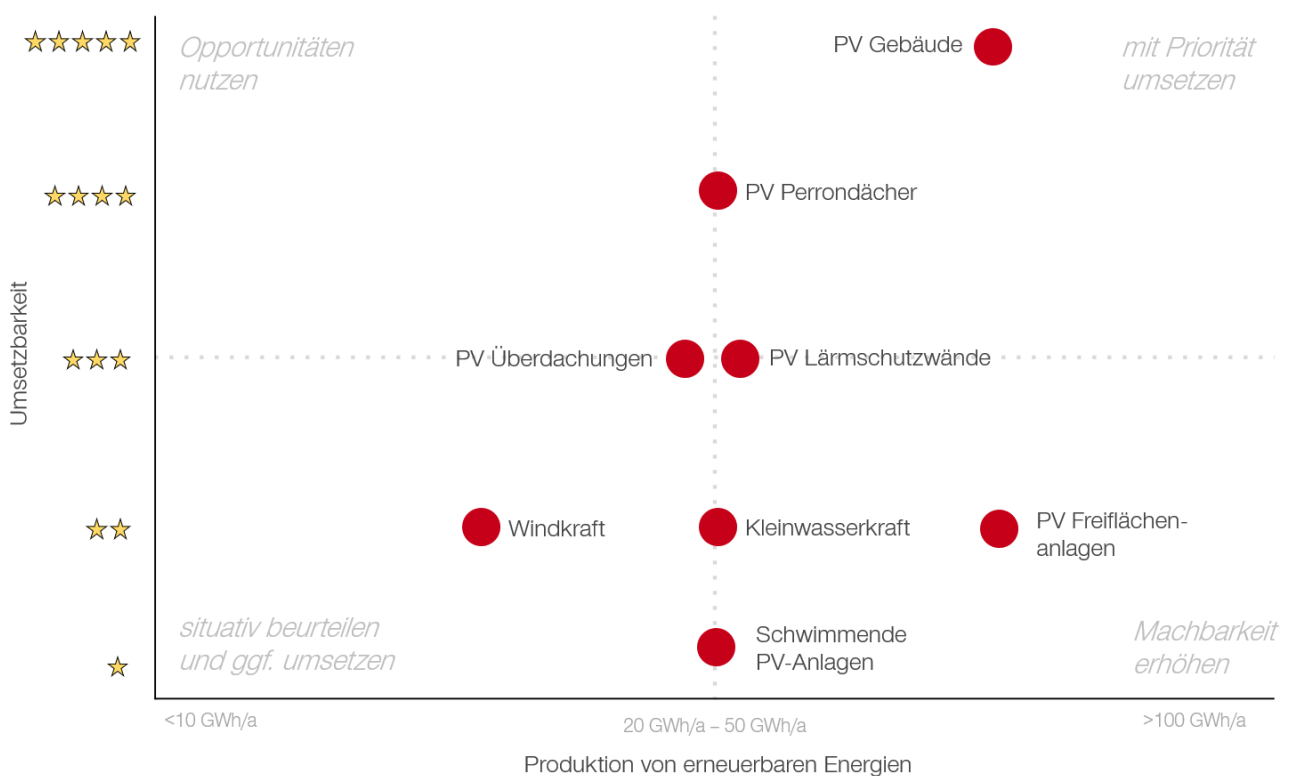


Abbildung 19: Visualisierung der Massnahmen betreffend Potential und Umsetzbarkeit

Produktion von 50Hz Haushaltsstrom oder 16.7Hz Bahnstrom mit Direkteinspeisung

Die Nutzung des Stroms zum Eigenverbrauch muss sichergestellt werden, sofern die Energie sich nicht wirtschaftlich vermarkten lässt oder nicht vermarktet werden soll. Für Anlagen mit kleinen bis mittleren Leistungen, welche sich in der Nähe eines eigenen Verbrauchers befinden, bietet sich die Produktion von 50Hz Haushaltsstrom an. Demgegenüber können sehr grosse und zusätzlich dezentrale Anlagen meist nur zu einem geringen Anteil den Stromeigenverbrauch decken. Für diese Anlagen bietet sich die Direkteinspeisung ins Bahnstromnetz an.

Die energiewirtschaftliche Bewertung des Bahnstromportfolios hat gezeigt, dass das aktuelle Portfolio Photovoltaikstrom in der Grössenordnung von 100 GWh pro Jahr wirtschaftlich aufnehmen kann, ohne signifikante Anteile eben dieser 16.7Hz-PV-Produktion verkaufen zu müssen. Der Grund der Obergrenze ist, dass die am Tag und mehrheitlich im Sommer anfallende PV-Produktion den Bedarf im tages- und jahreszeitlichen Lastverlauf des 16.7Hz Netz nicht optimal ergänzt. Die Produktion von Strom aus Wind und Kleinwasserkraftwerken hingegen passt aufgrund der Entkoppelung der Produktion vom Tagesverlauf grundsätzlich gut ins Bahnstromportfolio. Eine einzelfallweise Bewertung der dezentralen Produktionsanlagen ist dennoch angezeigt.

Mit einer Verstärkung des aktiven Lastmanagements im Bahnstromnetz und der Anzahl im System verfügbarer Batterien kann sich der wirtschaftlich aufnehmbare Anteil von Photovoltaikstrom im System weiter erhöhen. Überdies würde sich eine Kopplung des Bahnstromsystems mit dem 50Hz Netz aufgrund der zunehmenden Elektrifizierung der Mobilität positiv auf die wirtschaftliche Aufnahme von PV-Strom auswirken.

Der Fokus der Studie sind die Potentiale für erneuerbare Energien und deren (wirtschaftliche) Erschliessung im System BAHN. Aus diesem Grund wird hier darauf verzichtet, auf Aspekte des Energiehandels und Herkunftsnachweise weiter einzugehen, da diese aus Sicht Energie für die Teilnehmerinnen des System BAHN eine wirtschaftliche und strategische Relevanz, jedoch keinen Einfluss auf die physikalischen Potentiale haben.

8. Synthese

In diesem Kapitel werden die identifizierten und bewerteten Potentiale aus den Bereichen Steigerung Energieeffizienz, Senkung Treibhausgasemissionen und Ausbau erneuerbarer Energien zusammengeführt. Damit stellen die drei Szenarien mögliche Zielzustände im Jahr 2050 dar, sofern eine Umsetzung aller identifizierten Massnahmen erfolgt.

In den Grafiken wird die Ausgangslage aus dem Jahr 2019 dargestellt, der prognostizierte unbeeinflusste Anstieg durch die Steigerung der Verkehrsleistungen und der Zielzustand im Jahr 2050 mit umgesetzten Massnahmen bzw. erschlossenen Potentialen. In den Grafiken nicht berücksichtigt sind die indirekten Treibhausgasemissionen.

Generell lässt sich sagen, dass sich die absolute Wirkung der Massnahmen für jedes Szenario verändert. Der relative Beitrag, d.h. die prozentuale Einsparung einer Massnahme, ist jedoch stabil und nahezu unverändert.

8.1. Online-Tool

Aus dem Berechnungsmodell wurde eine Online-Version erstellt, damit sich der Einfluss der verschiedenen Parameter interaktiv nachvollziehen lässt. Das Online-Tool bietet die folgenden Funktionalitäten:

- Die 25 identifizierten Massnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz, der Senkung der Treibhausgasemissionen (nur direkte) und zum Ausbau der erneuerbaren Energien können individuell zu- und abgewählt werden, um deren Wirkung besser nachvollziehen zu können.
- Die Parameter der Grobdimensionierung können individuell verändert werden, so dass z.B. auch der kombinierte Einfluss von kürzeren Zügen mit einer höheren Auslastung untersucht werden kann.
- Ein Sankey-Diagramm visualisiert die prognostizierten Energieflüsse im Jahr 2050 unter Berücksichtigung von Verkehrszunahme, gewählten Parametern zur Grobdimensionierung und Umsetzung der Massnahmen

Achtung: Das Öffnen des Tools dauert bis zu einer Minute und benötigt etwas Geduld.

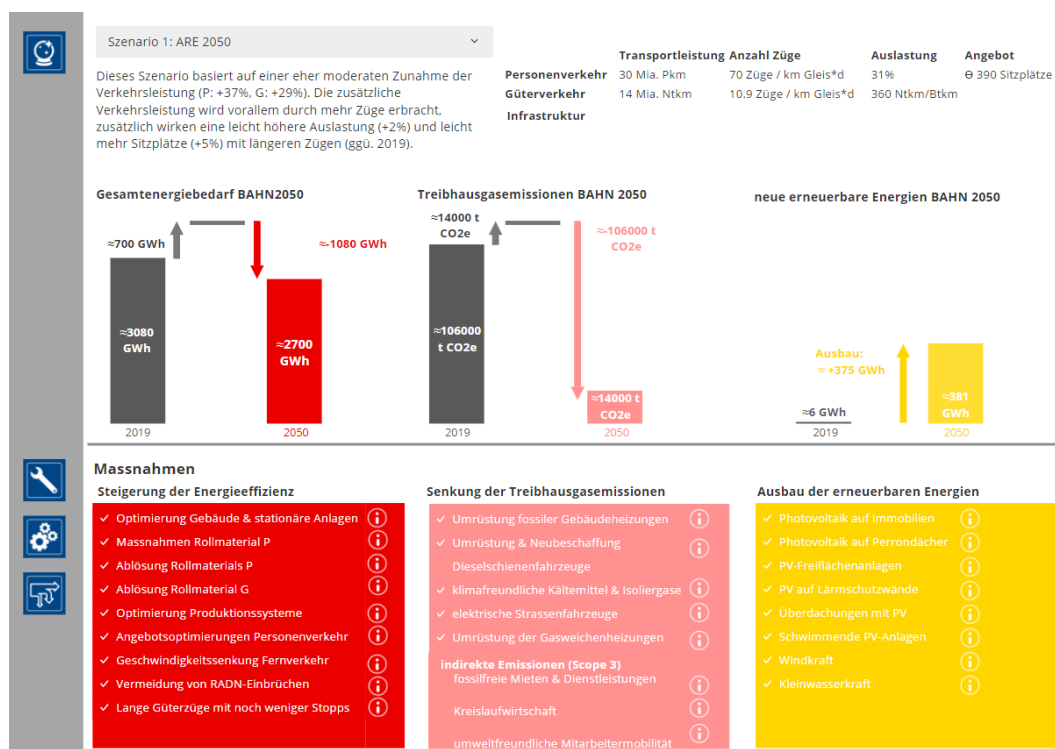


Abbildung 20: Online-Tool der Studie ([Link](#), Passwort: zukunft)

8.2. Szenario I: ARE 2050

Das Szenario I ARE 2050 basiert auf einer eher moderaten Zunahme der Verkehrsleistungen (+38% der Pkm und +28% der Ntkm). Die zusätzliche Verkehrsleistung wird vor allem durch mehr Züge erbracht, zusätzlich wirkt eine leichte Erhöhung der Auslastung im Personenverkehr (+2%) und es stehen etwas mehr Sitzplätze pro Zug (+5%) zur Verfügung. Die Anzahl Gleiskilometer wächst leicht (+2%).

Das System BAHN im Szenario I ARE 2050 wird durch die Umsetzung der Massnahmen effizienter, emissionsärmer und vollständig erneuerbar. Nicht nur eine Sicherung des Umweltvorteils des Systems BAHN ist die Folge, sondern es kann sogar eine Stärkung des Umweltvorteils erreicht werden. Gesamthaft ergibt sich hieraus für das Szenario I ARE 2050 die Situation in Abbildung 21.

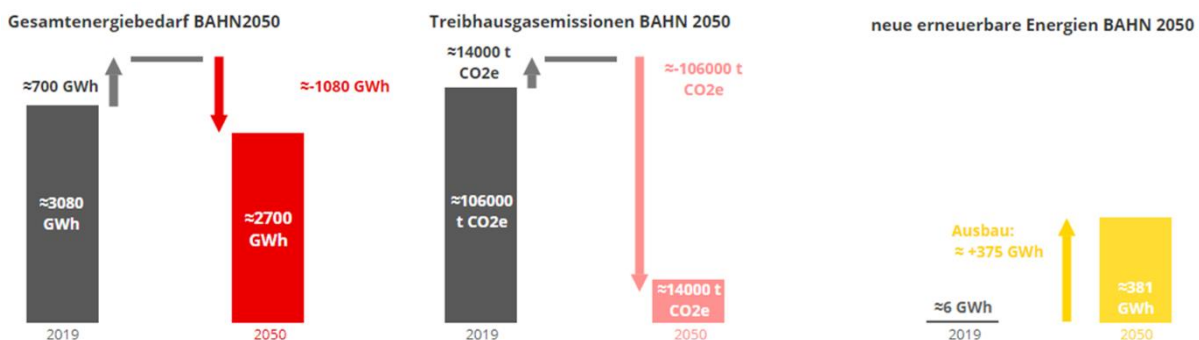


Abbildung 21: Entwicklung des Gesamtenergiebedarfs, der direkten Treibhausgasemissionen und erneuerbaren Energien im Szenario I ARE 2050.

Gesamtenergiebedarf

Eine vollständige Umsetzung der Energieeffizienzmassnahmen kann bei den moderat steigenden Transportleistungen im Szenario I ARE 2050 sogar zu einer leichten Reduktion des Gesamtenergiebedarfs 2050 (rd. -12%) führen. Die Gesamtwirkung aller Massnahmen beträgt rund ~1'080 GWh.

Direkte Treibhausgasemissionen (Scope 1&2)

Eine signifikante Dekarbonisierung des Systems BAHN um bis zu 85% ist realistisch. Die verbleibenden rund ~14'000 t CO₂eq lassen sich gemäss aktuellem Stand nur mit erheblichen zusätzlichen Investitionen vermeiden, auf den Lebenszyklus betrachtet sind die Massnahmen bei weitem nicht wirtschaftlich.

Die Massnahmen zur Reduktion der Treibhausgasemissionen tragen grösstenteils auch zur Steigerung der Energieeffizienz des Systems bei, beispielsweise die Umstellung von Heizölkessel auf Wärmepumpen in Gebäuden oder der höhere Wirkungsgrad von elektrisch betriebenen Fahrzeugen.

Indirekte Treibhausgasemissionen durch Bau und Unterhalt (Grobschätzung von Scope 3)

Gegenüber 2019 werden in diesem Szenario 157 Kilometer Gleis hinzugebaut (Annahme: 30% Tunnel, 20% Viadukt, 50% offene Strecken). Dies entspricht indirekten Treibhausgasemissionen für den Bau von einmalig rund 1.2-1.8 Mio. t CO₂, bei einem konstanten Ausbau zwischen 2025 und 2050 entspricht dies zusätzlichen jährlichen Emissionen von 50'000-75'000 t CO₂eq durch den Bau der Eisenbahninfrastruktur. Wie stark diese indirekten Treibhausgasemissionen durch Massnahmen reduziert werden können, ist gegenwärtig nicht bekannt.

Erneuerbare Energien

Das Potential zum Ausbau der erneuerbaren Energien beläuft sich auf rund 375 GWh, wobei der grösste Zubau im Bereich Photovoltaik erfolgt. Der Zubau an neuen Produktionsanlagen zusammen mit der bestehenden Wasserkraft kann im Szenario I für eine weitgehende Deckung des eigenen Strombedarfs (bei Betrachtung der Jahresbilanz) resultieren.

Das Gesamtpotential bleibt in den drei betrachteten Szenarien nahezu unverändert. Daher wird in den beiden folgenden Szenarien die Synthese zu den erneuerbaren Energien nicht weiter beschrieben.

Einordnung der Potentiale an erneuerbaren Energien

Die Analysten des BFE und Swissolar gehen davon aus, dass bis 2050 die jährliche Strommenge an Photovoltaikstrom auf 37 bis 45 TWh ansteigen müsste, um eine vollständige Versorgung der Schweiz mit Ökostrom sicherstellen zu können. Damit würde der Zubau an PV-Strom im System Bahn rund 1% ausmachen. Diese Potentiale von rund 335 GWh sind bereits erhärtet und mit heutigen Rahmenbedingungen grösstenteils erschliessbar. Der Bericht *Energieperspektiven 2050+* zeigt auf, dass die ambitionierten Ziele zum Ausbau der erneuerbaren Energien nur mit verbesserten Rahmenbedingungen erreicht werden (BFE 2020). Zukünftige Entscheide der Schweizer Energiepolitik und damit verbundene regulatorische Veränderungen können die Potentiale auch im System BAHN vervielfachen.

Übersicht der Energieflüsse

Bei Umsetzung aller identifizierten Massnahmen wird im Jahr 2050 Strom der Hauptenergieträger des Systems BAHN mit rund 96% resp. 2'600 GWh vom Endenergiebedarf sein. Der Strom stammt hauptsächlich aus den Wasserkraftwerken von SBB Energie und der Eigenproduktion mit Photovoltaik (380 GWh). Vom 50Hz-Netz werden noch rund 220 GWh eingekauft.

Der Anteil des eingekauften Stroms reduziert sich gegenüber dem Wert 2019 und beträgt nur noch rund 8% des Gesamtenergiebedarfs. Aus fossilen Energieträgern stammen nur noch rund 20 GWh, hauptsächlich für verbleibende Schienenfahrzeuge von Infrastruktur (7 GWh, resp. 0.7 Mio. Liter), rund 8 GWh für die Spitzenlastdeckung in der Gebäudeheizung (inkl. Fernwärme) sowie Propan für Prozesswärme und Gasweichenheizungen (4 GWh). Insgesamt stammen 99% der Endenergie aus erneuerbaren Energiequellen, nur 1% stammt aus nicht erneuerbaren Quellen (rund 20 GWh).

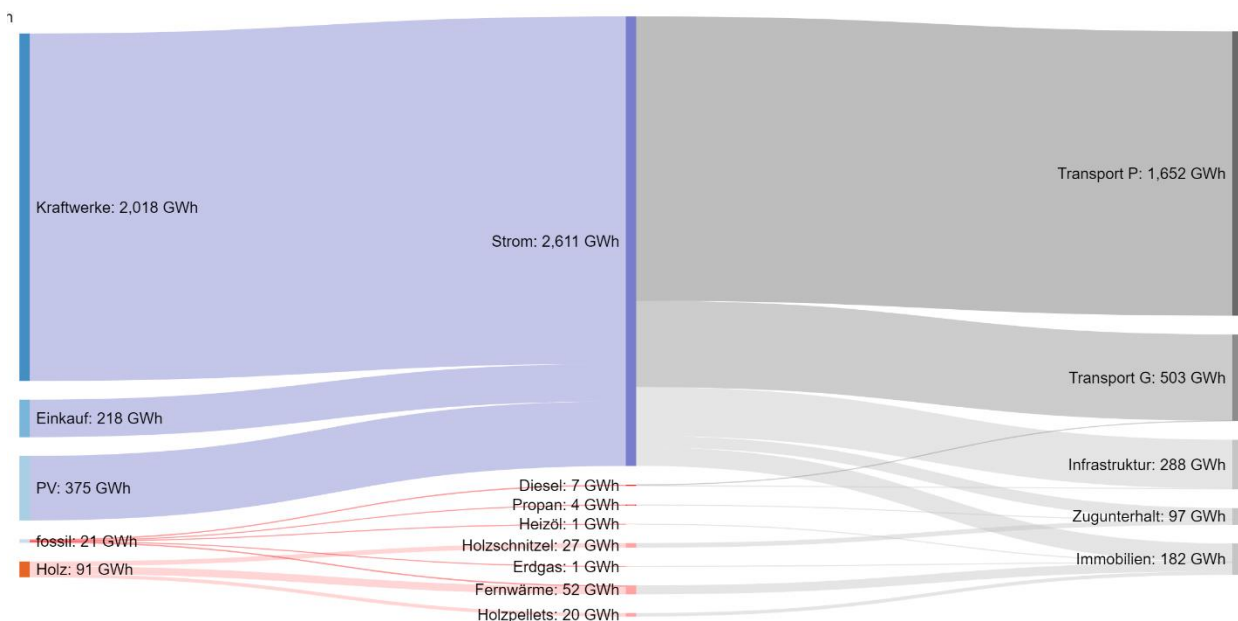


Abbildung 22: Prognostizierte Energieflüsse im System BAHN2050 mit Massnahmen (Szenario I: ARE2050)

8.3. Szenario II: Best effort

Im Szenario II Best effort ist ein signifikanter Anstieg der Transportleistungen von +79% der Pkm und +49% bei den Ntkm hinterlegt. Die zusätzliche Verkehrsleistung wird durch mehr Züge und eine leichte Erweiterung der Gleiskilometer (+7%) erbracht, zusätzlich ist die Auslastung im Personenverkehr moderat höher (+3%) und es stehen mehr Sitzplätze pro Zug (+10%) zur Verfügung. Aus Sicht der Experten sind damit die Faktoren zur Grobdimensionierung des Systems BAHN 2050 ausgereizt. Eine weitere Steigerung einzelner Faktoren liesse sich nur durch fundamentale Änderungen (z.B. verändertes Mobility Pricing) weiter steigern.

