

Energieeffizienz in der strategischen Angebotsplanung der SBB

Steffen Schranil, Zollikofen (CH); Natalia Anders, Bern (CH)

Die Schweizerischen Bundesbahnen (SBB) optimieren ihre Angebotsplanung für die strategischen Ausbauschritte 2025 und 2030/2035 auch nach Kriterien der Energieeffizienz. Ziel des Teilprogramms *Energieeffizientes Bahnangebot* ist, planerische Voraussetzungen für einen energieeffizienten Bahnverkehr im Sinne nachhaltiger Mobilität zu schaffen.

ENERGY EFFICIENCY AS PART OF THE STRATEGIC OPERATION PLANNING BY SBB

The Swiss federal railways (SBB) optimize their operation planning for the strategic expansion steps in 2025 and 2030/2035 also by taking into account the energy efficiency. The target of the subprogram *Energy-efficient Rail services* is to set up the planning fundamentals for an energy-efficient rail service in terms of a sustainable mobility.

L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE COMME PART DE LA PLANIFICATION OPTIMALE DE L'OFFRE STRATÉGIQUE DES CFF

Les Chemins de fer fédéraux suisses (CFF) optimisent leur planification de l'offre pour les étapes d'aménagement de 2025 et de 2030/2035 également selon des critères de l'efficacité énergétique. L'intention du sous-programme *Offre ferroviaire avec efficacité énergétique* est de créer les bases de planification pour un trafic ferroviaire efficace dans le sens d'une mobilité durable.

1 Einführung

Die SBB als integraler Bestandteil des öffentlichen Verkehrs in der Schweiz erfreuen sich eines stetig steigenden Verkehrsaufkommens. Insbesondere die Verkehre im Umfeld der Agglomerationen sind vor große betriebliche und technische Herausforderungen gestellt. Parallel dazu sind die SBB der Energiestrategie des Bundes verpflichtet und somit auf hohem Niveau zu steigender Energieeffizienz motiviert. Beide Handlungsstränge bestärken das integrierte Bahnunternehmen zu operativen wie strategischen Anstrengungen um Präzision und Perfektion zum Nutzen der Kundinnen und Kunden.

Das Teilprogramm *Energieeffizientes Bahnangebot* als Teil des SBB-Konzernprogramms *Energiesparen* (Bild 1) verfolgt das Ziel, planerische Voraussetzungen eines energieeffizienten Bahnverkehrs im Sinne nachhaltiger Mobilität zu definieren. Insgesamt sollen durch das Energiesparprogramm bis zum Jahr 2025 bezogen auf die Planungsreferenz aus 2012 jährlich 600 GWh Energie aller Energieträger und Energiebedarfsgruppen eingespart werden, was dem jährlichen Energiebedarf aller 150 000 Haushalte im Kanton Tessin entspricht.

Unter dem Begriff *Energieeffizientes Bahnangebot* im Teilprogramm *Angebot* werden all jene Planungen subsummiert, welche die Grundlage der operativen Bahnproduktion bilden. Das Umsetzen dieser

Planungen in das Tagesgeschäft wird in dieser frühen Planungsphase noch nicht thematisiert, ist aber sehr wohl Gegenstand der aus Energieeffizienzsicht angestrebten Optimierungen.

2 Stoßrichtungen im energieeffizienten Angebot

2.1 Identifikation der Stoßrichtungen

Zur Sicherstellung des Energiesparziels wurden im Dezember 2014 vier strategische Stoßrichtungen für das Teilprogramm *Angebot* von der SBB-Konzernleitung bestätigt [1]. Diese sind in einer interdivisionalen Expertenrunde erarbeitet worden und dienen fortan als Grundlage für die Vertiefungsarbeiten in den Divisionen Personenverkehr, Güterverkehr und Infrastruktur. Jene Stoßrichtungen haben den Anspruch und das Ziel, das System Bahn(-angebot) umfassend abzubilden. Die erwartete Energiesparwirkung der identifizierten Maßnahmen ist hierbei den vier Stoßrichtungen zugeordnet. Der kleinere Wert entspricht heute bereits konkretisierten Maßnahmen, der höhere Wert dem erwarteten Potenzial bei netzweiter Implementierung. Über niedrigere Energiekosten lohnt sich Energieeffizienz dabei jährlich wiederkehrend auch ökonomisch.

2.2 Energieoptimierte Planungsprioritäten: Stoßrichtung 1 mit Energiedelta von 9 bis 38 GWh/a

Die Reihenfolge, in der Verkehre unterschiedlicher Durchschnittsgeschwindigkeit geplant werden, hat Einfluss auf den Energiebedarf und die Nutzung der Streckenkapazität. So müssen für Güterzüge (Bild 2), die hinter Regionalzügen verkehren, bei gegebener Fahrplangeschwindigkeit fahrplanmäßige Halte vorgesehen werden. Mit Änderung der Netznutzungsverordnung bekommt der geplante anstatt des vertakteten Verkehrs Vorrang bei der Kapazitätsnutzung. Damit bestehen zukünftig neue Möglichkeiten, die Fahrplantrassen nach absteigender Durchschnittsgeschwindigkeit zu reihen und den Güterverkehr zwischen Fern- und Regionalverkehr zu beschleunigen.