Die Auswirkungen der zusätzlichen Transportleistungen spiegeln sich vor allem im Bereich des gestiegenen Gesamtenergiebedarfs 2050 wider.

Gesamtenergiebedarf

Bei vollständiger Umsetzung der Energieeffizienzmassnahmen steigt der Gesamtenergiebedarf 2050 moderat an (~+6%). Dieser Anstieg lässt sich gut in Relation zu den Werten aus der Vergangenheit im Zeitraum 2010-2018 setzen: In den Vergangenheitswerten blieb der Energiebedarf nahezu konstant bei aber auch einem geringeren Anstieg der Verkehrsleistungen.

Sollten jedoch Massnahmen mit grossem Einfluss auf den Energiebedarf (im speziellen die Massnahmen «Ablösung Rollmaterial» oder «Angebotsoptimierung Personenverkehr») nicht oder nicht im grossen Umfang umgesetzt werden, wird der Energiebedarf 2050 deutlich stärker ansteigen (~+22%).

Direkte Treibhausgasemissionen (Scope 1&2)

Gegenüber dem Szenario I ARE 2050 zeichnet sich nahezu keine Veränderung ab. Die identifizierten Massnahmen leisten einen grösseren Beitrag zur Reduktion der Treibhausgasemissionen und resultieren in nahezu identisch verbleibenden Restemissionen (16'000 t CO₂eq gegenüber 14'000 t CO₂eq im Szenario I).

Indirekte Treibhausgasemissionen durch Bau und Unterhalt (Grobschätzung von Scope 3)

Deutlich relevanter in diesem Szenario ist hingegen der Umgang mit den indirekten Emissionen: Gegenüber 2019 werden in diesem Szenario 657 Kilometer Gleis hinzugebaut (Annahme: 30% Tunnel, 20% Viadukt, 50% offene Strecken). Dies entspricht indirekten Treibhausgasemissionen für den Bau von einmalig rund 5.2-7.8 Mio. t CO₂. Umgerechnet auf ein Jahr entspricht dies 200'000-300'000 t CO₂eq. (Annahme: konstanter Ausbau zwischen 2025 und 2050).

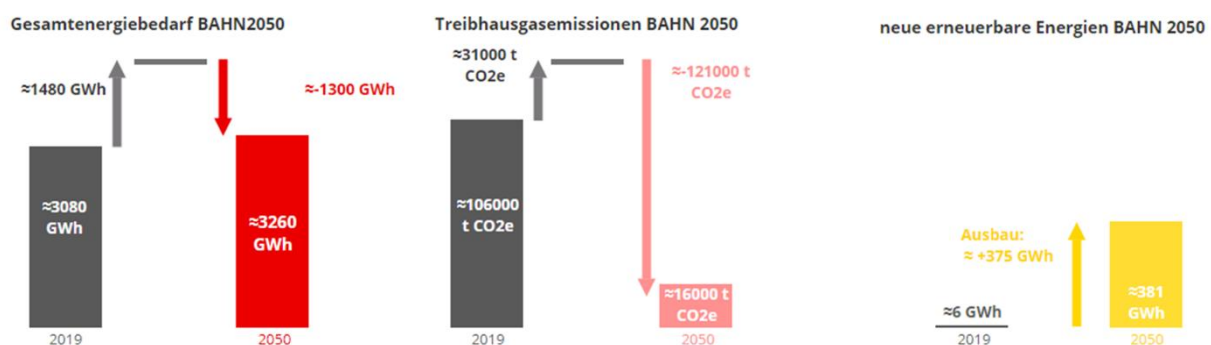


Abbildung 23: Entwicklung des Gesamtenergiebedarfs, der direkten Treibhausgasemissionen und erneuerbaren Energien im Szenario II Best effort

8.4. Szenario III: Verdoppelung Modalsplit

Dieses Szenario basiert auf einer sehr starken Zunahme der Verkehrsleistungen (+156% der Pkm und +79% der Ntkm) gegenüber 2019. Die zusätzlichen Verkehrsleistungen werden durch mehr Züge und eine deutliche Erweiterung der Gleiskilometer (+9%) erbracht, zusätzlich ist die Auslastung im Personenverkehr höher (+6%) und es stehen mehr Sitzplätze pro Zug (+13%) zur Verfügung. Aus Sicht der Autoren handelt es um ein fiktives Szenario, dass nur äusserst schwierig realisierbar wäre: Der enorme Anstieg der Transportleistungen verursacht fundamentale Änderungen in Infrastruktur, dem Rollmaterial, der Betriebsführung und der Preisgestaltung. Aus Sicht der Experten kann dies alles bis 2050 nicht oder nur sehr schwer erreicht werden. Zudem sind die Auswirkungen ebenfalls auf die Energieversorgung im System BAHN 2050 signifikant.

Gesamtenergiebedarf

Trotz einer Umsetzung aller Massnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz und Reduktion der Treibhausgasemissionen steigt der Gesamtenergiebedarf im Szenario III um rund 20% an. Damit gehen entsprechende Ausbauten in der Bahnstromversorgung einher, um die zusätzlichen Energiemengen bereitstellen zu können. Zudem: Werden die vorgeschlagenen Massnahmen im Bereich Angebotskonzepte und Fahrplangestaltung nicht umgesetzt, so steigt der Energiebedarf um nochmals weitere 10% gegenüber heute an.

Direkte Treibhausgasemissionen (Scope 1&2)

Der Ersatz der fossilen Brenn- und Treibstoffe sorgt analog den anderen beiden Szenarien zu sehr geringen verbleibenden Restemissionen (18'000 t CO₂eq).

Indirekte Treibhausgasemissionen durch Bau und Unterhalt (Grobschätzung von Scope 3)

Der ambitionierte Anstieg der Verkehrsleistungen führt zum Bau von zusätzlicher Infrastruktur: Gegenüber 2019 werden in diesem Szenario 857 Kilometer Gleis hinzugebaut (Annahme: 30% Tunnel, 20% Viadukt, 50% offene Strecken). Dies entspricht indirekten Treibhausgasemissionen für den Bau von einmalig rund 6.8-10.2 t CO₂eq, jährlich entspricht dies 270'000-410'000 t CO₂eq (Annahme: konstanter Ausbau zwischen 2025 und 2050). Das ist fast die 20fache Menge der direkten Treibhausgasemissionen! Dementsprechend wichtig sind Massnahmen zur Reduktion dieser Emissionen.

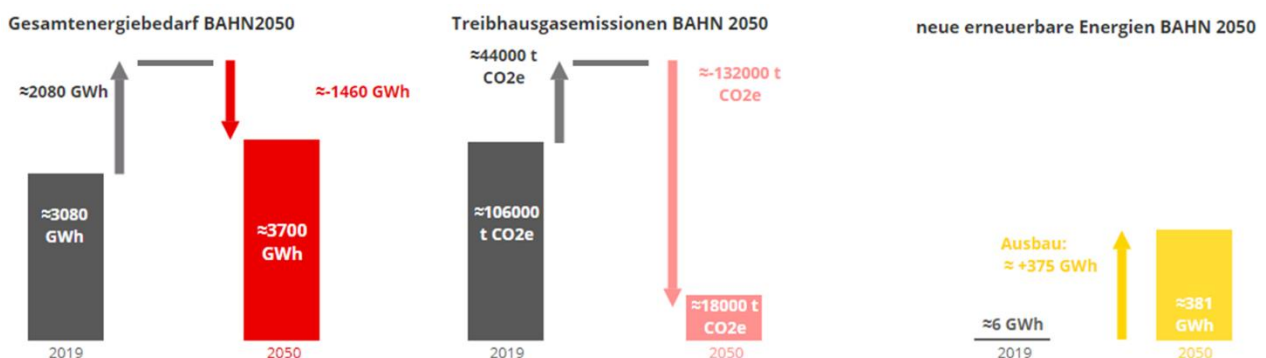


Abbildung 24: Entwicklung des Gesamtenergiebedarfs, der direkten Treibhausgasemissionen und erneuerbaren Energien im Szenario III Verdoppelung Modalsplit.

Übersicht der Energieflüsse

Der in Abbildung 25 dargestellte Anstieg des Energiebedarfs gegenüber 2019 erfolgt hauptsächlich im Stromverbrauch für den Transport von Personen (+34%) und Gütern (+44%). Da die Kapazitäten zum Ausbau der Produktion erschöpft sind, muss der zusätzliche Strombedarf durch den Zukauf am 50Hz Markt gedeckt werden. Insgesamt stammen fast 100% der Endenergie aus erneuerbaren Energiequellen, nur rund 0.5% wird aus nicht erneuerbaren Quellen (rund 23 GWh) gewonnen.

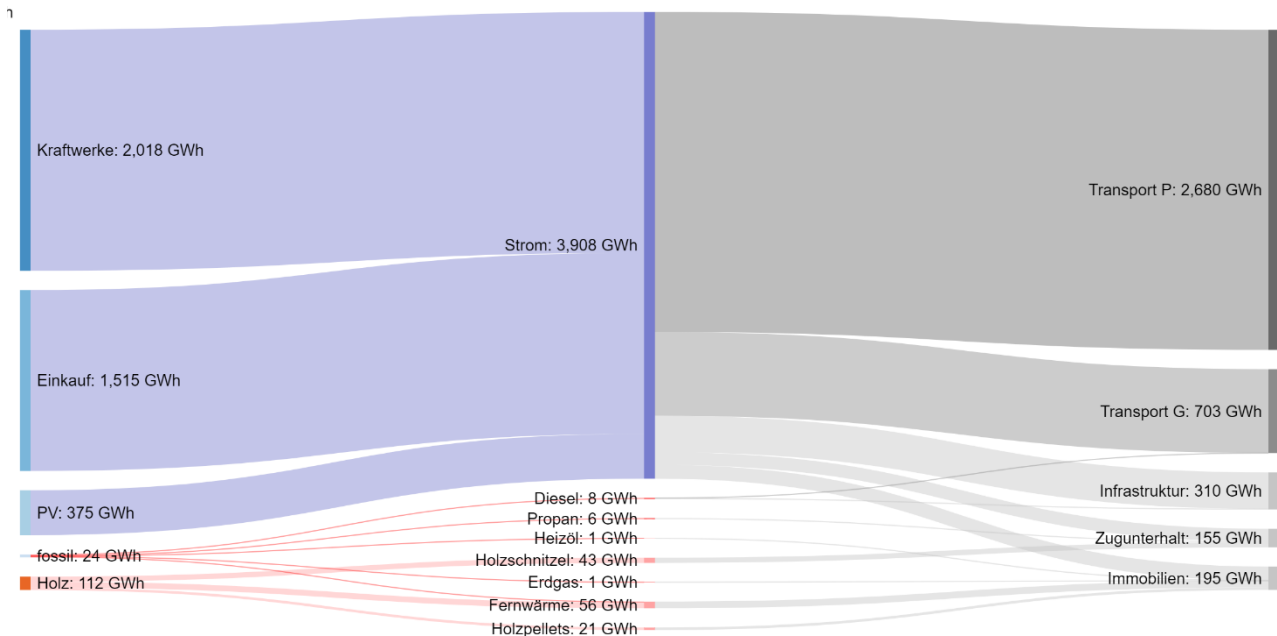


Abbildung 25: Prognostizierte Energieflüsse im System BAHN2050 mit Massnahmen (Szenario III Verdoppelung Modalsplit).

9. Empfehlungen

Die Studiengruppe hat den Kernsatz 8 bearbeitet und daraus die untenstehenden Empfehlungen zu Händen des BAV formuliert. Diese Empfehlungen sind rein aus der Optik «Steigerung Energieeffizienz», «Reduktion Treibhausgasemissionen» und «Produktion erneuerbare Energien» formuliert und wurden SBB-intern nicht konsolidiert. Die nachfolgenden Empfehlungen sind thematisch gliedert und nicht nach deren Wichtigkeit aufgeführt.

Allgemeines

- a. **Bevorzugung von energieeffizienten Angebotskonzepten:** Die Fahrplangestaltung hat einen sehr grossen Einfluss auf den Energiebedarf. Aus der Perspektive des Energiebedarfs soll das BAV deshalb Angebotskonzepte bevorzugen, die ...
- lange Güter- und Personenzüge mit noch weniger Stopps fördern;
 - möglichst homogene Trassengeschwindigkeiten aufweisen (d.h. Reduktion der Geschwindigkeit im Fernverkehr, Einfädeln der Güterverkehrstrassen im P-Verkehr);
 - einen möglichst flexiblen Einsatz der Gefässgrössen ermöglichen (in NVZ Regionalfahrzeuge auch im Fernverkehr einsetzen).
 - ausreichend Zeitreserven beinhalten, was ebenfalls eine positive Wirkung auf die Fahrplanstabilität hat: Je langsamer die Züge unterwegs sind, desto besser.

Zu beachten ist, dass obige Anforderungen so gestaltet werden müssen, dass an den entscheidenden Stellen des Netzes keine Senkung der Trassenkapazität entsteht.

- b. Angesichts der hohen indirekten Emissionen beim Bau von Eisenbahninfrastruktur sind kapazitätssteigernde Massnahmen auf dem bestehenden Netz klar zu befürworten. Der **Bau von jeglichen neuen Infrastrukturelementen** ist aus einer möglichst umfassenden Sicht sorgfältig zu beurteilen – es gilt eine **Abwägung** zwischen Attraktivität ÖV (Änderung Modalsplit) und den beträchtlichen zusätzlichen indirekten Emissionen wegen dem Bau der Infrastruktur vorzunehmen.
- c. Die **Zielkonflikte zu den anderen Kernsätzen** und anderen unternehmerischen Aspekten der Bahnunternehmen sind aufzuzeigen und zu thematisieren. Meistens bringen die Massnahmen mit dem grössten Reduktionspotential auch die meisten Zielkonflikte mit sich. Ein Ausbleiben der Umsetzung dieser Massnahmen sorgt für eine deutliche Steigerung des Energiebedarfs bzw. geringere Reduktion der Treibhausgasemissionen.
Den Autoren ist bewusst, dass in den obigen Prämissen zu den Angebotskonzepten Zielkonflikte zu Kundennutzen, unternehmerischen Freiheiten oder Kundenkomfort bestehen. Diese Zielkonflikte sind deshalb in der Planung auf Korridorebene entsprechend transparent auszuweisen.
- d. Es gibt einen hohen **Forschungsbedarf** bezüglich einem möglichst **klimafreundlichen Zubau von zusätzlicher Bahninfrastruktur**: Wie können die Emissionen von Bau und Unterhalt der Eisenbahninfrastrukturelementen reduziert werden? Möglicherweise können Ansätze des nationalen Forschungsprojekts «Energiearmer Beton»⁷ für die Eisenbahn übernommen werden könnten.
- e. **Fokus auf Reduktion der indirekten Emissionen** statt Eliminierung der restlichen direkten Emissionen: Obwohl das Ziel «Netto-Null» bis 2050 mit zusätzlichen Massnahmen unter Umständen erreicht werden könnte, sollte der Fokus stattdessen auf die Reduktion der indirekten Treibhausgasemissionen gelegt werden, aus folgenden Gründen: Die indirekten (Scope 3) übertreffen die direkten Emissionen (Scope 1&2) um ein Vielfaches; ausserdem ist die

⁷ Siehe nationale Forschungsprogramme 70 & 71 ([Link](#)).

Eliminierung der verbleibenden Scope 1&2-Emissionen technisch sehr anspruchsvoll, respektive nur mit hohem finanziellem Aufwand realisierbar. Die Reduktionskosten der Scope 3-Emissionen dürfte tiefer liegen als die vollständige Eliminierung der verbleibenden Scope 1&2-Emissionen.

- f. Eine noch stärkere Vernetzung von Stakeholdern durch die **Bereitstellung von zusätzlichen Finanzressourcen** durch das Programm ESöV fördert den Wissenstransfer und den Aufbau von spezifischem Knowhow. Eine Stärkung der Arbeitsgruppe «Nachhaltige Energie» beim VöV mit spezifischen, zeitlich limitierten Kerngruppen zu Fokusthemen kann die Erreichung der Ziele des Kernsatz 8 unterstützen.

Regulatorisches

- g. **Förderung der Energieeffizienz im abgeltungsberechtigten Regionalverkehr:** Im abgeltungsberechtigten, schienengebundenen Regionalverkehr kommt den Kantonen als Eigentümern der Regionalschienenverkehrsfahrzeuge eine Schlüsselrolle bei der Beschaffung zu: Das BAV kann mit entsprechenden Informationen und Vorgaben die Kantone zu einer möglichst energieeffizienten Beschaffung anhalten. Spezielle Kriterien für eine energieeffiziente – und auch treibhausgasarme Beschaffung – sind vorzugeben. Ein geeignetes Instrument ist die Anwendung der EN-Norm 50591 («Railway Applications. Rolling Stock. Specification and verification of energy consumption») in der Ausschreibung.
- h. **Kriterien für Circular Economy in Plangenehmigungsverfahren:** Der grösste Hebel für die Reduktion der Treibhausgase liegt bei den indirekten Emissionen («graue Energie», Scope 3-Emissionen). Im Rahmen von Plangenehmigungsverfahren ist deshalb auch von Seiten BAV sicherzustellen, dass beispielsweise entsprechende Vorgaben zu Circular Economy («Kreislaufwirtschaft») formuliert und durch die Auftragnehmer umgesetzt werden (s. Bsp. im Anhang 10.7).
- i. **Vereinfachte Bewilligungsverfahren für Anlagen zur Produktion von erneuerbarer Energie:** Für Anlagen im Plangenehmigungsverfahren sind vereinfachte Bewilligungsverfahren förderlich, insbesondere wenn es sich um ähnliche Anlagen an verschiedenen Orten handelt (z.B. Perrondächer oder Aufdachanlagen auf Bahngebäuden).
- j. **Ausbau erneuerbarer Energien wesentlich von der Energiepolitik** und der Resultate aus den Diskussionen der Flächennutzungskonflikte abhängig. Eine explizite Berücksichtigung der Flächenausscheidung in der Raumplanung für erneuerbare Energien unterstützt den Ausbau auch bei den Bahnunternehmen. Zudem müssen Flächennutzungskonflikte aktiv angegangen und geklärt werden. Dies betrifft insbesondere die Strategie zum Aktionsplan Biodiversität Schweiz vs. der Energiestrategie 2050.
- k. **Anpassung von Rechtsgrundlagen und Regelwerken:** Aktuell enthalten die relevanten Rechtsgrundlagen für die Bahnen wenige wirklich verpflichtende Elemente zur Umsetzung von Massnahmen. Zu prüfen sind deshalb gezielte Verpflichtungen über Normierungsgesetze oder auch die Ausführungsbestimmungen (AB EBV). Eine solche Verpflichtung könnte dann ebenfalls eine finanzielle Unterstützung für die Massnahmen rechtfertigen, die zur Erfüllung dieser Anforderungen erforderlich sind (siehe Punkt l).

Finanzierung und ESöV-Programm

- l. **Zusätzliche LV-Mittel:** Die durch Covid-19 verursachte schwierige Finanzlage der Bahnunternehmen darf nicht zu einem längerfristigen Unterbruch der Massnahmenumsetzungen führen. Deshalb sollte das BAV den ISB einen direkten Auftrag zur Umsetzung von Massnahmen im Kernsatz 8 formulieren und entsprechende Vorgaben insbesondere in der LV 25-28 sicherstellen. Aus dem BIF sollten zusätzliche Finanzmittel für die Umsetzung von Massnahmen bereitgestellt werden, gedeckt werden damit die Mehrkosten gegenüber den herkömmlichen Varianten. Die ISB können diese Mittel zur Umsetzung der

Massnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz, der Reduktion von Treibhausgasemissionen und der Produktion von erneuerbaren Energien beanspruchen. Massnahmen mit einer mittel- und langfristigen Wirtschaftlichkeit werden prioritär behandelt, aber auch die Mehrkosten von knapp nicht wirtschaftlichen Massnahmen können mit diesen Finanzmitteln umgesetzt werden.

- m. **Erweiterung oder ergänzendes Programm zum bisherigen ESÖV-Programm:** Das bisherige Programm «ESÖV» (Energiestrategie öffentlicher Verkehr) unterstützt Forschungs-, Innovations- und Pilotprojekte im Bahnsystem. Die Finanzierung von knapp nicht wirtschaftlichen Massnahmen und Serienumbauten wird bislang nicht gefördert und soll deshalb neu in einem ergänzenden Programm unterstützt werden. Zusätzlich fördert das ergänzende Programm neue Lösungen und die Praxiserprobung von Innovationen auch in Bereichen ausserhalb des eigentlichen Bahnsystems, namentlich fossilfreie Lösungen im Hoch- und Tiefbau, die Umrüstung auf natürliche Kältemittel und technische Isoliergase.

10. Anhang

10.1. Quellenverzeichnis

Bundesamt für Energie (Hrsg.) (2020): Energieperspektiven 2050+. Online verfügbar unter: <https://www.news.admin.ch/news/message/attachments/64121.pdf>

Bundesamt für Energie (Hrsg.) (2020): Schweizerische Gesamtenergie-Statistik 2019. Online verfügbar unter: https://www.bundespublikationen.admin.ch/cshop_mimes_bbl/14/1402EC7524F81EDAB0D4ADA2322CB657.pdf

Bundesamt für Umwelt (Hrsg.) (2020a): Massnahmen des Bundes für Ressourcenschonung. Politischer Auftrag. Online verfügbar unter: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wirtschaft-konsum/fachinformationen/massnahmen-des-bundes-fuer-ressourcenschonung/politischer-auftrag.html>.

Bundesamt für Umwelt (Hrsg.) (2020b): Massnahmen des Bundes für eine ressourcenschonende, zukunftsfähige Schweiz (Grüne Wirtschaft). Online verfügbar unter: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wirtschaft-konsum/fachinformationen/massnahmen-des-bundes-fuer-ressourcenschonung.html>.

Bundesamt für Verkehr (Hrsg.) (2019): Öffentlicher Verkehr – für die Schweiz. Strategie BAV 2019. Online verfügbar unter: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewj82fiasvPwAhVM6aQKHeQwBulQFjAAegQIAxAF&url=https%3A%2F%2Fwww.bav.admin.ch%2Fdam%2Fbav%2Fde%2Fdokumente%2Fdas-bav%2Feine_strategie_fuerdiezukunftdesoeffentlichenverkehrs.pdf.download.pdf%2Feine_strategie_fuerdiezukunftdesoeffentlichenverkehrs.pdf&usg=AOvVaw26QYCrowfOEyPQu13A6kwk.

Der Bundesrat (Hrsg.) (2019): Bundesrat will bis 2050 eine klimaneutrale Schweiz. Online verfügbar unter: <https://www.admin.ch/gov/de/start/dokumentation/medienmitteilungen.msg-id-76206.html>.

European Commission (Hrsg.) (2019): Circular Economy Action Plan (CEAP). Online verfügbar unter: https://ec.europa.eu/environment/strategy/circular-economy-action-plan_de#:~:text=The%20new%20action%20plan%20announces,for%20as%20long%20as%20possible.

European Commission (Hrsg.) (2021): Life-cycle costing. Online verfügbar unter: <https://ec.europa.eu/environment/gpp/lcc.htm>.

IPCC 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland, S. 87-88, 124.

Lünser 1999: Heiko Lünser: Ökobilanzen im Brückenbau - Eine umweltbezogene, ganzheitliche Bewertung. Basel: Birkhäuser Verlag, 1999

Verband öffentlicher Verkehr (2021): Zur Verfügung gestellte Daten zum Energiebedarf und Streckennetz der Schweizer EVU und ISB.

Sauer (2016): Ökologische Betrachtungen zur Nachhaltigkeit von Tunnelbauwerken der Verkehrsinfrastruktur, Dissertation an der Technischen Universität München, 2016

World Resources Institute and World Business Council for Sustainable Development (Hrsg.) (2004): The Greenhouse Gas Protocol. A Corporate Accounting and Reporting Standard. Revised Edition. Online verfügbar unter: <https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/ghg-protocol-revised.pdf>.

10.2. Massnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz: Steckbriefe

10.2.1. Optimierung von Gebäuden & stationären Anlagen

Optimierung von Gebäuden & stationären Anlagen		EE	CO ₂	neE	Potential:	★★★★☆
Kontakt: Cyrill Meier, SBB Energie					Umsetzbarkeit:	★★★★☆
Beschreibung	Rahmenbedingungen & Einschränkungen					
Rund 19% des Gesamtenergiebedarfs entfallen auf den Betrieb von Gebäuden (Bürostandorte, Serviceanlagen, Betriebsgebäude, etc.) und stationären Anlagen (u.a. Bahntechnikgebäude, Elektro- und Telekomanlagen, Schaltposten). Davon waren im 2019 die Hauptenergieträger Strom 50Hz (57%) und fossile Brennstoffe (43%). Durch den technologischen Fortschritt, die immer bessere Wärmedämmung und den laufenden Substanzerhalt nimmt der Energiebedarf der Gebäude und stationären Anlagen laufend ab. Hinweis: Der Wechsel auf erneuerbare Gebäudeheizungen ist nicht Bestandteil dieser Massnahme, diese ist separat beschrieben.	– Die stationären Anlagen der Infrastrukturbetreiber werden über die LV-Mittel finanziert, dementsprechend sind für einen energieeffizienten Substanzerhalt ausreichend LV-Mittel durch den BIF bereitzustellen. – Im Bahnumfeld bestehen zusätzliche Anforderungen an Zuverlässigkeit, die Erfüllung von technischen Normen und Langlebigkeit. Zudem bestehen oft mehrjährige Rahmenverträge für die Beschaffung. Diese Kombination führt dazu, dass sich neue Lösungen im Bahnumfeld oft erst verzögert umsetzen lassen.					
Quantifizierung / Potential	Bild					
Die Quantifizierung wurde auf zweierlei Arten ermittelt, verwendet werden 25% auf den erneuerbaren Wärmebedarf und 5% auf den Strombedarf 50Hz. a) Die Zielvereinbarungen zwischen der SBB und der EnAW gehen für die Periode 2021-2030 von einer jährlichen Effizienzsteigerung von knapp 1% aus. Hochgerechnet bis 2050 ergäbe dies eine Einsparung von 20-30%. b) Im Energiesparprogramm der SBB wurde bei den Gebäuden und stationären Anlagen in den Jahren 2011 – 2030 eine Effizienzsteigerung von 104 GWh erfasst. Im Vergleich zum Gesamtbedarf ergibt dies eine jährliche Effizienzsteigerung von $\approx 1\%$-1.5%, extrapoliert bis 2050 ergäbe dies insgesamt rund 25-40%.						
Nächste Schritte / Potentialerschliessung	– Einerseits müssen die aktuellen Trends laufend berücksichtigt werden, andererseits werden ausreichend finanzielle und personelle Ressourcen für die Erprobung und Anwendung im Bahnumfeld benötigt. – Fördernd wirken die kantonal vorgegebenen Zielvereinbarungen zwischen Gesetzgebung und den Energiegrossverbrauchern. – Von Seite BAV können im Rahmen des ESöV-Programms verschiedene Pilotanwendungen und Leuchtturmprojekte unterstützt werden.					

Standardisiertes Bahntechnikgebäude der Firma Promeco. Die systematische Analyse im Rahmen von ESöV konnte zahlreiche Verbesserungen aufzeigen. Bild: SBB.

Quellen: Zielvereinbarungen zwischen EnAW und SBB, Auswertungen des umgesetzten Energiesparmassnahmen 2012-2020, ESöV Projekt P-141, Leitfaden für die Identifizierung und Realisierung von Energieeffizienzpotentialen bei Bahntechnikgebäuden, [Direktlink](#)

10.2.2. Massnahmen auf bestehendem Rollmaterial Personentransport

Massnahmen auf bestehendem Rollmaterial Personentransport			Potential:	★★★★☆
Kontakt: Johannes Estermann, SBB Produktion Personenverkehr			Umsetzbarkeit:	★★★★☆
Beschreibung	Rahmenbedingungen & Einschränkungen			
Durch verschiedene Massnahmen kann das bestehende Rollmaterial energetisch optimiert werden: Schlumberbetrieb und fahrplanbasierte Bereitstellung, verbesserte Steuerungen für Heizung, Lüftung und Klimatisierung (HLK), geringerer Rollwiderstand und optimierte Aerodynamik, LED-Beleuchtung statt den bisherigen Leuchtstoffröhren, Verzicht auf Mobilnetzrepeater mit durchlässigen Fenstern für Mobilnetz, Verbesserung in der HLK-Dämmung, Wärmepumpe bei Kältemitteltausch, etc.. Seit 2012 wurden auf den SBB-Fahrzeugen eine Vielzahl von Massnahmen umgesetzt, bei anderen EVU's zum Teil ebenfalls (Beispiel NINA-Zug der BLS).	– Optimierungen an den HLK-Steuerungen sind i.d.R. wirtschaftlich, bei den übrigen Massnahmen ist die Paybackzeit meist höher. Dementsprechend ist der Treiber für die Erneuerungen nicht die Energieeinsparung, vielmehr geht es um neue Anforderungen von Kunden, resp. die Behebung von Obsoleszenzen. – Da im Jahr 2050 einige Flotten nicht mehr in Betrieb sein werden, reduziert sich entsprechend das Potential für die Umsetzung.			
Quantifizierung / Potential	Bild			
Auf dem SBB-Rollmaterial sind aktuell Massnahmen im Umfang von 134 GWh/a umgesetzt, bis Ende 2030 belaufen sich die Verbesserungen auf 167 GWh/a. Der Grossteil der Massnahmen ist auf den Schlumberbetrieb zurückzuführen (80 GWh/a), resp. die Umrüstung der Re460 auf IGBT-Stromrichter (30 GWh). Die restlichen Massnahmen belaufen sich auf 57 GWh. Verglichen mit dem Gesamtenergiebedarf von 1383 GWh/a ergeben sich Einsparungen zwischen 2.2% und 5.8%. Insgesamt wird ein Potential von zusätzlichen 1-2% angenommen (Auf den SBB-Fahrzeugen sind bereits viele Massnahmen umgesetzt und einige Flotten sind im Jahr 2050 ausgemustert).				
Nächste Schritte / Potentialerschliessung				
– Förderung von Pilotanwendungen durch das Programm ESÖV – Proaktives Planen von Massnahmen über LifeCycle und Nutzen von Instandsetzungsarbeiten im Rahmen des regulären Flottenunterhalts, insbesondere die Modernisierungen nach der Hälfte der Lebenszeit bieten Chancen zur Erhöhung der Energieeffizienz.	Das NINA-Fahrzeug der BLS (RABe 525) wurde umfassend modernisiert und erhielt in diesem Zusammenhang verschiedene Energieeffizienzmassnahmen verpasst. Bild: www.bls.ch.			

Die Quantifizierung des Potentials basiert auf den im Jahr 2050 noch verkehrenden Flotten, einer Einschätzung zum Umsetzungsgrad bei SBB und den anderen EVU's und einer Abschätzung von noch neuen, unbekannten Massnahmen. Die entsprechenden Zahlen finden sich im Anhang 10.6.1

10.2.3. Ablösung Rollmaterial Personentransport

Ablösung Rollmaterial Personentransport

Kontakt: Johannes Estermann, SBB Produktion Personenverkehr

EE

CO₂

neE

Potential:



Umsetzbarkeit:



Beschreibung

Die Schienenfahrzeuge der EVU im Personentransport sind während 25-40 Jahren in Betrieb. Im Jahr 2050 werden deshalb viele der heute bestehenden Flotten ausgemustert sein, während neu eingeführte Fahrzeuge hauptverantwortlich für den Verkehr sein werden. Neue Fahrzeuge sind in der Regel energieeffizienter als die abzulösenden Altflotten. Deshalb wird der spezifische Energiebedarf pro Zugkilometer bei gleichem Gewicht tiefer als heute sein.

Rahmenbedingungen & Einschränkungen

Relevant für den späteren Energiebedarf ist die Berücksichtigung des Energiebedarfs bei der Bewertung der Ausschreibung. Auch sollen Fahrzeuge durch eine Anbindung an Dispositionssysteme energieoptimiert abgestellt werden. Die Erfahrungen von bisherigen Beschaffungen zeigen, dass in hektischen Phasen zu wenig Zeit und Hartnäckigkeit von Seite EVU für eine komplette Spezifikation verwendet wurde.

Quantifizierung / Potential

Mit der verursacherbasierten Verrechnung Bahnstrom («Energiesmessgerät auf Lok») liegen detaillierte Analysedaten für verschiedenen SBB-Fahrzeuge vor. Im Jahr 2050 werden die FV-Fahrzeuge Re460, Re420 und ICN ausgemustert sein, stattdessen tragen der FV-Dosto und weitere noch in Betrieb zu nehmende Fahrzeuge die Hauptlast. Im RV werden FLIRT, DPZ und DTZ nicht mehr in Betrieb sein, andere Fahrzeuge transportieren die Passagiere. Aufgrund der heute verfügbaren Daten wird das Potential im FV auf 2-4% ggü. 2019 geschätzt, im RV auf 15-20% (bezogen auf die Transportleistung in Bruttotonnenkilometer). → **Mittleres Potential: 11%**

Nächste Schritte / Potentialerschliessung

EVU's:

- Ausschreibung von neuen Fahrzeugen konsequent nach EN50591-Norm (Berücksichtigung der Energiekosten bereits in der Ausschreibung)
- Berücksichtigung des Energieverbrauchs in den Anforderungen, um möglichst energieeffiziente Fahrzeuge beschaffen können.

BAV:

- BAV fördert die Energieeffizienz bei Herstellern mittels Prototypen (Programm ESöV)
- Kantone bestellen Leistungen mit expliziten Anforderungen an die Energieeffizienz.

Bild



Der FV-Dosto mit Baujahr 2018 benötigt deutlich weniger Energie als die bisherigen Fernverkehrszüge. Bild: commons.wikipedia.org, Autor: Heitersberg.

Relevant für die Umsetzung dieser Massnahme sind die Ausschreibungen der jeweiligen EVU's: Je mehr der spätere Energiebedarf bereits in der Ausschreibung berücksichtigt wird, desto eher wird der Hersteller ein energieeffizientes Fahrzeug abliefern. Eine gute Grundlage für den Personenverkehr liefert hier die EN50591 («Railway Applications. Rolling Stock. Specification and verification of energy consumption»), aber auch die Kantone könnten bei der Bestellung explizit energieeffizientes Rollmaterial fordern. Die Herleitung des Einsparpotential und die entsprechenden Zahlen finden sich im Anhang 10.6.1.

10.2.4. Ablösung Rollmaterial Gütertransport

Ablösung Rollmaterial Gütertransport

Kontakt: Matthias Tuchschrnid, SBB Energie

EE

CO₂

neE

Potential:

★★★★☆

Umsetzbarkeit:

★★★★★

Beschreibung

Im Gütertransport werden neben den modernen Umrichterloks immer noch Stufenschalterloks wie die Re420 oder Re620 eingesetzt, bei SBB Cargo entfallen mehr als 50% der Transportleistung [Btkm] noch auf diesen Typ Lok. Diese Loks werden in den kommenden 10-15 Jahren ausgemustert und mit neuen Umrichterloks ersetzt. Dabei geht der Trend immer mehr in Richtung Mietloks von Unternehmen wie Hupac oder Railpool, da die Gütertransportunternehmen vielfach zu wenig liquide für die grossen Investitionen sind.

Rahmenbedingungen & Einschränkungen

- Der Energiebedarf von Cargo ist in hohem Masse abhängig von der Zukunft des Wagenladungsverkehrs, was vor allem auch eine politische Frage ist. Heute entfallen rund 7 Mia. Tkm auf den Transitverkehr, rund 4 Mia. Tkm werden im Binnenverkehr inkl. Im- und Export erbracht.
- Die neuen Geschäftsmodelle wie Mietloks oder Sale&Lease back senken den Spielraum für weitere Energiesparmassnahmen auf den Loks, welche das Einverständnis des Eigentümers voraussetzen.

Quantifizierung / Potential

- Heute werden bei SBB Cargo 54% der Transportleistung mit Altbauloks (Re620, Re420, Re430) erbracht, der Energiebedarf beträgt rund 16 Wh/Btkm. Umrichterloks wie die Re472 oder Re475 benötigen rund 13 Wh/Btkm (23% weniger).
 - Rein rechnerisch ergibt sich für Cargo eine Einsparung von 12%, damit wird aber der Effekt auf das System BAHN überschätzt (Altbauloks praktisch nur bei SBB, kurze Züge mit Altbauloks, wo Energiebedarf verhältnismässig höher ist)
- Für den Gütertransport im System BAHN wird eine mittlere **Einsparung von 6%** angenommen.

Nächste Schritte / Potentialerschliessung

Es sind keine konkreten Schritte notwendig, da aus technischen Gründen die Flotte sowieso erneuert wird.

Bild



Heutige Umrichterloks wie die Mehrsystemlok von BLS Cargo (Re474) sind deutlich effizienter als die Stufenschalterloks vom Typ Re420 / Re425 / Re430 / Re620. Bild: www.bls.ch.

Die Herleitung des Einsparpotential und die entsprechenden Zahlen finden sich im Anhang 10.6.3

10.2.5.Optimierung der Produktionssysteme

Optimierung der Produktionssysteme

Kontakt: Matthias Tuchschnid, SBB Energie

EE

CO₂

neE

Potential:

★★★★☆

Umsetzbarkeit:

★★★★☆

Beschreibung

Die Entwicklung von ADL in den Jahren 2011 bis 2016 eröffnete erstmals eine direkte Verbindung zwischen Lokpersonal und Disponenten, die Weiterentwicklung mit vPRO und der Aktualisierung Fahrpläne von 2017-2021 ermöglicht ein noch feineres Fahren unter Nutzung der Expertise des Lokpersonals. Mit der Entwicklung von TMS als Nachfolger von RCS werden neue Möglichkeiten in der Verzahnung der verschiedenen Produktionssysteme möglich, ein weiterer Optimierungspunkt besteht in der Verbesserung der Prognose und der Einführung einer Pünktlichkeitsanzeige für das Lokpersonal.

Rahmenbedingungen & Einschränkungen

- Die Systemlandschaft zur Bahnproduktion ist heterogen und nicht zu 100% aufeinander abgestimmt – insbesondere in den Schnittstellen von RCS zu den Umsystemen besteht ein Optimierungspotential.
- Ein weiteres Schlüsselement zur Optimierung liegt in der möglichst korrekten Berechnung der (Mindest-)Fahrzeiten und der daraus abgeleiteten Prognose.
- Die Optimierung der Produktionssysteme ist nur auf den Normalspurbahnen möglich, bei den Meterspurbahnen gibt es weder entsprechende IT-Systeme noch Topologiedaten in entsprechender Auflösung.

Quantifizierung / Potential

Sowohl im ersten Schritt der adaptiven Lenkung wie auch in der Weiterentwicklung von ADL konnten Einsparungen von 4-5% erreicht werden (rund 60-80 GWh pro Jahr). Mit einem Feintuning der verschiedenen Systeme und einer optimalen Aufteilung zwischen relativ starren Grundinformationen und dynamischen Änderungen in Echtzeit wird eine **weitere Einsparung** in der Grössenordnung **von 4% erwartet**.

Bild



Nächste Schritte / Potentialerschliessung

- Die Pünktlichkeitsanzeige wurde in einem PoC im Q1/2021 bereits getestet, momentan wird analysiert, ob und in welchem Zeitraum eine Umsetzung in der Praxis stattfinden könnte (Quickwin).
- Zusätzlich soll die heutige Vorgehensweise in der Bahnproduktion (von der ersten Langfristplanung bis zur Umsetzung) grundsätzlich auf Medienbrüche und Schnittstellen und dem Umgang mit Zeitreserven überprüft werden. Anschliessend können dann über mehrere Jahre die Systeme optimiert werden.

Für eine möglichst effiziente Bahnproduktion sind heute eine Vielzahl von Systemen im Einsatz, wichtig ist v.a. auch RCS für die Steuerung des Bahnbetriebs. Bild: SBB.

10.2.6. Angebotsoptimierungen zur Erhöhung der Auslastung Personentransport

Angebotsoptimierungen zur Erhöhung der Auslastung Personentransport			EE	CO ₂	neE	Potential:	★★★★☆
Kontakt: Christoph Wydler, SBB Markt Personenverkehr						Umsetzbarkeit:	★★☆☆☆
Beschreibung			Rahmenbedingungen & Einschränkungen				
Im Jahr 2019 transportierte ein SBB-Fernverkehrszug im Durchschnitt 211 Kunden, obwohl eigentlich 647 Sitzplätze vorhanden waren (Auslastung: 32.6%). Im Regionalverkehr ist dies noch deutlicher: Statt der möglichen 304 Kunden wurden nur 68 Kunden transportiert (22.3%). Mit gezielten finanziellen Anreizen, einer Änderung der Startzeiten von Schulen und Universitäten, der Flexibilisierung von Arbeitszeiten und der Einführung von sitzplatzgebundenen Angeboten im Fernverkehr könnte die Auslastung geglättet und damit im Durchschnitt erhöht werden. Zudem ist mit geeigneten planerischen Ansätzen möglichst ein knappes, aber ausreichendes Transportgefäss bereitzustellen, insbesondere in der Nebenverkehrszeit (NVZ).			– Im Fernverkehr ist die möglichst flexible Ausgestaltung der Fernverkehrskonzessionen elementar für Abkehr vom eine möglichst hohe Auslastung: Eine flexible Wahl der Gefässgrössen (inkl. der Nutzung von RV-Rollmaterial) und das standardmässige Flügeln von Zügen ausserhalb der Hauptverkehrszeiten soll expliziter Bestandteil der Konzession sein. – Achtung: Es bestehen Zielkonflikte mit der Fahrplanstabilität bei Flügelzügen, zudem bedeuten die vorgeschlagenen Änderungen in der Angebotsstruktur eine Abkehr vom offenen System (→ Zielkonflikt).				
Quantifizierung / Potential			Bild				
Im Rahmen dieser Studie wird davon ausgegangen, dass mit geeigneten Massnahmen die Auslastung sowohl im Regionalverkehr wie auch im Fernverkehr um je 5 Prozentpunkte gesteigert werden kann, dementsprechend sinkt im Szenario I: ARE2050 der Energiebedarf um 220 GWh, resp. insgesamt 8% (bei gleicher Transportleistung sind weniger Zugfahrten notwendig). Vereinfacht wird diese Einsparung ebenfalls auf die beiden anderen Szenarien angewendet (und der Effekt damit leicht überschätzt).							
Nächste Schritte / Potentialerschliessung			Im Jahr 2019 waren die Regionalzüge der SBB im Durchschnitt bloss zu 22.3% ausgelastet. Im Fernverkehr erreichte die Auslastung 32.6%. Bild: SBB.				
– Eine Auslastungssteigerung wird vor allem durch eine zeitliche Verschiebung von Passagieren von der Hauptverkehrszeit (HVZ) auf die NVZ erreicht, dementsprechend breit sind die möglichen Ansatzpunkte. – Treiber für eine mögliche Steigerung der Auslastung ist nicht die Energieeffizienz, sondern mögliche Kostenoptimierungspotentiale auf Seite Rollmaterial und Personaleinsatz. – Es wird davon ausgegangen, dass die Sitzplatzbeschränkungen und distanzhaltenden Massnahmen aufgrund Corona spätestens ab 2025 wegfallen.							

Im Jahr 2019 waren die Regionalzüge der SBB im Durchschnitt bloss zu 22.3% ausgelastet, im Fernverkehr erreichte die Auslastung 32.6%. Bild: SBB.

Die Massnahmen im Bereich der Angebotskonzepte sind sicherlich am komplexesten in der Umsetzung, resp. weisen die meisten Zielkonflikte zu anderen gewünschten Eigenschaften des Systems öffentlicher Verkehr auf (z.B. möglichst komfortable, schnelle und häufige Verbindungen). Im Anhang 10.6.4 sind einige Elemente und Ideen enthalten, wie im bestehenden Netz aus Sicht Energieeffizienz bessere Angebote konzipiert werden.

Es gibt aber auch Ideen für komplett neue Verbindungen und Angebotskonzepte, wie sie beispielsweise in der Arbeit von Dominic Stucki vorgeschlagen werden (Welches Verkehrssystem braucht die Schweiz? Eine Langfriststrategie für das Bahnnetz Schweiz, ETH Zürich, 2016, [Link](#))

10.2.7. Geschwindigkeitssenkungen im Fernverkehr (Personentransport)

Geschwindigkeitssenkungen im Fernverkehr (Personentransport)		EE	CO ₂	neE	Potential: ★★★★★☆
Kontakt: Matthias Tuchschnid, SBB Energie					Umsetzbarkeit: ★★☆☆☆☆
Beschreibung	Rahmenbedingungen & Einschränkungen				
Im Grundsatz wird heute ein Zug so geplant, dass mit Berücksichtigung von unvermeidlichen Reserven die Fahrzeiten minimiert werden – vor allem im höheren Geschwindigkeitsbereich und in Tunneln verursacht dies einen hohen Energiebedarf. Generell sollte deshalb die mittlere Geschwindigkeit im Fernverkehr um 5% verringert werden. Beispiel OL-ZRH: Statt 31 min, neu 32 min 30' Fahrzeit, die mittlere Geschwindigkeit sinkt von 106km/h auf 101km/h. Der erwünschte Nebeneffekt: Durch die Harmonisierung der Trassengeschwindigkeiten steigt insgesamt die Trassenkapazität im gesamten Netz an, zudem steigt durch die höheren Reserven die Fahrplanstabilität.	– Der Taktfahrplan bedingt für viele Züge die Ankunft und Abfahrt an den entsprechenden Knoten, es sind deshalb nicht überall die gleichen Freiheiten in der Fahrplangestaltung vorhanden. – Die Forderung nach einer Senkung der Durchschnittsgeschwindigkeit steht diametral entgegen den bisherigen Ausbauten für eine Senkung der Kundenfahrzeiten – dementsprechend sind Zielkonflikte programmiert.				
Quantifizierung / Potential	Bild				
Bei tiefen Geschwindigkeit dominiert der geschwindigkeitsunabhängige Rollwiderstand, bei höheren Geschwindigkeiten steigt der Energiebedarf in erster Näherung im Quadrat zur Geschwindigkeit. Aufgrund der bisherigen Daten wurde bei einer Senkung der mittleren Geschwindigkeiten um 5% eine Einsparung von 7% ermittelt. Da der Fernverkehr rund 60% des Energiebedarfs vom System BAHN ausmacht, werden entsprechend 4-5% als Potential berücksichtigt . Damit wird die mögliche Einsparung wahrscheinlich eher unterschätzt, da in Tunneln der Luftwiderstand höher ist (FV hat höheren Anteil an Tunneln mit hohen Geschwindigkeiten, wie z.B. Neubaustrecke (NBS), Lötschbergbasistunnel (LBT) und Gotthardbasistunnel (GBT).					
Nächste Schritte / Potentialerschliessung					
– In den Planungen auf Koridorebene und der langfristigen Fahrplanung sind FV-Zugfamilien für eine Senkung der Geschwindigkeitssenkungen zu identifizieren und entsprechende Schattenplanungen voranzutreiben. – Die geplanten Fahrzeitverkürzungen gemäss Integrierter Langfristplanung (ILP) sind explizit auf den daraus entstehenden zusätzlichen Energiebedarf zu überprüfen und transparent eine sorgfältige Kosten-Nutzenanalyse vorzunehmen.	Der Energiebedarf steigt überproportional mit der Geschwindigkeit, der Effekt ist vor allem in Tunneln aufgrund des höheren Luftwiderstands besonders stark. Bild: SBB.				

10.2.8. Vermeidung von RADN-Einbrüchen für Erhöhung Fahrplanstabilität

Vermeidung von RADN-Einbrüchen für Erhöhung Fahrplanstabilität

EE

CO₂

neE

Potential:

★★★★☆

Umsetzbarkeit:

★★★★☆

Kontakt: Helga Labermeier und Thomas Graffagnino, SBB Infrastruktur

Beschreibung

Auf dem Normalspurnetz der SBB gibt es schätzungsweise 20-30 Punkte mit einer lokal deutlich reduzierten RADN-Geschwindigkeit, beispielsweise bei engen Kurveinfahrten, Brücken oder Bahnhofdurchfahrten. Das Lokpersonal muss jeweils abbremsen und kann erst nach Vorbeifahrt am Hindernis wieder beschleunigen. Diese Einbrüche haben dreierlei negative Auswirkungen: Einerseits leidet die Fahrplanstabilität, zweitens wird dadurch die Kapazität des Netzes empfindlich geschwächt, drittens wird dadurch unnötig Energie verbraucht. Die Massnahme besteht im gezielten Identifizieren von RADN-Brüchen und entsprechenden Bauprojekten.

Rahmenbedingungen & Einschränkungen

- Es gibt viele technische und regulatorische Gründe, weshalb die bestehenden RADN-Einbrüche nicht bereits in der Vergangenheit eliminiert wurden. Die verbleibenden RADN-Einbrüche sind deshalb technisch schwierig zu lösen.
- Der Treiber zur Umsetzung ist die höhere Fahrplanstabilität und die höheren Kapazitäten, nicht der tiefere Energiebedarf (= Synergieeffekt).
- Gegenwärtig besteht eher ein umgekehrter Trend: Vor allem aufgrund neuer Reglementarien (BeHiG, Sicherheit) nimmt die Zahl der RADN-Einbrüche zu.

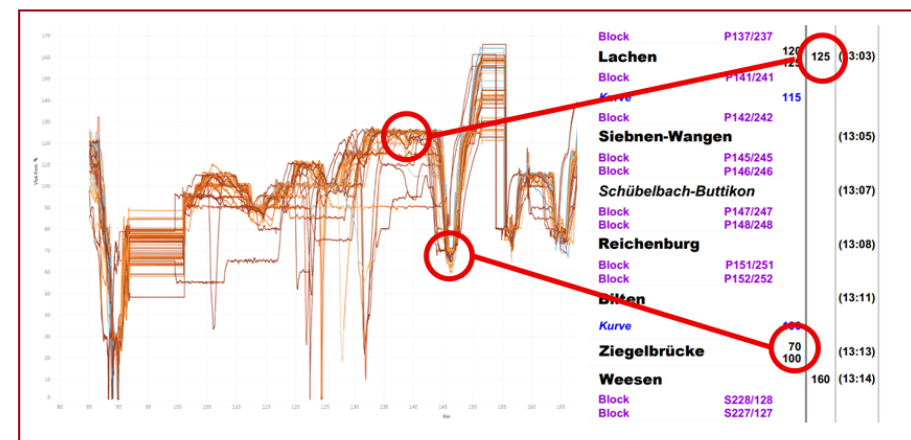
Quantifizierung/Potential

Aufgrund erster Analysen wird die Anzahl an gravierenden RADN-Einbrüchen auf etwa 20-30 Stellen geschätzt, zusätzlich gibt es eine Vielzahl an kleineren RADN-Einbrüchen im Bereich von 10-15 km/h. Überschlagsmässig liessen sich durch eine Behebung der Einbrüche ≈ 30 GWh/a einsparen, **resp. 1-2% für Personen- und Gütertransport** (Schätzung berücksichtigt die Rekuperation, eine mittlere Geschwindigkeitsdifferenz und eine mittlere Anzahl Züge pro Tag). Zu beachten ist, dass gerade auch eine Behebung der kleineren RADN-Einbrüche viel für die Fahrplanstabilität bringen würde – der Effekt auf den Energiebedarf ist etwas weniger stark ausgeprägt.

Nächste Schritte/Potentialerschliessung

- Identifizieren der RADN-Brüche in jedem Vertiefungskorridor, inklusive Berücksichtigung von bereits geplanten Projekten
- Eingrenzung auf realistische Potentiale und erste Priorisierung
- Grobschätzung der Kosten und Quantifizierung des Nutzens: höhere Fahrplanstabilität, höhere Kapazität, tieferer Energiebedarf
- Priorisierung der Einzelprojekte und Entscheid in jeweiligen Ausbausritten

Bild



RADN-Einbruch bei der Einfahrt des Bahnhofs Ziegelbrücke von Zürich her von 125 km/h auf 70 km/h, danach Beschleunigung auf 160 km/h. Bild: SBB.

10.2.9. Lange Güterzüge mit noch weniger Stopps

Lange Güterzüge mit noch weniger Stopps

Kontakt: Boris Jäggi, SBB Infrastruktur

EE

CO₂

neE

Potential:



Umsetzbarkeit:



Beschreibung

Je länger und schwerer ein Güterzug ist, desto tiefer ist der spezifische Energiebedarf pro Tonnenkilometer: Im Jahr 2019 transportiert ein durchschnittlicher Güterzug eine Nutzlast von nur 370 Tonnen (Nettotonnen). Zudem kommen trotz vieler Massnahmen Güterzüge immer noch ungeplant zum Stehen, was für einen durchschnittlichen Güterzug jedes Mal rund 100 kWh an Mehrenergie bedeutet. Die Massnahme beinhaltet deshalb zwei Aspekte: Mit dem gezielten Ausbau von Infrastruktur kann die Zuglänge erhöht werden und mit besser geeigneten Planungsprämissen könnten die Güterzüge in den P-Verkehr eingefädelt werden (Züge kommen seltener zum Stehen).

Rahmenbedingungen & Einschränkungen

- Aus Gesamtsystemsicht muss ein Optimum zwischen Anhängelast und Trassenbelegung gesucht werden (schwere Züge beschleunigen weniger schnell und belegen deshalb kritische Abschnitte vom Netz übermässig lange).
- Die Ceneri-Südrampe weist eine Steigung von 15‰ auf, der «Standard» für Flachbahn wäre 12‰. Dies verhindert eine Anhängelast von mehr als 1300t mit nur einer Lok, im Gespräch sind aktuell Lösungen für die punktuelle Verstärkung mit einer zweiten Lok.
- Eine mögliche Ausweitung der Zuglänge erfolgt v.a. durch den Besteller, das EVU ist ausschliesslich der Auftragnehmer.

Quantifizierung / Potential

Es besteht ein nicht-linearer, negativer Zusammenhang zwischen Anhängelast und spezifischem Energiebedarf (v.a. wegen dem Luftwiderstand). Zur Quantifizierung dient der Verkehr von SBB Cargo im Q4/2019 mit folgenden Annahmen:

- Im Transit steigt die mittlere Anhängelast um gut 17% (z.B. SBB Cargo im Q4/2019: von 1367 t auf neu 1600 t Bruttotonnengewicht) → der Energiebedarf sinkt um ≈8%.
 - Im Binnenverkehr (inkl. Import und Export) steigt die Anhängelast um 70% (bei SBB Cargo im Q4/2019 von 351 t auf neu 600 t), → der Energiebedarf sinkt ca. um 20%.
- Insgesamt ergibt sich im System BAHN eine **Einsparung von 12-13%**.

Nächste Schritte / Potentialerschliessung

- Identifizieren von geeigneten Infrastrukturausbauten, damit Züge möglichst die Maximallast gemäss Trassierung ausnützen.
- Testplanung mit veränderten Planungsprämissen im Güterverkehr: Schattenplanungen zeigen, dass eine Trassierung mit 5% Reserve (statt der bisherigen 15%) auch auf der Transitachse eine Einfädelung in die Personenverkehrstrassen erlauben würde. Auf eine Quantifizierung dieses Einsparpotentials wird wegen fehlender Datengrundlagen vorerst verzichtet.

Bild



Mit der Eröffnung des Ceneri-Basistunnels ist die Flachbahn durch die Alpen nun Realität. Mit einer Erhöhung der Zuglänge kann der Energiebedarf weiter gesenkt werden.
Bild: www.nau.ch.

Die Herleitung des Einsparpotentials und die entsprechenden Zahlen finden sich im Anhang 10.6.5

10.3. Massnahmen zur Reduktion der Treibhausgasemissionen: Steckbriefe

10.3.1. Direkte Treibhausgasemissionen (Scope 1&2)

10.3.1.1. Umrüstung fossil betriebener Gebäudeheizungen

Umrüstung fossil betriebener Gebäudeheizungen				EE	CO ₂	neE	Potential:	★★★★★	
Kontakt: Jürg Schneider, SBB Immobilien								Umsetzbarkeit:	★★★★★
Beschreibung				Rahmenbedingungen & Einschränkungen					
Heute werden näherungsweise 700 bis 900 Gebäude (Bahnhöfe, Bahntechnikräume, Serviceanlagen, etc.) im System BAHN mit fossilen Brennstoffen beheizt. Diese sind für rund 40% der Treibhausgase verantwortlich. Heizungsanlagen in Neu- und Umbauten werden bereits heute standardmässig mit erneuerbaren Energien ausgerüstet. Die SBB hat sich das Ziel gesetzt, bis 2030 ihre Heizanlagen in den rund 600 Gebäuden umzurüsten, bevorzugte Energieträger sind Holz, Umweltwärme und Fernwärme.				– Wirtschaftlich begründet lassen sich Restemissionen durch Spitzenlastheizungen nicht eliminieren; die Lenkungsabgaben auf fossile Energieträger steigen jedoch. – Beengte Platzverhältnisse in historischen/denkmalgeschützten Gebäuden und Komplexität durch Bahntechnikinstallationen mit Kabeln und Leitungen. – Beim Heizen mit Fernwärme dürfen ausschliesslich erneuerbare Energieträger und Abwärme zum Einsatz kommen. Eine Herausforderung stellt die Abdeckung der Spitzenlast dar, heute wird dazu weitgehend Heizöl eingesetzt (ca. 15%).					
Quantifizierung / Potential				Bild					
Die nahezu vollständige Eliminierung von fossilen Energieträgern sorgt für eine Senkung des CO₂-Fussabdrucks im System BAHN von rund 98% der Treibhausgase der Gebäudeheizungen. Durch den Systemwechsel auf erneuerbare Energien steigt auch die Energieeffizienz der Heizsysteme, besonders beim Wechsel auf Wärmepumpensysteme. Im Jahr 2050 werden die verwendeten Brennstoffe bei der Erzeugung von Fernwärme nahezu vollständig erneuerbar sein. Sofern technisch-wirtschaftlich nicht vertretbar, können Ausnahmen, z.B. bei fossilen Spitzenlastkesseln, weiterhin mit fossilen Brennstoffen betrieben werden.									
Nächste Schritte / Potentialerschliessung									
– Identifikation vorhandener fossiler Gebäudeheizungen. – Evaluation der geeignetsten fossilfreien Alternative – die Technologien sind vorhanden. Die Angebote von städtischen Fernwärmenetzen steigen und Anschlüsse an Fernwärmenetze sind Investitionen in die Zukunft (wesentlich längere Nutzungsdauer als bei Einzelanlagen). – Ersatz der fossilen Gebäudeheizungen.									

Nutzung von Seewasser für die Beheizung vom Bahnhof Zug. Bild: SBB.

Die Potentiale sind weitestgehend adressiert und eine Umsetzung bei den Bahnunternehmen ist bereits im Gange. Das Ziel einer nahezu vollständigen Eliminierung der fossilen Energieträger ist bereits bis 2035 realistisch.

10.3.1.2. Umrüstung & Neubeschaffung Dieselschienenfahrzeuge

Umrüstung & Neubeschaffung Dieselschienenfahrzeuge		EE	CO ₂	neE	Potential:	★★★★★
Kontakt: Ueli Kramer, SBB Infrastruktur					Umsetzbarkeit:	★★★★★
Beschreibung	Rahmenbedingungen & Einschränkungen					
Im System BAHN 2019 werden rund 36% der direkten Emissionen (Scope 1&2) durch schienengebundene Dieselfahrzeuge verursacht. Diese umfassen einerseits die mit Diesel angetriebenen Güterlokomotiven, andererseits auch schienengebundene Infrastruktur- und Unterhaltsfahrzeuge. Das Ziel besteht darin, diese Fahrzeuge auf emissionsfreie Antriebe umzurüsten oder durch klimaneutrale Neubeschaffungen zu ersetzen. Dadurch können nicht nur die Treibhausgas- sondern auch die Luftschadstoffemissionen, Lärm und weitere Emissionen sowie die Betriebskosten (rund 60% der Unterhaltskosten werden durch den Diesel-Antrieb verursacht) reduziert werden.	- Jeder Einsatzzweck verlangt einen passenden und den Anforderungen gerecht werdenden alternativen Energieträger. Der Bedarf bestimmt die Technologie. - Die Verfügbarkeit fossilfreier und alternativer Antriebe ist aktuell noch nicht vollständig gegeben. Die Entwicklungen in der Batterietechnologie erlauben aber zunehmend den batterieelektr. Antrieb, der bei Bedarf durch Stromabnehmer ergänzt werden kann. - Mit der Umrüstung enthält das Fahrzeugportfolio neu mehrere statt wie bisher einen Energieträger. - Bereitschaft, neue Antriebskonzepte umzusetzen. - Umstellung für Mitarbeitende und Fahrzeughalter in Betrieb, Unterhalt und Logistik.					
Quantifizierung / Potential	Bild					
Im Personenverkehr kann die Flotte zu 100% elektrifiziert werden, im Güterverkehr bis auf einzelne Fahrzeuge nahezu ebenfalls komplett. Weiter können mit batterieelektrischem Antrieb rund 90% der Treibhausgase der Unterhalts- und Baufahrzeugen ebenfalls reduziert werden. Die Komplexität und lange Einsatzdauer von einzelnen Fahrzeugen sorgt für den Betrieb mit fossilen Treibstoffen, wobei der Einsatz von alternativen Treibstoffen (u.a. hydrogenisierte Pflanzenöle «HVO-Diesel» oder synthetischer Diesel) die verbleibenden Emissionen weiter reduzieren kann.						
Nächste Schritte / Potentialerschliessung	- Definition der Anforderungen für klimaneutrale Schienenfahrzeuge. Dafür ist essentiell, Betriebsdaten zu erfassen und praktische Energieverbräuche abzuleiten. - Umbau erster Fahrzeuge und Erprobung innovativer Konzepte. - Pilotierung neuer Beschaffungsprojekte und erneuerbarer Treibstoffe. - Etablierung einer gesamtheitlichen Umstellung und Dialog unter den Bahnen mit Unterstützung vom BAV. - Bisher wurde die LCC-Analyse allein auf das Fahrzeug oder die Infrastruktur bezogen. Neu sollte eine integrale Betrachtung Fahrzeug inkl. Tank-/Ladeinfrastruktur erfolgen.					
		Angestrebt werden Güterlokomotiven sowie schienengebundene Infrastruktur- und Unterhaltsfahrzeuge mit emissionsfreien Antrieben. Bilder: SBB.				

10.3.1.3. Klimafreundliche Kältemittel & Isoliergase

Klimafreundliche Kältemittel & Isoliergase				EE	CO ₂	neE	Potential:	★★★★☆
Kontakt: Ralf Hofer, SBB Produktion Personenverkehr; Jürg Schneider, SBB Immobilien; Eric Dudenhoeffer, SBB Infrastruktur							Umsetzbarkeit:	★★★★☆
Beschreibung				Rahmenbedingungen & Einschränkungen				
Wesentliche Treibhausgasemissionen entstehen durch Verluste von HFKW-Kältemitteln aus den Klimaanlage von Personenzügen und Gebäuden sowie des Isoliergases SF₆ aus Schaltanlagen. Bei Personenzügen ist aktuell mehrheitlich das Kältemittel R134a im Einsatz (GWP: 1'300). Klimageräte mit sog. «natürlichen», weniger umweltschädlichen Kältemitteln wie z.B. CO₂, Propan, Propen, Isobutan oder Luft sind als Versuchsträger auf dem Markt. In Klimaanlage von Gebäuden sind v.a. die Kältemittel R407c (GWP: 1'774), R410A (GWP: 1'430) und R134a verbreitet. SF₆ ist das klimaschädlichste Gas überhaupt (GWP: 23'500), zurzeit existiert keine SF₆-freie Schaltanlage im Bahnstrombereich.				– Klimaanlage mit natürlichen Kältemitteln weisen höhere Investitionskosten auf, als Anlagen mit dem synthetischen Kältemittel R134a. Weiter sind die Einsatzbereiche v.a. bei hohen Aussentemperaturen eingeschränkt. Bei Einsatz von CO₂ als Kältemittel ist der Wirkungsgrad schlechter, trotzdem ist ein Wechsel auch aus Sicht Treibhausgasbilanz sinnvoll. – SF₆: Die Zusammenarbeit mit europäischen Bahngesellschaften (DB, ÖBB) muss gefördert werden, um die teure Entwicklung einer SF₆-freien Schaltanlage im Bahnstrombereich durch ein grösseres potentielles Auftragsvolumen für Hersteller finanziell attraktiv zu gestalten.				
Quantifizierung / Potential				Bild				
– Bei Rollmaterialbeschaffungen wird bereits heute eine Anforderung an ein Kältemittel mit GWP<10 ausgeschrieben. Alte Flotten werden sukzessive ausser Betrieb genommen, sodass im Rollmaterial eine Reduktion von bis zu 70% realistisch ist. – Mittels dem technischen Fortschritt und zukünftig zu erwartenden Verboten im Gebäudebereich werden nahezu alle Klima-/Kältegeräte mit umweltfreundlichen Kältemitteln beschafft. – Weitere SF₆-Schaltanlagen werden bis 2030 in Betrieb gehen. Mit zukünftigem Einsatz von luftisolierten Schaltanlagen (AIS) oder neu entwickelten anderweitig isolierten Gasanlagen können die Leckagenverluste und das Volumen an SF₆ um 20 – 50% reduziert werden.								
Nächste Schritte / Potentialerschliessung				Im Bahnstrombereich existiert heute noch keine SF₆-freie Schaltanlage. Bild: Wikipedia.				
– Ersatz der Kältemittel in Personenzügen und Gebäuden mit natürlichen Kältemitteln (GWP <10). Bei der SBB sind natürliche Kältemittel bei Neubeschaffungen von Personenzügen seit 2020 im Grundsatz vorgegeben. Neue Geräte haben ausserdem kleinere Kältemittelverluste. Für Gebäude stehen erste HFKW-freie Klimaanlage zur Verfügung oder sind kurz vor der Markteinführung. – SF₆ in Schaltanlagen: kurzfristig: Priorisierung von AIS vor GIS; verbessertes Tracking zur rascheren Reparatur von Leckagen bei Schaltanlagen; langfristig: Entwicklung einer SF₆-freien Schaltanlage im Bahnstrombereich.								

10.3.1.4. Elektrische Strassenfahrzeuge

Elektrische Strassenfahrzeuge		EE	CO ₂	neE	Potential: ★★★★★
Kontakt: Marco Weibel, SBB Infrastruktur					Umsetzbarkeit: ★★★★★
Beschreibung		Rahmenbedingungen & Einschränkungen			
Die Strassenfahrzeuge sind im System BAHN 2019 für rund 10% der direkten Treibhausgasemissionen (Scope 1&2) verantwortlich. Das Ziel ist eine vollständige Dekarbonisierung der Strassenfahrzeuge durch Ausrüstung mit alternativen Antriebssystemen, im Fokus stehen batterieelektrische Strassenfahrzeuge. Je nach Antriebssystem ergibt sich der konkrete Bedarf an den Aufbau einer Elektroladeinfrastruktur.		– Sensibilisierung der Mitarbeitenden, denn alternativ angetriebene Strassenfahrzeuge sind z.T. ein emotional aufgeladenes und noch mit Vorurteilen behaftetes Thema. – Hohe Anforderungen der Einsatzfahrzeuge (Allrad, Anhänger, hohe Nutzlasten, weite Distanzen, sekundäre Antriebe) sind aktuell nicht durch alternative Antriebe erfüllbar. – Zu beachten ist die Abhängigkeit der elektrischen Strassenfahrzeuge und der Ladeinfrastruktur, die Einführung muss an jedem Standort synchron laufen. – Verfügbarkeit von Einsatz-Fahrzeugen muss jederzeit, auch z.B. bei tiefen Wintertemperaturen, gegeben sein.			
Quantifizierung / Potential		Bild			
Bis auf einzelne Spezialfahrzeuge der Infrastrukturbetreiber werden alle Strassenfahrzeuge dekarbonisiert und eine Reduktion der Emissionen um 99% erreicht. Neben der Reduktion der Emissionen wird durch den Wechsel des Antriebssystems generell eine Senkung des Energiebedarfes auf etwa einen Drittel der Endenergie erreicht (15-20 kWh/100 km statt 4.5-6 Liter Diesel / 100 km).					
Nächste Schritte / Potentialerschliessung		Das Ziel bei den Strassenfahrzeugen ist eine vollständige Dekarbonisierung durch Ausrüstung mit alternativen Antriebssystemen. Bild: www.energie360.ch .			
– Ausrüstung der Strassenfahrzeuge mit telematischen Messinstrumenten zur Analyse ihres Einsatzprofils. Davon ausgehend kann der Ersatz spezifischer, fossil angetriebener Fahrzeuge durch alternative Antriebssysteme ermittelt werden. – Zusammenarbeit mit strategischem Ladestationspartner (Contractor), um den Aufbau einer einheitlichen Ladeinfrastruktur mit durchgehenden Abrechnungsprozessen zu ermöglichen. – Erarbeitung verschiedener Verankerungsmassnahmen, um die notwendige Akzeptanz der alternativen Mobilität zu erreichen (Kommunikation, Nudging, Roadshows).					

10.3.1.5. Umrüstung der Gasweichenheizungen

Umrüstung Gasweichenheizungen		EE CO₂ neE	Potential: ★★★★★
Kontakt: Daniel Föhn, SBB Infrastruktur			Umsetzbarkeit: ★★★★★
Beschreibung	Rahmenbedingungen & Einschränkungen – Lebensdauer der Anlagen mit 25 Jahren bedingt frühzeitigen Start eines Umrüstprogramms trotz limitierter Finanzmittel. – Deutlich höheren Investitionen stehen langfristig niedrigere Betriebskosten gegenüber, sodass sich über den Lebenszyklus gesehen eine gute Wirtschaftlichkeit der Massnahmen ergibt.		
Quantifizierung / Potential	Bild		
Technisch gesehen können 95% der Anlagen auf Elektroweichenheizanlagen umgestellt werden. Die verbleibenden, technisch komplexen Anlagen werden mit erneuerbaren Brennstoffen (Biogas, biogenem Propangas) betrieben werden. Eine Reduktion der Emissionen von 99% wird erreicht. Neben der Reduktion der Emissionen wird durch den Wechsel des Energieträgers eine Energieeffizienzsteigerung von rund 55% erreicht. Zukünftig mit 16.7Hz betriebene Weichenheizungen ermöglichen grössere schaltbare Lasten im Energiemanagement des Bahnstromnetzes (Zubau von rund 33 MW installierter Leistung).	 		
Nächste Schritte / Potentialerschliessung			
– Aufsetzen eines «Umrüstprogramms» mit zusätzlichen LV-Mitteln für einen kontinuierlichen Ersatz der Gasanlagen in den nächsten 30 Jahren. Dies beinhaltet den Rückbau der alten Gasanlagen und Aufbau von elektrischen Weichenheizanlagen. – Beauftragung von Studien für die technische Analyse der grossen komplexen Gasweichenheizanlagen.			

Umrüstung heutiger Gasweichenheizanlage auf Elektroweichenheizung. Bilder: SBB.

Umrüstung heutiger Gasweichenheizanlage auf Elektroweichenheizung. Bilder: SBB.

Eine aktuelle Studie zum Ersatz der Gasweichenheizanlagen zeigt, dass eine komplette Umstellung auf Elektrobetrieb Mehrkosten von rund 66 Mio. CHF bedingen würde. Gegenüber dem heutigen Zustand werden allerdings beachtliche Minderkosten resultieren: Eine elektrisch betriebene Weichenheizung benötigt nur rund 40% der Endenergie, da die Wärme gezielter an die Weiche gebracht werden kann. In Kombination mit dem Energieträgerwechsel (Reduktion der Gasleistungspreise) senken sich die Energiekosten so um jährlich ca. 1 Mio. CHF. Zusätzlich sind bei Elektroweichenheizungen die Wartungskosten deutlich geringer (-2.4 Mio. CHF/a), zudem treten weniger Störungen auf (-1 Mio. CHF/a). Dadurch ergibt sich eine Paybackzeit von gut 16 Jahren. Herausfordernd für die Zielerreichung ist jedoch der erhöhte Investitionsbedarf, vor allem in den Jahren 2025 - 2035.

10.3.2. Indirekte Treibhausgasemissionen (Scope 3)

10.3.2.1. Beschaffung von fossilfreien Mieten und Dienstleistungen

Beschaffung von fossilfreien Mieten und Dienstleistungen		EE	CO ₂	neE	Potential:	★★★★★
Kontakt: Sarah Weber, SBB Infrastruktur					Umsetzbarkeit:	★★★★★
Beschreibung	Rahmenbedingungen & Einschränkungen					
Die Beschaffung fossiler Mieten und Dienstleistungen verursacht bei Bahnunternehmen hohe Treibhausgasemissionen in der Vorkette (Scope 3). Das Ziel besteht darin, externalisierte Aufgaben des Kerngeschäfts mit 100% erneuerbaren Energien zu erbringen. Dazu müssen die betroffenen Warengruppen (WG) innerhalb der Bahnunternehmen identifiziert werden. Bei der SBB wird angestrebt, die Dienstleistungen in den bereits definierten WG bis 2040 fossilfrei zu erbringen. Die prioritären WG sind Tiefbau, Gleisbaumaschinenleistungen, Bahnersatz, Mulchen & Mähen, Anmieten von Gebäuden und IT-Betrieb.	– Klärung der Verteilung der Investitionskosten zwischen Bahnunternehmen und Lieferant – Vollkostenbetrachtung statt Investitionskostenbetrachtung ist nötig für das Bahnunternehmen aber auch für den Lieferanten. Bsp: Im Vergleich zu fossil betriebenen Fahrzeugen sind elektrische Fahrzeuge im Unterhalt günstiger. – Partnerschaftliche Kooperation zwischen Bahnunternehmen und Lieferanten erforderlich. – Die Dekarbonisierung stellt Anforderungen an die Warengruppen, die in dieser Art noch nie ausgeschrieben wurden. Diesbezüglich wäre ein möglicher Ansatz, dass BAV-Fördergelder auch für Lieferanten in der Vorkette nutzbar gemacht werden können.					
Quantifizierung / Potential	Bild					
Zurzeit existieren lediglich Abschätzungen zur Quantifizierung der Scope 3-Emissionen aus Miete und Dienstleistungen von Bahnunternehmen. Bei der SBB sind sie geschätzt etwa gleich gross wie die gesamten betrieblichen Emissionen (Scope 1&2, ca. 100'000 t CO ₂ eq/a). Bei folgenden Warengruppen der SBB gibt es bereits Abschätzungen der Emissionen: – Tiefbau: ~ 42'000 t CO₂/a – Gleisbaumaschinenleistungen: ~ 22'400 t CO₂/a – Bahnersatz: ~ 3'000 t CO₂/a						
Nächste Schritte / Potentialerschliessung	– Definition der Governance im Bahnunternehmen, z.B. im Rahmen einer nachhaltigen Beschaffung – Erarbeitung der Datengrundlagen – Entwicklung von Kriterien zur Umsetzung einer fossilfreien Beschaffung von Mieten und Dienstleistungen – Entwicklung von Pilotprojekten – Flächendeckende Ausrollung					

Externalisierte Aufgaben des Kerngeschäfts von Bahnunternehmen müssen fossilfrei erbracht werden. Bild: SBB.

10.3.2.2. Kreislaufwirtschaft

Heutzutage sind lineare Wirtschaftsmodelle noch stark verbreitet: In diesen werden Rohstoffe abgebaut, Produkte hergestellt und nach dem Gebrauch weggeworfen ('Take – Make – Waste'). Die Kreislaufwirtschaft oder Circular Economy (CE) hingegen zielt darauf ab, die Materialien in Kreisläufen zu erhalten umso den Anteil der benötigten Rohstoffe wie auch die Abfallmengen zu minimieren. Diverse Konzepte wie bspw. Wiederverwendung, Remanufacturing, Sharing, Kaskadennutzung oder Recycling stellen sicher, dass die Nutzung von Materialien und Produkten verlängert und intensiviert, Abfall zu Nährstoff wird und für Mensch und Umwelt unbedenkliche Materialien unendlich wiederverwendet werden können. Circular Economy muss dabei immer auf der Produkt- und Prozessebene gedacht werden: Produkte müssen kreislauffähig sein, erst die Prozesse ermöglichen aber, dass die Produkte im Kreislauf erhalten werden. Politisch erhält das grosse Potential der CE zunehmend Aufmerksamkeit: Der Bundesrat hat das Eidg. Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK beauftragt, unter Einbezug des Departements für Wirtschaft, Bildung und Forschung WBF und des Eidg. Finanzdepartements EFD, bis Ende 2022 Vorschläge für ein Massnahmenpaket zu Ressourceneffizienz und der Förderung der Kreislaufwirtschaft zu erarbeiten (BAFU 2020a).⁸ Bereits 2020 unterstrich das BAFU in seinem Bericht «Massnahmen des Bundes für eine ressourcenschonende, zukunftsfähige Schweiz (Grüne Wirtschaft)» die Notwendigkeit einer deutlichen Reduktion des Ressourcenverbrauchs und der damit zusammenhängenden Umweltbelastung in den besonders umweltrelevanten Bereichen Ernährung, Wohnen und Mobilität (BAFU 2020b). Auch international erfährt die CE zunehmend Beachtung: So stellte die EU-Kommission im März 2020 mit dem «Circular Economy Action Plan» eine neue, umfassendere Kreislaufwirtschaftsstrategie vor (European Commission 2019). Die Einführung von Vorgaben zur Umsetzung von CE-Konzepten würde sich auch mit den strategischen Aufgabenschwerpunkten 10 und 13 der BAV-Strategie 2019 decken (BAV 2019). Ein Vorbild hierzu könnten die in der LV 21-24 in Art. 11 aufgenommenen Umwelt-Standards (z.B. zu Biodiversität) bilden.

Kreislaufwirtschaft: Best practice bei der SBB



Recyclingasphalt: Die Ökobilanz von Perrons zeigt, dass die SBB mit der Verwendung von Recyclingasphalt gegenüber Frischasphalt erhebliche Umweltvorteile erzielen kann. An drei Bahnhöfen hat sie Tests durchgeführt. Wirkung: Seit 2020 baut die SBB Perrons mit einem Recyclingasphaltanteil von 60% in der Trag- und 40% in der Deckschicht. Während die finanziellen Kosten des Mischasphaltes denen von Frischasphalt entsprechen, können auf Seite Umwelt grössere Verbesserungen erreicht werden, die Wirkung bezüglich Treibhausgasemissionen ist aktuell noch nicht bekannt.



Fahrleitungsmasten: In die Jahre gekommene, aber technisch einwandfreie Fahrleitungsmasten sollen in Zukunft SBB-intern wiederaufgearbeitet anstatt ins Recycling gegeben werden. Weiteres Fahrleitungsmaterial soll folgen. Wirkung: Die Wiederaufarbeitung von Fahrleitungsmasten ist fünfmal ökologischer als Recycling und günstiger als die Neubeschaffung.

⁸ Dabei gilt es das Zusammenspiel mit relevanten nationalen und internationalen Entwicklungen zu beachten. In der Sommersession 2021 ist die UREK-N auf die Vorlage [20.433 zur Stärkung der Schweizer Kreislaufwirtschaft](#) eingetreten. Sie wird an einer nächsten Sitzung die Detailberatung vornehmen, anschliessend ist eine Vernehmlassung zu dieser Vorlage geplant. Ebenfalls In der Sommersession wurde die Motion [20.3667 "Dank Innovation Green Deals die Kreislaufwirtschaft und die nachhaltige Ressourcennutzung fördern"](#) vom Nationalrat angenommen. Innovationen in der Kreislaufwirtschaft sollen möglichst nicht durch bürokratische Hürden behindert werden. Der Vorstoss nennt als Vorbild die "Innovation Green Deals", mit denen insbesondere in den Niederlanden der Weg für Projekte zugunsten der Kreislaufwirtschaft der Weg geebnet werde. Mit ihrem Postulat [20.4135 «Was heisst netto null für den Hochbau, und wie kann dieses Ziel erreicht werden?»](#), beauftragt ausserdem NR Schaffner (GLP/ZH) den Bundesrat Massnahmen aufzuzeigen, wie der Hochbau mit dem Ziel Netto Null 2050 kompatibel werden kann.

Kreislaufwirtschaft

Kontakt: Fabiano Piccinno, SBB Nachhaltigkeit

EE

CO₂

neE

Potential:



Umsetzbarkeit:



Beschreibung

In der Vor- und Nachkette von Bahnunternehmen gibt es Treibhausgasemissionen, die sich nur über die Umsetzung von Konzepten der Kreislaufwirtschaft/Circular Economy (CE) reduzieren bzw. verhindern lassen. Dazu gehören Emissionen aus dem Einkauf von Anlagegütern und Produktionsmitteln, aus dem Einkauf von Waren und Dienstleistungen sowie Emissionen aus Betriebsabfällen. Werden Materialkreisläufe geschlossen, kann dies die Ressourcenproduktivität steigern, die Treibhausgasemissionen der Vor- und Nachkette senken und Bahnunternehmen darüber hinaus wirtschaftlicher und resilienter ggü. Risiken in der Lieferkette machen.

Quantifizierung / Potential

Bahnunternehmen sind als ISB, EVU und Immobilieninvestoren materialintensive Asset-Management-Unternehmen. Der umfassende Bestand an Materialien und die hoch spezialisierten Anlageklassen bedeuten aus Sicht der CE grosse Potentiale zur Steigerung der Ressourcenproduktivität. Eine 2020 durchgeführte Materialflussanalyse bei der SBB ergab, dass diese über insgesamt mehr als 76 Mio. Tonnen an Anlagen in Nutzung verfügt (v.a. Sand, Kies, Schotter, Beton, Metalle), die nur z.T. innerhalb der SBB wiederverwendet werden. Ca. 55% der Scope 3-Emissionen können mit CE-Konzepten eingespart werden (dies entspricht bei der SBB 2019 ~ 550'000 tCO₂eq*).

Nächste Schritte / Potentialerschliessung

CE benötigt sowohl kreislauffähige Produkte als auch zirkuläre Prozesse. Konzeptuell umfasst dies u.a. die Definition von Anforderungen an Material (z.B. Einsatz rezyklierter Materialien) und Design (z.B. modulare Designs zur Rückführbarkeit von Materialien), die Nutzungsdauerverlängerung und Kaskadennutzung von Materialien, Product as a Service und Asset-Sharing zur Incentivierung für längere Produktlebenszyklen, die Verfügbarkeit von Daten als Enabler für Prozesse der CE (z.B. Madaster) sowie die Verankerung in der Unternehmenskultur und Sensibilisierung der Mitarbeitenden.

Rahmenbedingungen & Einschränkungen

Für die Bahnbranche müssen über die LV regulat. Rahmenbedingungen geschaffen und Vorgaben gemacht werden, die die CE fördern und ihre Umsetzbarkeit gewährleisten. Dies umfasst z.B. die Aufnahme von CE-Kriterien in Beschaffungen, die Incentivierung von Lieferanten zur Steigerung der Nutzungsdauer ihrer Produkte in Ausschreibungen oder die Förderung der Datenverfügbarkeit zu Materialbeständen (z.B. über Materialpässe). Einschränkungen bestehen in Form von jur. und techn. Vorgaben, die auf eine lineare Wirtschaft ausgerichtet sind. Die Bahnbranche muss für die CE-Potentiale sensibilisiert und der Austausch zu Best Practice gefördert werden.

Bild



Ziel der Circular Economy ist, die Nutzungsdauer und den Wert von Materialien zu maximieren, Neubeschaffungen zu reduzieren und Abfallmengen zu minimieren. Bild: SBB.

*Hier handelt es sich um eine sehr simple und entsprechend grobe Überschlagsrechnung, berechnet auf Basis des durch den jährlichen Materialfluss verursachten Ausstosses bei der Herstellung und der Entsorgung für das Jahr 2019 (Stufe Material, ohne Energie für die Produktherstellung). Die Wirkung auf das Volumen der Materialflüsse durch Anwendung von den CE-Ansätzen Design/Leichtbau, Nutzungsdauerverlängerung und Nutzungsintensivierung wurde anhand einzelner Asset-Gruppierungen (insgesamt 19) modelliert und in Emissionen umgerechnet. Darüber hinaus wurde die Reduktion des Ausstosses durch den Einsatz von rezyklierten, erneuerbaren und alternativen (z.B. Holzbau) Materialien modelliert. Die resultierende Reduktion von 55 % liegt in der Grössenordnung, wie sie bereits von anderen Quellen zu Kreislaufwirtschaft allgemein berechnet wurde.

10.3.2.3. Mitarbeitermobilität

Mitarbeitermobilität	EE	CO ₂	neE	Potential:	★★★★★
Kontakt: Matthias Kyburz, SBB Nachhaltigkeit; Serafina Vogel, SBB Infrastruktur				Umsetzbarkeit:	★★★★★
Beschreibung	Rahmenbedingungen & Einschränkungen Bei der Pendlermobilität können Mitarbeitende mit Incentivierung und Sensibilisierung so gelenkt werden, dass sie emissionsarme respektive emissionsfreie Transportmittel benutzen. Incentivierungsmassnahmen können Lohnbestandteile sein. Die Mobilität ist ein emotionales Thema und Sensibilisierungsmassnahmen müssen bedacht ausgewählt werden, damit die Zielgruppen erreicht werden, ihre Privatsphäre gewahrt bleibt und die Arbeitsbedingungen fair bleiben. Bei den Geschäftsreisen können Vorgaben gemacht werden. Diese Vorgaben können in Richtlinien (Richtlinien für Geschäftsreisen) oder auch im Spesenreglement niedergeschrieben sein.				
Mitarbeitende verursachen durch den Arbeitsweg (Pendlerverkehr) und (Flug-) Geschäftsreisen erhebliche Treibhausgasemissionen. Die Berufsgruppen und Arbeitszeiten in der Bahnbranche sind sehr vielseitig. Dies widerspiegelt sich in der Benützung der Transportmittel: Während Büropersonal fast ausschliesslich mit dem ÖV und dem Langsamverkehr reist, sind Lokführer und Personal in der Fläche auf Strassenfahrzeuge für den Arbeitsweg oder Geschäftsreisen angewiesen. Zudem sind einige Geschäftsreisen mit dem Flugzeug bei spezifischen Projekten unumgänglich.					
Quantifizierung / Potential	Bild 				
Bei der Förderung des ÖV-Anteils am Arbeitsweg ist das Potential in der Bahnbranche sehr gut ausgeschöpft. Grosses Potential besteht in der Reduktion der Reisewege für den Pendlerverkehr (vor Corona beinahe 10 Reisewege pro Woche), der Steigerung des Anteils des Langsamverkehrs am Arbeitsweg, in der Reduktion der Geschäftsreisen sowie bei der Förderung der Zugreise ggü. dem Flug. 75% der Flugpassagiere in Direktflügen ab Zürich fliegen Destinationen in Europa an, welche auch bequem mit dem Zug erreicht werden können. Eine Zugreise innerhalb von Europa mit dem Zug spart ggü. dem Flugzeug pro Weg 100-200 kg CO ₂ .					
Nächste Schritte / Potentialerschliessung	Ziel bei der Mitarbeitermobilität ist es, den ÖV und Langsamverkehr zu fördern und Geschäftsreisen mit dem Flugzeug zu minimieren. Bild: SBB.				
Mithilfe von Sensibilisierungsmassnahmen und der Anpassung von Geschäftsreise-richtlinien soll erreicht werden, dass weniger Reisen getätigt werden und insbesondere weniger geflogen wird. Mit der Reduktion und der Verlagerung der Mobilität auf emissionsärmere Transportmittel sollen die Potentiale gehoben werden. Flüge im 5h-Zugkorridor ab Schweizer Grenze sollen in Zukunft für Mitarbeitende von Schweizer Bahnunternehmen verboten werden. Zu zahlreichen Destinationen, die im Radius der Kurzstreckenflüge (bis 2h) liegen, existieren gute Zugverbindungen, die eine echte Alternative zum Fliegen darstellen.					

Auch die Flugreisen und Transportmittel der Arbeitswege von Mitarbeitenden verursachen indirekte Emissionen. Während der Umgang mit geschäftlichen Flugreisen über Geschäftsreiserichtlinien von den Bahnunternehmen selbst kontrolliert werden kann, reicht die Mitarbeitermobilität in das Privatleben der Mitarbeitenden und kann entsprechend nicht über Vorgaben angegangen werden. Hier helfen der Dialog mit den Mitarbeitenden sowie die Sensibilisierung der Mitarbeitenden.

10.4. Massnahmen zur Erhöhung der Produktion von erneuerbarem Strom: Steckbriefe

10.4.1. Photovoltaik auf Gebäuden

Photovoltaik: Gebäude		EE	CO ₂	neE	Potential: ★★★★★
Kontakt: Jürg Schneider, SBB Immobilien, Kresimir Rubil, SBB Infrastruktur					Umsetzbarkeit: ★★★★★
Beschreibung		Rahmenbedingungen & Einschränkungen			
Im System BAHN finden sich mehrere tausende Gebäude: Von grossen Bahnhöfen über Bürogebäude und Betriebsobjekte bis hin zu kleinen Bahntechnikgebäuden (BTG) oder Unterwerken. Alle Gebäude besitzen theoretisch ein Potential zur Installation von Photovoltaik (PV) in Form von Auf- / Indachanlagen oder fassadenintegrierter PV. Das Gebäudeportfolio des System BAHN hat einen grossen Anteil alter, denkmalgeschützter Bestandsbauten. Demgegenüber werden laufend neue Gebäude realisiert. Abhängig der Nutzungsform der Gebäude unterscheidet sich der Haushalts-Stromverbrauch (50Hz) der Gebäude stark.		- Finanzierung der PV-Anlagen in den meisten Fällen heute nicht über LV möglich, kommerzielle Mittel nur sehr beschränkt verfügbar, PV-Contracting nur bei grösseren Anlagen wirtschaftlich. - Erforderlich ist ein geringes Dachalter, eine für PV hinreichende Dachstatik und ein genügend hoher Stromeigenbedarf für einen wirtschaftlichen Betrieb der PV-Anlage. - Teilweise aufwändige Bewilligungsverfahren auf dem Bahnbetrieb dienenden Gebäuden, zudem bestehen teils hohe Anforderungen der Denkmalpflege			
Quantifizierung / Potential		Bild			
Die Quantifizierung des PV-Potentials für die Gebäude stützt sich auf die Annahme, dass bis 2050 der Grossteil der Dächer saniert wird und bei vorhandenen Traglastreserven und genügendem Stromeigenbedarf eine PV-Anlage wirtschaftlich realisiert wird: - Gebäudeportfolio von Immobilien 90 GWh/a - Gebäudeportfolio von Infrastruktur 15 GWh/a - Bahntechnikgebäude 5 GWh/a Bei regulatorisch vorteilhaften Entwicklungen erscheint ein rund 50% höheres Potential realistisch.					
Nächste Schritte / Potentialerschliessung		- Die Bahnunternehmen prüfen ihr Gebäudeportfolio systematisch und rüsten, da wo dies technisch möglich und wirtschaftlich ist, PV-Anlagen nach. - Frühzeitige Prüfung von Neubauten auf PV-Eignung, falls geeignet erfolgt Umsetzung. - Bei standardisierten Gebäuden wird ebenfalls eine Standardisierung der PV-Anlagen angestrebt (bspw. Bahntechnikgebäude). - Vermehrte Berücksichtigung von dach- und fassadenintegrierter PV.			

Aufdachanlagen auf dem Frequenzumformer in Zürich Seebach (links) und auf dem BTG in Immensee (rechts). Bilder: Basler & Hofmann AG.

Auf lange Sicht ist zu erwarten, dass die kantonalen Energiegesetzte die Nutzung der Dachflächen zur Erzeugung von Strom aus Photovoltaik-Anlagen schweizweit fordern werden. Denn schon heute ist in verschiedenen Kantonen im kantonalen Energiegesetz eine Eigenstromproduktionspflicht bei Neubauten festgeschrieben. Nebst den gesetzlichen Forderungen würden positive Rahmenbedingungen im Zusammenhang mit dem Eigenverbrauch und Rücklieferung die Wirtschaftlichkeit und Realisierbarkeit von PV-Anlagen auf Gebäude wie auch auf anderen Infrastrukturen unterstützen.

Quellen: Potentiale Photovoltaik SBB, Basler & Hofmann AG (24.08.2017) und Experteninterview mit Jürg Schneider, SBB Immobilien (15.04.2021)

10.4.2. Photovoltaik auf Perrondächern

Photovoltaik: Perrondächer

EE

CO₂

neE

Potential:



Umsetzbarkeit:



Beschreibung

Rund 1'200 Perrondächer sind auf den Bahnhöfen des Systems BAHN zu finden, Tendenz steigend. Das Photovoltaikpotential kann entweder in Form einer aufgeständerten Aufdachanlage erschlossen werden oder bei der Erneuerung der Eindeckung bietet sich eine semitransparente dachintegrierte PV-Anlage an, welche nebst der Stromproduktion ebenfalls den Witterungsschutz sicherstellt. Aufgrund der Nähe zur Fahrleitung ist der Dachzugang und Modul-Unterhalt aufwendiger als beispielsweise auf einem Bürogebäude. Daher ist ein effizientes Betriebskonzept und eine gute Planung erforderlich (z.B. Wechselrichter nicht auf dem Dach).

Rahmenbedingungen & Einschränkungen

- Erschwelter Zugang zu Perrondächern aufgrund der Nähe zur Fahrbahn/Bahnstrom.
- Geringes Dachalter und für PV hinreichende Dachstatik müssen gegeben sein.
- Stromeigenbedarf (50 / 16.7Hz) muss sichergestellt sein.
- Bei kleinen und mittleren Bahnhöfen ist der Stromeigenbedarf (50Hz) im Vergleich zu den rel. grossen PV-Perrondachanlagen zu gering (fehlende Wirtschaftlichkeit). Eine Direkteinspeisung ins 16.7Hz Bahnstromnetz steht zur Prüfung.

Quantifizierung / Potential

Bei einer Lebensdauer der Eindeckung der Perrondächer von 25-30 Jahren werden bis 2050 die meisten der 1'200 Perrondächer saniert werden. Wenn im Rahmen der Sanierung eine PV-Anlage realisiert oder ein PV-integrierter Dachstandard berücksichtigt wird, eröffnet sich für das System BAHN ein PV-Potential von rund 40 GWh/a. Das Potential ist nebst den überdurchschnittlichen Installationskosten im Fahrbahnbereich insbesondere durch den fehlenden Stromeigenverbrauch und dadurch geringere Wirtschaftlichkeit beschränkt. Mit PV-begünstigenden Entwicklungen der regulatorischen Rahmenbedingungen könnte das Potential gut 50% höher liegen.

Bild



Entwicklungsprojekt für ein semitransparentes, bifaciales Standard-PV-Perrondach (links) und PV-Aufdachanlage auf dem Perrondach in Sargans (rechts). Bilder: SBB.

Nächste Schritte / Potentialerschliessung

- Erste Pilotanwendungen von PV-Anlagen auf Perrondächern sind in Planung oder schon umgesetzt. Diese liefern wichtige Erfahrungen im Zusammenhang mit fahrbahn- und bahnstromnahen PV-Anlagen.
- SBB Infrastruktur treibt ein Entwicklungsprojekt für ein semitransparentes bifaciales Standard-PV-Perrondach voran (linkes Bild).
- Verbindliche Forderung durch das BAV und BIF-Finanzierung für PV als Standard bei Perrondächern wäre wünschenswert.

Quellen: Potentiale Photovoltaik SBB, Basler & Hofmann AG (24.08.2017) und Experteninterview mit Michael Dietrich, SBB Infrastruktur (09.04.2021)

10.4.3. Photovoltaik-Freiflächenanlagen

Photovoltaik: Freiflächenanlagen		EE	CO ₂	neE	Potential: ★★★★★
Kontakt: Marcel Reinhard, SBB Energie, Karin Hilfiker, SBB Infrastruktur					Umsetzbarkeit: ★★★★★
Beschreibung		Rahmenbedingungen & Einschränkungen			
Entlang der Gleise finden sich im System BAHN gut 400'000 m² Freiflächen, welche weder bewaldet noch einen hohen Schutzstatus (bspw. Projektausgleichsflächen oder Vernetzungskorridore im Rahmen des Aktionsplan Biodiversität Schweiz) aufweisen. Diese Flächen finden sich beispielsweise an Bahnböschungen, auf Ruderal- oder Industrieflächen. Im Boden verankerte und aufgeständerte PV-Anlagen (Freiflächenanlagen) ermöglichen eine Erschliessung der teils sehr grossen PV-Potentiale. Eine Einspeisung ins 16.7Hz Bahnstromnetz ist vielerorts notwendig und grundsätzlich technisch machbar.		– Nutzungskonflikt vieler Flächen mit dem Aktionsplan / Strategie Biodiversität Schweiz ist limitierend. – Schutzstatus (u.a. in nationalen und kommunalen Nutzungspläne ausgeschieden). – Anforderungen an Bewilligung von freistehenden grossen PV-Anlagen muss im Einzelfall geklärt werden. – Stabilität der Hänge muss gewährleistet und der Unterhalt (Mulchen/Mähen) effizient möglich sein.			
Quantifizierung / Potential		Bild			
Das Potential für PV-Freiflächen ist im System BAHN immens, jedoch ist die Erschliessung dieses Potentials einerseits stark vom Nutzungskonflikt Energie vs. Biodiversität und andererseits von der Bewilligungsfähigkeit der freistehenden PV-Freiflächenanlagen abhängig. Lassen sich die PV-Anlagen bewilligen und der Nutzungskonflikt lösen, eröffnet sich unter moderaten Annahmen ein Potential von rund 65 GWh/a, welches sich bei einer forcierten Erschliessung auf fast das Doppelte steigern liesse, wobei der Fokus auf einer geringen Anzahl von Anlagen liegt, die dafür eine hohe Leistung aufweisen.					
Nächste Schritte / Potentialerschliessung		– Bahnunternehmen führen Potentialstudien für PV-Freiflächenanlagen durch und identifizieren potentiell geeignete Flächen (SBB: Aktuell vertiefte Prüfung der Machbarkeit und Bewilligungsfähigkeit). – Notwendig ist eine Prüfung für die Doppelnutzung Energieerzeugung und ökologische Funktion der Freiflächen unter Einbezug von BFE und BAFU. – Fördergesuch für Pilotanwendung, bspw. an BAV ESöV-Programm.			

PV-Freiflächenanlagen an einer bahnabgewandten Böschung (links) und auf ebenem Grund (rechts). Bilder: www.mounting-systems.com

Quellen: Photovoltaik-Studie SBB, Freiflächenanlagen, Basler & Hofmann AG (29.04.2021) und Experteninterview mit Karin Hilfiker, SBB Infrastruktur (20.04.2021)

10.4.4. Photovoltaik auf Lärmschutzwänden

Photovoltaik: Lärmschutzwände

EE

CO₂

neE

Potential:



Umsetzbarkeit:



Beschreibung

Entlang der Gleise finden sich rund 600km Lärmschutzwände. Diese Lärmschutzwände bieten, zumindest auf der bahnabgewandten Seite, Potential zur Installation von PV-Anlagen, wobei die Exposition der Lärmschutzwände das Potential deutlich einschränkt, da Nord- oder gänzlich Ost/West-ausgerichtete Lärmschutzwände nur geringes PV-Potential besitzen. Die PV-Anlage muss von der Wand leicht abgehoben montiert werden, damit weiterhin die Zugänglichkeit für die Sichtkontrolle der Lärmschutzwand gewährleistet ist. Eine wandparallele, senkrechte Montage ist demnach nicht möglich.

Rahmenbedingungen & Einschränkungen

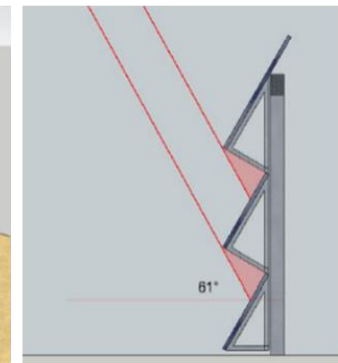
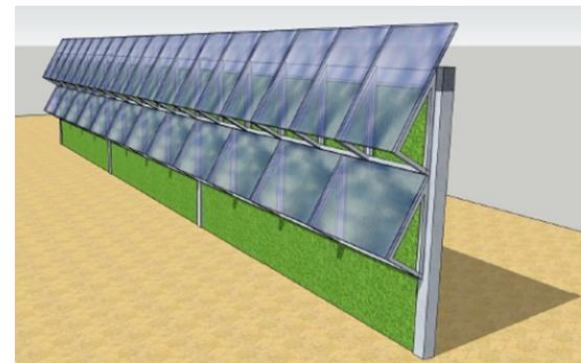
- Aufgrund der aufwendigen Konstruktion und Befestigung erscheint eine hohe Standardisierung notwendig um die Potentiale wirtschaftlich erschliessen zu können.
- Bewilligungsfähigkeit muss bestätigt werden.
- Funktion der Lärmschutzwand darf nicht beeinträchtigt werden.

Quantifizierung/ Potential

Das Potential von rund 40 GWh/a für PV-Lärmschutzwände ist stark von Rahmenbedingungen (standardisierte, einfache Montage, Bewilligungsfähigkeit da meist bewohntes Gebiet etc.) und dem Umfang der neu gebauten Lärmschutzwände abhängig.

Unter idealen Bedingungen ist es realistisch, dass das Potential ca. 50-75% höher ausfallen dürfte.

Bild



Nächste Schritte/ Potentialerschliessung

- Bahnunternehmen führen Potentialstudien für PV-Lärmschutzwände und identifizieren potentiell geeignete Flächen (SBB: Aktuell vertiefte Prüfung der Machbarkeit und Bewilligungsfähigkeit, Studie in Zusammenarbeit mit BAV abgeschlossen).
- Pilotierung und anschliessender Rollout, Fördergesuch für Pilotanwendung, bspw. an BAV ESöV-Programm.
- Standardisierung von PV-Anlagen bei neuen Lärmschutzwänden.

Visualisierung einer einseitig mit PV-Modulen bebauten Lärmschutzwand.
Bilder: www.prorail.nl

Quellen: Etude de potentiel de production d'énergie photovoltaïque sur les parois anti-bruit le long des routes nationales et des voies ferrées, Planair et al. (2021) und Experteninterview mit Johannes Tröndle, SBB Infrastruktur (16.04.2021)

10.4.5.Überdachungen mit Photovoltaik

Photovoltaik: Überdachungen von Gleisen und Parkplätzen

EE

CO₂

neE

Potential:



Umsetzbarkeit:



Beschreibung

Die Überdachung von Gleisen und Parkplätzen mit Photovoltaikanlagen ermöglicht eine Doppelnutzung der Fläche und hat deshalb keinen zusätzlichen Flächenbedarf. Neben der Stromproduktion generiert die Überdachung ebenfalls positive Synergieeffekte wie Witterungsschutz (Regen/Sonne) oder Regenwasserabführung (Unkraut). Die PV-Anlagen werden mittels einer Stahlkonstruktion über die Gleise oder Parkplätze aufgeständert montiert.

Rahmenbedingungen & Einschränkungen

- Bewilligungsfähigkeit von Grossanlagen (bspw. Überdachung Rangierbahnhof Limmattal) muss konkret geprüft werden.
- Aktuell ist es nicht möglich eine wirtschaftliche Anlage über Gleise zu realisieren, bedingt durch die sehr hohen Kosten der aufwendigen Grundstrukturen (7.5m hohes Stahlgerüst).
- Synergieeffekte (bspw. Doppelnutzung Fahrleitungsmasten oder bestehende Projektauflagen) können in Einzelfällen der PV-Überdachung zur Umsetzung verhelfen.

Quantifizierung/ Potential

Das Potential im System BAHN ist primär in den Bereichen der Rangierbahnhöfe (total > 2.5 km²) und der Park & Rail und Mieterparkplätze (>40'000 Parkplätze) zu finden. Das PV-Potential der Gleisüberdachung ist mit 2.5 km² riesig, wobei Bewilligungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit entscheidend für eine Realisierung sein werden. Eine vorsichtige Potentialquantifizierung ergibt insgesamt rund 40 GWh/a.

- 30 GWh/a bei Rangierbahnhöfen, stark skalierbar.
- 10 GWh/a bei Parkplätzen, nur geringfügig skalierbar.

Nächste Schritte/ Potentialerschliessung

- Im Rahmen einer Studie müssen potentielle Synergieeffekte bei der Erstellung der PV-Überdachungen über Gleise (bspw. Doppelnutzung von Fahrleitungsmasten) identifiziert werden, damit die Gesamtkosten substantiell gesenkt werden können. Andernfalls ist dieses Potential kaum erschliessbar.
- Pilotierung. Anschliessend Skalierung bei Gleisanlagen, Standardisierung bei Parkplätzen, PV-Carports verbunden mit Elektroladestationen.
- Fördergesuch für Studie und Pilotanwendung, bspw. an BAV ESöV-Programm.

Bild



Visualisierung einer semitransparenten PV-Überdachung einer Autobahn.
Bild: www.labor3.ch

Quellen: Experteninterview mit Jürg Schneider, SBB Immobilien (15.04.2021)

10.4.6.Schwimmende PV-Anlagen

Schwimmende PV-Anlagen

Kontakt: Marcel Reinhard, SBB Energie

EE

CO₂

neE

Potential:



Umsetzbarkeit:



Beschreibung

Auf Seen, Ausgleichsbecken oder weiteren Wasserkörpern werden die PV-Module und Rahmen auf einer schwimmenden Struktur installiert. Diese schwimmenden PV-Anlagen werden so verankert, dass eine Installation auch bei schwankenden Wasserständen möglich ist.

Durch die hohe Albedo (Reflexion des Wassers und/oder Eis und Schnee im Winterhalbjahr) und durch den kühlenden Effekt des Wassers haben schwimmende PV-Anlagen einen vergleichsweise hohen Energieertrag. Insbesondere auf hochalpinen Gewässern ist auch im Winter die Stromproduktion sehr hoch.

Rahmenbedingungen & Einschränkungen

- Technisch aufwändige Strukturen für hochalpine schwimmende PV-Anlagen (Schneelast, Eis).
- Hohe Anforderungen durch den Landschafts- und Gewässerschutz an die Anlage selbst und die ökologischen Auswirkungen der Anlage (bspw. Verschattung des Gewässers).
- Bewilligungsfähigkeit sehr kritisch.

Quantifizierung / Potential

Im System BAHN scheinen auf Basis der Erstabklärungen nur der Sihlsee und der Lago Ritom potentiell geeignet. Stauseen weiterer Kraftwerksbetreiber ausserhalb des System BAHN haben jedoch ebenfalls grosses Potential. Die Realisierung von schwimmenden PV-Anlagen ist einerseits wirtschaftlich, andererseits bewilligungstechnisch sehr anspruchsvoll.

Im Falle der Realisierung im System BAHN wird von einem Potential von rund 40 GWh/a ausgegangen. Ein Vielfaches davon ist unter förderlichen Bedingungen ebenfalls möglich.

Bild



Nächste Schritte / Potentialerschliessung

- Zur Bewertung der technischen Machbarkeit, Bewilligungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit von schwimmenden PV-Anlagen auf Seen muss eine umfassende Machbarkeitsstudie durchgeführt werden.
- Fördergesuch für Studie und Pilotanwendung, bspw. an BAV ESöV-Programm oder BFE Pilot- und Demonstrationsprogramm.

Floating PV Anlage auf dem Lac de Toules im Wallis von Romand Energie.
Bilder: www.romande-energie.ch / www.new.abb.com

10.4.7. Windkraft

Windkraft		EE	CO ₂	neE	Potential: ★★★★★
Kontakt: Marcel Reinhard, SBB Energie					Umsetzbarkeit: ★★★★★
Beschreibung		Rahmenbedingungen & Einschränkungen			
Bahnnähe Grundstücke eignen sich potentiell gut zur Nutzung für die Erzeugung und Übertragung von Strom aus Windkraft ins Bahnsystem. Insbesondere Kleinwindkraftanlagen (<30m) haben einfachere Bewilligungsverfahren und geringeren negativen Einfluss auf die Ökologie (bspw. Vogelschlag) und Umgebung (Eiswurf). Jedoch ist Kleinwindkraft aktuell nicht wirtschaftlich und die Ökobilanz der Turbine über deren Lebenszyklus zum Teil negativ. Für Grosswindkraft muss im Richtplan ein Windkraftgebiet ausgeschieden sein und die Bewilligungsverfahren dauern viele Jahre bis Jahrzehnte.		– Raumplanung: Ausgeschiedene Flächen für Windkraft auf Stufe Richtplan. – Die Planungs- und Bewilligungsverfahren von Grosswindkraftanlagen sind langwierig und bedeuten viele Einsprachen, ein Gang ans Bundesgericht ist keine Seltenheit.			
Quantifizierung/ Potential		Bild			
Das Potential für Grosswindkraft beläuft sich auf rund 10 GWh/a bei gegebenen Rahmenbedingungen. Im Falle von regulatorischen Anpassungen hin zu windkraftfreundlicheren Bedingungen wird sich das Potential vervielfachen. Die Kleinwindkraft hat ein Potential von rund 5 GWh/a. Mit der Entwicklung effizienterer Kleinwindkraftanlagen wird sich dieses enorm steigern, da Kleinwindkraftanlagen viel einfacher bewilligungsfähig sind, denkbar ist ein um den Faktor 10-20 höheres Potential.					
Nächste Schritte/ Potentialerschliessung		– Analyse der Windkraftpotentiale auf Grundstücken von Bahnunternehmen. – Zur Erschliessung der Windkraftpotentiale müssen die regulatorischen Bedingungen windkraftfreundlicher werden (bspw. Flächenausscheidung in der Raumplanung für erneuerbare Energien oder Vereinfachung und Abkürzung der Instanzen der Gerichtbarkeit). – Die Entwicklungen bei der Kleinwindkraft (insbesondere Leistungsfähigkeit) werden verfolgt und bei Opportunitäten Pilotanwendungen evaluiert.			
		Symbolbild Windpark. Bild: www.umweltbundesamt.de			

Quellen: Windenergienutzung auf Arealen der SBB (ZHAW, 2014) und Experteninterview mit Peter Schwer, Basler & Hofmann AG (23.04.2021)

10.4.8. Kleinwasserkraft

Kleinwasserkraft		EE	CO ₂	neE	Potential:	☆☆☆☆☆
Kontakt: Marcel Reinhard, SBB Energie					Umsetzbarkeit:	☆☆☆☆☆
Beschreibung		Rahmenbedingungen & Einschränkungen				
Kleinwasserkraftwerke haben eine Leistung <10 MW und werden meistens durch Fliessgewässer gespeisen. Hierbei gibt es unterschiedliche technische Systeme zur Stromerzeugung. Im System BAHN ist die Kleinwasserkraft insbesondere im Zusammenhang mit der Nutzung von Dotierwasser aus den Grosswasserkraftwerken und Wasserabflüssen in Tunnelanlagen interessant. Die SBB betreibt aktuell 3 Kleinwasserkraftwerke.		– Die Konzessionen zur Turbinierung des Dotierwassers sind bei wenigen Potentialen vorhanden. – Bei Potentialen mit unklaren Rahmenbedingungen scheint es zweckmässig abzuwarten, bis anstehende Sanierungen abgeschlossen sind und sich die politischen Rahmenbedingungen gefestigt haben. – Bei den Kleinwasserkraftwerken ist im Einzelfall zu prüfen, wann im Jahresverlauf der Wasserabfluss – die Produktion – anfällt, da für die SBB und das System BAHN insbesondere Winterstrom interessant ist.				
Quantifizierung / Potential		Bild				
Bei der SBB sind die Potentiale zur Nutzung von Kleinwasserkraftwerke noch nicht ausgenutzt. Sowohl im Bereich bestehender Konzessionen der SBB wie auch im Bereich der Einzugsgebiete bestehender Konzession finden sich noch zu verifizierende Potentiale: – 5 GWh/a in bestehenden Konzessionen der SBB – 20 GWh/a im Einzugsgebiet bestehender Konzessionen Überdies sind diverse weitere grössere Potentiale identifiziert und müssen ebenfalls verifiziert werden.						
Nächste Schritte / Potentialerschliessung		Eine Wasserkraftschnecke in Hirschthal. Bild www.aargauerzeitung.ch				
– Starten von Vorprojekten für die erschliessbaren und wirtschaftlichen Kleinwasserkraftpotentiale. – Aktualisierung der Studie der Kleinwasserkraftwerke der SBB aus dem Jahre 2015 auf die aktuellen Konzessionen und regulatorischen Rahmenbedingungen.						

Quellen: Potenzialanalyse Kleinwasserkraft SBB, econcept (27.01.2015 und Experteninterview mit Stefan Wüthrich, SBB Energie (20.04.2021)

10.4.9. Grosswasserkraft

Die Grosswasserkraft im System BAHN beschränkt sich auf die Kraftwerke der SBB. Aufgrund von energiewirtschaftlichen Überlegungen für einen möglichst kostengünstigen Bahnstrom hat sich die SBB zur Bestandswahrung beschlossen und wird deshalb kein oder kaum weiteres Potential erschliessen⁹. Einzig der moderate Ausbau von bestehenden Anlagen ist denkbar, welcher jedoch nicht zwangsläufig zu einer höheren Stromproduktion führt, sondern eine saisonale Verschiebung der Produktion begünstigt.

Die Steigerung des Wirkungsgrades bestehender Kraftwerke kann als Erschliessung von zusätzlichem Potential verstanden werden. Das Potential bis 2050 beträgt 25 GWh/a und wird im Rahmen der kontinuierlichen Betriebsoptimierung und Instandhaltung erschlossen.

Öffnen des Bahnstromsystems zur Dekarbonisierung einer erweiterten Mobilität

Heutzutage ist regulatorisch geregelt, welche Bezüger und damit einhergehend Assets Bahnstrom beziehen dürfen. Die Vorgaben in der Regulation sind klar geregelt und definieren die Grenzen. Für eine zukünftige vollständige Dekarbonisierung könnte eine Öffnung der Bahnstromnetzes für weitere Mobilitätsdienstleister eine Option darstellen. Das bedeutet Strom aus dem Bahnstromsystem steht für die Elektromobilität auf der Strasse zur Verfügung. Denkbar wäre die Versorgung von bspw. Elektrobussen an Bahnhöfen, die Bereitstellung von Ladungen für Elektroautos oder der Betrieb eines Elektrolyseurs zur Produktion und zur Verfügungstellung von Wasserstoff für die Mobilität.

Eine verbesserte Nutzung von Synergien kann gesamtheitlich einen effizienteren, emissionsärmeren und günstigeren öffentlichen Verkehr ermöglichen. Weiterhin hat die Öffnung des Bahnstromsystem aus Sicht der Produktion der erneuerbaren Energien (insbesondere für die PV-Produktion) eine positive Lastverschiebung zur Folge.

⁹ Experteninterview mit Felix Schädelin, SBB Energie (15.04.2021)

10.5. Verwendete Emissionsfaktoren

Die Berechnung der Treibhausgasemissionen erfolgt auf Basis der Emissionsfaktoren, welche ebenfalls für die Treibhausgasbilanz der SBB verwendet werden. Die Treibhausgasbilanz basiert auf der Methodik des sogenannten Greenhousegas Protocols, verwendet werden die von der Firma treeze¹⁰ bereitgestellten Emissionsfaktoren in der untenstehenden Tabelle.

Tabelle 16: Emissionsfaktoren zur Berechnung der Treibhausgasbilanzen

	Bezugsgrösse	Direkte Emissionen [t CO ₂ equ] (Scope 1)	Kraftwerksemissionen [t CO ₂ equ] (Scope 2)	Indirekte Emissionen aus Bereitstellung Energieträger [t CO ₂ equ] (Scope 3, Kategorie 3)	Bemerkung
Energieträger					
<i>Fossile Energieträger</i>					
Diesel Traktion	GWh	272		55	
Diesel (Strasse)	GWh	273		53	
Benzin (Strasse)	GWh	277		72	
Heizöl	GWh	267		57	
Erdgas	GWh	202		51	
Butan/Propan	GWh	236		67	
<i>Erneuerbare Energieträger</i>					
Stückholz	GWh	4		8	
Pellets	GWh	2		25	
Holzschnitzel	GWh	3		11	
Biodiesel	GWh	16		213	
Biogas (Mix)	GWh	1		147	Biogasmix Schweiz: 47% Grüngut, 20% Landwirtschaft, 33% Klärschlamm
Wasserstoff (Mix)	GWh	0		67	Wasserstoffmix Schweiz: 15.14% PV-Strom dezentral, 13.43% Wasserkraftstrom dezentral, 71.43% Wasserkraftstrom zentral
Kältemittel (gemäss Kyoto-Protokoll)					
R134a	t	1300			
R407C	t	1624			
R410A	t	1924			
R420A	t	1382			
R22	t	1760			Im Kyoto Protokoll nicht vorhanden
R422D	t	2473			
Isoliergas					
SF6	t	23500			
Strombezug					
		Emissionen			
Bahnstrommix 16.7Hz	GWh	0.8196	5.093	90% Wasserkraft CH, 10% Kernenergie CH	
Haushaltstrommix 50Hz	GWh	0.9107	4.005	100% Wasserkraft CH	
Fernwärme					
Fernwärme, CH, Durchschnitt	GWh	66	40	Fernwärme, CH, Durchschnitt, KBOB: Heizöl: 2.9%, Erdgas: 26.8%, Holz: 13.6%, Wärmepumpe: 2.9%, KVA: 48.4%, Abwärme aus AKW: 9.7%, Abwärme aus Zementproduktion: 0.4%	

¹⁰ treeze (2019), Hintergrundbericht Emissionsfaktoren SBB AG, Luana Krebs & Rolf Frischknecht, Dezember 2019

10.6. Herleitung von einzelnen Energieeffizienzpotentialen

Für einige der Massnahmen sind hier weiterführend Berechnungen zum besseren Verständnis aufgeführt.

10.6.1. Massnahmen auf bestehendem Rollmaterial Personenverkehr

Potentialschätzung für Massnahmen Rollmaterial im Personenverkehr

Anteil Energiebedarf SBB-Fahrzeuge im 2019	1383 GWh/a
davon mit Fahrzeugen bis 2050 in Betrieb	700 GWh/a
davon mit Fahrzeugen bis 2050 ausgemustert	683 GWh/a
Anteil Energiebedarf andere EVU im 2019	387 GWh/a
davon mit Fahrzeugen bis 2050 in Betrieb	150 GWh/a
davon mit Fahrzeugen bis 2050 ausgemustert	150 GWh/a

Massnahmen	Einsparung	Quellen	Schätzung: Grad der Umsetzung	
			bei SBB	bei anderen EVU's
Schlumberbetrieb	5.8%	Reporting SBB: 80 GWh/a	100%	50%
Stromrichter	2.2%	Reporting SBB: 30 GWh/a	100%	100%
weitere bisherige Massnahmen	4.1%	Reporting SBB: 57 GWh/a	60%	40%
neue Massnahmen	3%		0%	0%
<i>Berechnung in GWh/a für Fahrzeuge, welche 2050 noch in Betrieb sind.</i>				
Schlumberbetrieb			0 GWh/a	4 GWh/a
Stromrichter			0 GWh/a	0 GWh/a
weitere bisherige Massnahmen			12 GWh/a	4 GWh/a
neue Massnahmen			21 GWh/a	5 GWh/a
Summe			33 GWh/a	13 GWh/a
Prozentualer Anteil			1.84%	

10.6.2. Ablösung bestehendes Rollmaterial Personenverkehr

Die Berechnung basiert auf der Annahme, dass neues Rollmaterial (welches in den nächsten 30 Jahren das bestehende Rollmaterial ablöst) dem energetischen Stand des heute aus Energiesicht besten Rollmaterials entspricht («best in class»-Ansatz).

Typ	Verkehrsleistung [Btkm]	Energie [Wh/Btkm]	Anteil	Ausmusterung bis 2050
RABe522_4/10	76 Mio. Btkm	40.1	2%	ja
RABe524_4/10	84 Mio. Btkm	27.1	3%	ja
RABe524_4/14	96 Mio. Btkm	27.2	3%	ja
RABe526_2/6	108 Mio. Btkm	36.7	4%	ja
RABe526_2/8	268 Mio. Btkm	36.7	9%	ja
RABe514_8/16	487 Mio. Btkm	31.1	16%	ja
RBD560	537 Mio. Btkm	42.6	18%	ja
RABe521_4/10	574 Mio. Btkm	36.3	19%	ja
Re450	808 Mio. Btkm	28.4	27%	ja
gewichteter Durchschnitt		34.1		
RABe511_8/24	85 Mio. Btkm	26.3	11%	nein
RABe511_8/24_HALL	711 Mio. Btkm	26.9	89%	nein
gewichteter Durchschnitt		26.8		
Effizienzsprung neues Rollmaterial			-27%	
Anteil obsoletes Rollmaterial			79%	
gewichtete Einsparung im RV mit neuem Rollmaterial			-21.5%	

Typ	Verkehrsleistung [Btkm]	Energie [Wh/Btkm]	Anteil	Ausmusterung bis 2050
Re420	285 Mio. Btkm	23.1	8%	ja
RABDe500_8/28	1263 Mio. Btkm	20.7	37%	ja
Re460	1824 Mio. Btkm	20.5	54%	zur Hälfte
gewichteter Durchschnitt		20.8		
Re460	1824 Mio. Btkm	20.5	53%	zur Hälfte
RABe511_8/24_HALL	322 Mio. Btkm	23.1	9%	nein
FV-Dosto, 6-teilig	480 Mio. Btkm	16.7	14%	nein
FV-Dosto, 4-teilig	507 Mio. Btkm	17.2	15%	nein
Giruno	290 Mio. Btkm	21.6	8%	nein
gewichteter Durchschnitt		19.8		
Effizienzsprung neues Rollmaterial			-5%	
Anteil obsoletes Rollmaterial			50%	
gewichtete Einsparung im FV mit neuem Rollmaterial			-2.5%	

Gewichtung gemäss effektiven Energiebedarf

	Anteil Energiebedarf	Einsparung
Energiebedarf RV	45.3%	-21.48%
Energiebedarf FV	54.6%	-2.53%
gewichtete Einsparung		-11.1%

10.6.3.Ablösung Rollmaterial Güterverkehr

Typ	Transportleistung [Btkm]	Energie [Wh/Btkm]	Anteil	obsolet bis 2050
Re484	270'421'643	13.8 Wh/Btkm	14%	nein
Re474	346'057'499	12.5 Wh/Btkm	18%	nein
Re482	493'862'484	14.1 Wh/Btkm	25%	nein
Re475	857'853'090	12.7 Wh/Btkm	44%	nein
gewichteter Durchschnitt		13.2 Wh/Btkm		
Typ	Transportleistung [Btkm]	Bedarf [Wh/Btkm]	Anteil	obsolet bis 2050
Re420	1'107'046'578	16.9 Wh/Btkm	47%	ja
Re620	1'174'712'338	15.6 Wh/Btkm	50%	ja
Re430	50'988'426	16.2 Wh/Btkm	2%	ja
gewichteter Durchschnitt		16.3 Wh/Btkm		
<u>SBB Cargo & SBB Cargo Int</u>				
Anteil obsoletes Rollmaterial				54%
Reduktion von neuem Rollmaterial ggü. obsoletem Rollmaterial				-23%
effektive Reduktion von SBB Cargo / SBB Cargo Int.				-12.7%
<u>System BAHN 2019</u>				
Gesamtenergiebedarf Güterverkehr				487
Energiebedarf SBB Cargo und SBB Cargo Int				314
Anteil SBB Cargo & SBB Cargo Int.				64%
Reduktion auf gesamten Güterverkehr				-8.2%
Heute werden Altbauloks v.a. im WLV mit kurzen Zügen eingesetzt, d.h. die Einsparung wird überschätzt.				
Reduktion vom Potential (Schätzung)				-25%
effektiv verwendetes Potential				-6.1%

10.6.4. Angebotsoptimierungen zur Erhöhung der Auslastung

Es gibt verschiedene Elemente in der Angebotsgestaltung, welche sich positiv auf die Energieeffizienz auswirken können. Die folgende Liste subsummiert die wichtigsten Potentiale, sie wurde zusammengestellt von Rémy Chrétien (Mandat BAV), Oliver Johner, Steffen Schranil und Marijana Schweingruber (alle SBB)

Stoss- richtung	Massnahme	Beschreibung	Wirkmechanismus	Beispiele	Wirkung über			Nutzbar für			
					Btkm	Vmax	V-Profil	FV	RV	GV	Infra
Planungsprioritäten	Reduktion planmässiger Halte im GV	Senkung der Halte um 50%	Reduktion von Brems-, Halte- und Beschleunigungsvorgängen	SBB Cargo	O					x	
	Reduktion ausserplanmässiger Halte im GV	Analyse der ausserplanmässigen Halte und Senkung ihrer Anzahl	Reduktion von Brems-, Halte- und Beschleunigungsvorgängen		O					x	
	Fliessbandsystem	regelmässige Zugabstände statt fester Taktfahrplan	bessere Verteilung der Reisenden, Reduktion schlecht ausgelasteter Züge		O			x	x	x	
	kapazitätsorientierte Angebotsplanung	Homogenisierung der Trassen durch Reduktion Produkte und Vereinheitlichung Haltemuster	Reduktion Anzahl Züge, Verflüssigung Fahrten		O			x	x	x	
	Flügelzugkonzept im FV	Trennung des Zugs in zwei Teile auf Strecken mit niedriger Kapazität	Deutliche Reduktion Luftwiderstand auf gemeinsam geführter Strecke.		O			x			
	Anpassung Planungsprioritäten	Verzicht auf Vorrang FV/RV vor GV	Reduktion von Haltevorgängen				O	x	x	x	
	Homogenisierung Geschwindigkeiten	vergleichbare Geschwindigkeiten FV/RV/GV auf gemeinsam genutzten Strecken	Reduktion von Brems-, Halte- und Beschleunigungsvorgängen				O	x	x	x	
	Vorrangstrecken für GV	Umkehrung der Prioritäten GV/FV/RV auf bestimmten Strecken	Reduktion von Brems-, Halte- und Beschleunigungsvorgängen				O			x	
	Homogenisierung V-Band	Ertüchtigung der Infrastruktur bei Stellen mit niedriger Geschwindigkeit	Reduktion von Brems-, Halte- und Beschleunigungsvorgängen				O				x
	Nutzung von Fahrzeitgewinnen auf Neubaustrecken	Nutzung der kürzeren Fahrzeit für Homogenisierung der Geschwindigkeiten im Mischverkehr	Reduktion von Brems-, Halte- und Beschleunigungsvorgängen, ev. Verkürzung Strecken				O	x	x	x	

Stoss- richtung	Massnahme	Beschreibung	Wirkmechanismus	Beispiele	Wirkung über			Nutzbar für			
					Btkm	Vmax	V-Profil	FV	RV	GV	Infra
Liniennetz	NVZ-Optimierung	Anpassung des systematischen FV-Angebots in Randstunden (Verzicht auf Parallellagen, Ausdünnen Taktfrequenz)	Reduktion Anzahl Züge	SBB in Mittelland / Ostschweiz ab Fahrplan 2018	O			x	x		
	Linienverdichtung in HVZ	zusätzliche Züge zwischen den Takten (< 30')	Einsatz kürzerer und damit leichterer Züge	Basel SBB - Grellingen, Basel SBB - Liestal, Luzern - Willisau	O				x		
	Kürzere Routen im FV	Anpassung der Routen wie z.B. Tangentialverbindungen (Umgehung des Knotens)	kürzere Strecken		O			x			
	"hub and Spoke"-System im FV	Aufgabe von Direktzügen, stattdessen Verbindungen zwischen Hubs, die von Zubringern bedient werden. Dadurch Reduktion von Zügen in Parallellagen.	Reduktion der Anzahl geführter Züge		O			x			
	Routenoptimierung GV	Wahl des kürzestmöglichen Laufwegs	Reduktion Streckenlänge		O					x	
	Verzicht auf neue RV-Halte	restriktive Planung neuer RV-Halte	Reduktion von Brems-, Halte- und Beschleunigungsvorgängen				O		x		
	Halt auf Verlangen	Keine fahrplanmässigen Halte bei geringer Nachfrage	Reduktion von Brems-, Halte- und Beschleunigungsvorgängen				O		x		
	Segmentierung Produkte im RV	Überprüfung Haltepolitik (z.B. Einführung von Express-S-Bahnen).	Reduktion von Brems-, Halte- und Beschleunigungsvorgängen				O		x		
Geschwindigkeitsprofile	Streckung von Kantenfahrzeiten	Nutzung freier FV-Trassen für tiefere Geschwindigkeiten und Verzicht auf Überholung	tiefere Geschwindigkeit	NBS, GBT, LBT, GBT für GV nachts		O		x		x	
	Reduktion von RADN-Geschwindigkeitseinbrüchen	Glättung der Fahrgeschwindigkeiten in den Streckentabellen	Reduktion von Brems- und Beschleunigungsvorgängen	einzelne Massnahmen SBB			O	x	x	x	
	Absenkung Vmax. im FV / RV	Anpassung des Knotensystems, so dass tiefere Reisegeschwindigkeiten möglich werden.	tiefere Geschwindigkeit			O		x	x		
	Verzicht auf Nutzung von NBS-Fahrzeitgewinnen	Kein Ausreizen der geschwindigkeit, wenn nicht für Einhaltung des Knotens notwendig.	tiefere Geschwindigkeit			O		x	x	x	
	Bewirtschaftung Trassenbündel GV	Ausdehnung der Fahrlagen auf benachbarte, nicht beanspruchte Trassen	tiefere Geschwindigkeit			O				x	
	Triebzugkonzepte GV	System von Treibköpfen mit Mittelwagen bzw. kompletten Treibzügen	Reduktion Verluste			O				x	

Stoss- richtung	Massnahme	Beschreibung	Wirkmechanismus	Beispiele	Wirkung über			Nutzbar für			
					Btkm	Vmax.	V-Profil	FV	RV	GV	Infra
Transportgefässersatz	Rollmaterialwechsel (RV-Züge auf FV-Trassen)	leichte RV-Züge in Randzeiten statt FV-Rollmaterial	geringere Masse	Ostschweiz (Turbo-GTW)	O			x			
	Optimierung Gefässgrössen FV/RV	Einsatz von auf die jeweilige Verwendung optimiertem Rollmaterial (z.B. Kurzzug, Stehplatzpolitik, Verzicht auf Sonderabteile)	geringeres Gewicht	einzelne Massnahmen SBB	O			x	x		
	Flexibles Stärken und Schwächen	Abdecken zeitversetzter Spitzen auf unterschiedlichen Linien mit denselben Verstärkermodule	geringere Masse bei "geschwächten" Zügen	Zentralbahn (S-Bahn-Verkehr vs. touristischer Verkehr)	O			x	x		
	Triebzeigeeinsatz im FV / RV	Triebzüge statt lokbespannte Züge	geringeres Gewicht		O			x	x		
	Triebzugkonzepte GV	Triebzüge mit kurzen Prozesszeiten (z.B. automatische Kupplung)	geringere Masse		O					x	
	Länge / Auslastung Güterzüge	Weniger, dafür besser ausgelastete Züge	Reduktion Tara-tkm		O						x
	Verkehrsträgerwechsel	Ersatz von Zügen durch Busse (z.B. in NVZ oder auf Linien mit schwacher Nachfrage)	geringere Masse		O			x	x		
	Abstimmung Loks auf Zuggewicht GV	Einsatz der Lok abhängig von zu befördernder Masse.	geringere Masse		O					x	
	Einsatz moderner Loks G	Vorzugsweiser Einsatz von Drehstromloks	geringerer Energieverbrauch bei gleicher Leistung								x
	Maximierung Zuglänge / Kapazität	Einsatz möglichst langer Züge / Züge mit möglichst grosser Kapazität, dafür Streichung von Entlastungszügen	weniger Züge		O			x			
	Reduktion Leerfahrten PV	Erhöhung der Fahrzeugmenge, damit Umläufe und Leerfahrten minimiert werden können	weniger Züge		O			x	x		
	Reduktion Leerfahrten GV	einheitlicherer Wagenpark, dadurch flexiblere Nutzung	geringeres Gewicht bzw. Wegfall von Fahrten		O					x	

Stoss- richtung	Massnahme	Beschreibung	Wirkmechanismus	Beispiele	Wirkung über			Nutzbar für			
					Btkm	Vmax.	V-Profil	FV	RV	GV	Infra
Gestaltung Infrastruktur	Modulbewertung AS 2030/35	Erweiterung NIBA um Energieeffizienz-Aspekte	optimierte Angebote	keine	O			x	x	x	x
	Eigene Strecken für GV	Bei Infrastrukturausbau eigene Strecken für GV in Betracht ziehen	Reduktion von Brems-, Halte- und Beschleunigungsvorgängen, ev. Verkürzung Strecken				O			x	x
Glättung Nachfragespitzen	Reduktion reiner HVZ-Verstärker	Umlenken der Kundenströme auf nachfrageschwache Zeiten	Reduktion der Anzahl geführter Züge		O			x	x		
	Reduktion von HVZ-Modulen im FV	Umlenken der Kundenströme auf nachfrageschwache Zeiten	Reduktion der Anzahl geführter Züge		O			x	x		

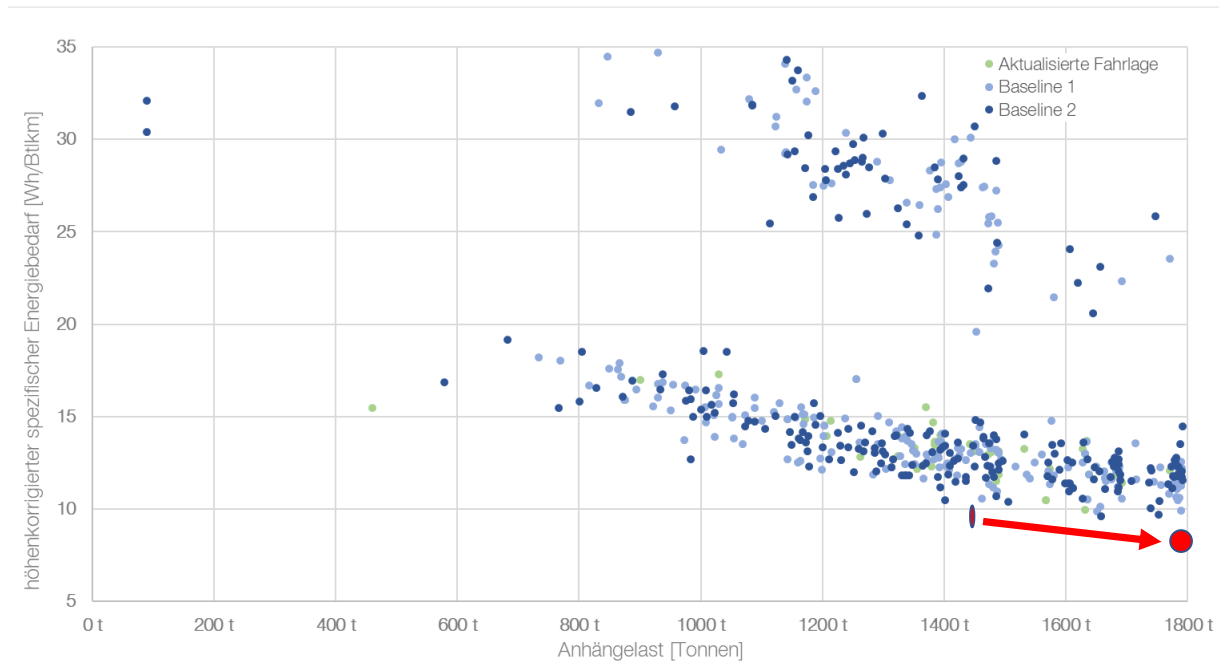
Quellen:

- Schlussbericht "Potenzialanalyse Energieeinsparung im Bereich Angebot", SMA / SBB, Projekt ES6V 2050 Nr. P-007
- Präsentation SBB "Energieeffizienz in der strategischen Angebotsplanung der SBB", S. Schranil, Mai 2017
- Massnahmenübersicht Teilprogramm Angebot, SBB / S. Schranil, Juni 2017

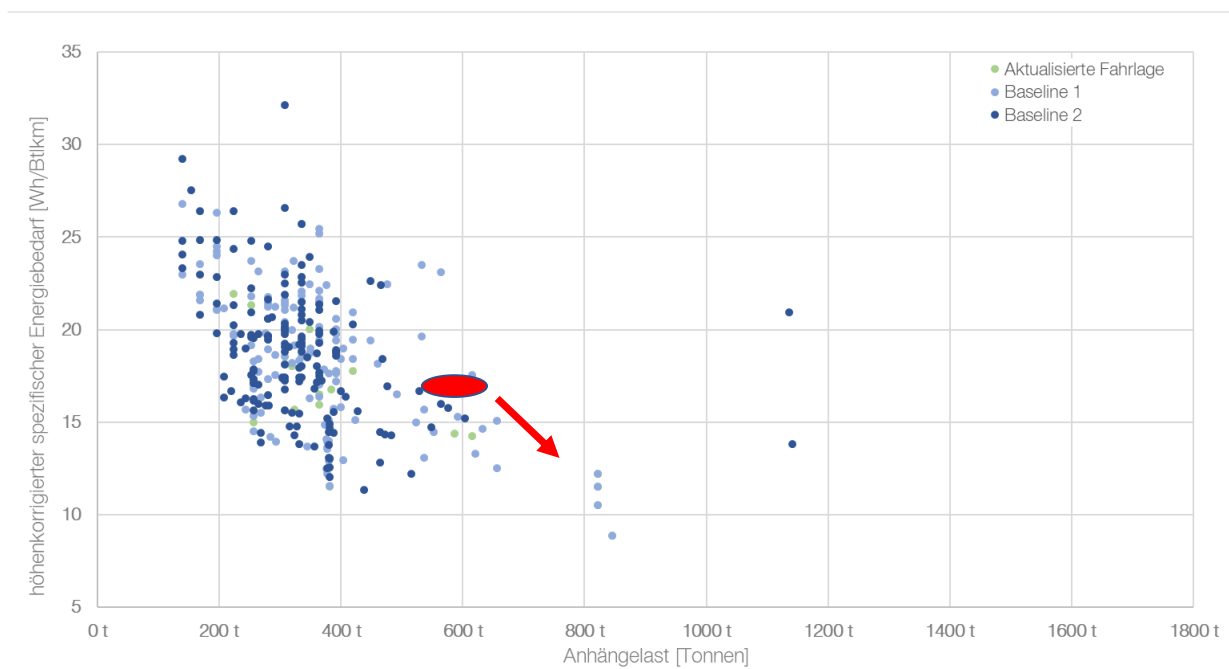
10.6.5. Lange Güterzüge mit noch weniger Stopps

Kategorie	Verkehrsleistung	Anteil	Einsparung
Transitverkehr	6'000'000'000 Btkm	60%	-8%
Binnenverkehr, Import und Export	4'000'000'000 Btkm	40%	-20%
	gewichtete Einsparung		-12.7%

Transitverkehr	heutiger Mittelwert	1367 t	13 Wh/Btkm	Reduktion
Zugfamilien 40000, 40001	Zukunft in 2050	1600 t	12 Wh/Btkm	-8%
		17%		



Postverkehr	heutiger Mittelwert	351 t	18.8 Wh/Btkm	Reduktion
Zugfamilien 50000, 50001	Zukunft in 2050	600 t	15 Wh/Btkm	-20%
		71%		



10.7. Beispiele zirkulärer Design-Anforderungen

Schwerpunkte/Strategie (Was soll erreicht werden?)	Design-Prinzipien (Wie kann es erreicht werden?)	Umsetzung (Wie kann es gemessen werden?)
Reduktion des gesamten Materialeinsatzes	✓ Simplex/funktionales Design ✓ Material- und energieeffizientes Produktionsverfahren ✓ Niedriger Einsatz von Verschleissteilen	• Einsatz nicht-funktionaler Bestandteile (ja/nein)? • Abfallmenge und graue Energie pro Produkt (oder ISO-Zertifizierung) • Anteil von Verschleissteilen am Produkt
Reduktion nicht-erneuerbarer Primärrohstoffe	✓ Einsatz rezyklierter Materialien (Sekundärrohstoffe) ✓ Einsatz (rasch) erneuerbarer Materialien ✓ Einsatz erneuerbarer Energien für die Produktion	• Anteil rezyklierter Materialien (Sekundärrohstoffe) • Anteil (rasch) erneuerbarer Materialien • Energiequelle zur Produktion/Leistungserbringung
Lebensdauer verlängern/optimieren	✓ Widerstandsfähig/langlebig (Design to last) ✓ Einfache Wartung und Reparierbarkeit (Design to repair) ✓ Regenerativ und modular (Design to refurbish and upgrade) ✓ Qualitativ hochwertig (Design to perform)	• Nutzungsdauer des Produkts • Ist das Produkt einfach zu warten/reparieren? • Ist das Produkt modular, optimierbar und erweiterbar? • Ist das Produkt qualitativ hochwertig?
Wieder-/Weiterverwendung/ Umnutzung des Produkts oder Komponenten	✓ Umnutzbarkeit, Modularität (Design to upgrade and transform) ✓ Kaskadeneinsatz, einfache Zerlegbarkeit (Design to reuse)	• Anteil modularer und wiederverwendbarer Materialien • Ist eine Second life-Nutzung möglich?
Rohstoffe zurückführen	✓ Trennbarkeit der Materialien ✓ Einsatz rezyklrierbarer Materialien ✓ Einsatz abbaubarer Materialien	• Kann das Produkt leicht in Einzelteile zerlegt werden? • Anteil trennbarer und rezyklrierbarer Materialien • Anteil trennbarer und abbaubarer Materialien
Geplante Reverslogistik	✓ Verfahren/Prozess ist definiert, um das Produkt oder die Materialien/Teile/Komponenten zurückzuführen	• Verfahren zur Rückführung des Produkts oder der Materialien/Komponenten ist vorhanden