2.3 Energieoptimiertes Liniennetz: Stoßrichtung 2 mit Energiedelta von 17 bis 68 GWh/a

Das Knotensystem im schweizerischen öffentlichen Verkehr bietet den Vorteil eines transparenten, gut merkbareren Bahnangebotes. Dies bringt jedoch den Nachteil mit sich, dass ein über den Tag homogenes Angebot außerhalb der Hauptverkehrszeiten (HVZ) gegenüber dem Bedarf zu Überkapazitäten neigt. Ansatzpunkte für Energieeinsparungen bestehen beispielsweise darin, in Nebenverkehrszeiten (NVZ) auf Parallelführungen von (Fernverkehrs-) Linien zu verzichten (Bild 3). Zentral ist hierbei die Wahrung der Reisekette, das heißt das Erreichen aller Zieldestinationen in quasi unveränderter Reisezeit. Darüber hinaus sollen Taktverdichtungen dichter als dem Halbstundentakt im Fernverkehr allenfalls in der HVZ eingeplant werden.

2.4 Energieoptimierte Geschwindigkeitsprofile: Stoßrichtung 3 mit Energiedelta von 15 bis 121 GWh/a

Häufige Beschleunigungs- und Bremsvorgänge erhöhen den Energiebedarf einer Fahrt maßgeblich. Energie kann gespart werden, wenn streckenbedingte Geschwindigkeitseinbrüche baulich reduziert und kurzzeitig erhöhte Streckengeschwindigkeiten betrieblich nicht ausgefahren werden. Wegen der mit der Geschwindigkeit quadratischen Zunahme des Luftwiderstandes spart die Reduktion hoher Geschwindigkeiten Energie (Bild 4). Dieser Effekt wird in Tunneln mit hohen Geschwindigkeiten zusätzlich verstärkt. Endkundenseitig bleibt das Angebot hierdurch unverändert.

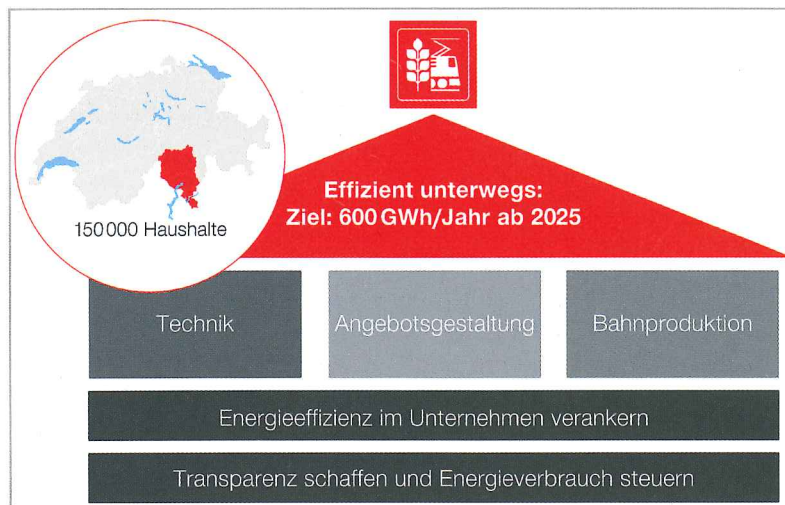


Bild 1: Eckpfeiler des TOP-Programms *Energiesparen* als Konzernprogramm (Grafik: SBB).



Bild 2: Stoßrichtung 1, Re 10/10 bei Durchfahrt in Solothurn: Schwere Güterzüge zur Überholung „auf die Seite zu stellen“, kostet wertvolle Streckenkapazität und Energie (Foto: Steffen Schranil, 15. Dezember 2015).



Bild 3: Stoßrichtung 2, 610 014 als EC 57 in Zürich HB: Parallelführungen des internationalen mit dem nationalen Personenfernverkehr sind eine Abwägung aus Betriebsstabilität und energetischem Mehrbedarf (Foto: Steffen Schranil, 17. März 2015).



Bild 4: Stoßrichtung 3, NBS Mattstetten – Rothrist bei Utzenstorf: So schnell fahren, wie zum Erreichen des nächsten Taktknötens nötig, nicht so schnell wie möglich; auf der „Bahn-2000-Strecke“ genügen 200 km/h (Foto: Steffen Schranil, 15. September 2013).

2.5 Energieoptimierter Transportgefäß-einsatz: Stoßrichtung 4 mit Energie-delta von 20 bis 104 GWh/a

Die im Tages-, Wochen- und Jahresgang stark schwankende Nachfrage stellt eine besondere Herausforderung an die Dimensionierung des Angebots. Optimal angepasste Transportgefäße reduzieren die Bruttotonnenkilometer, sparen Energie und reduzieren Verschleiß an Rollmaterial und Fahrbahn. Darüber hinaus bietet der Einsatz von energieeffizientem Rollmaterial (Bild 5) Energiesparpotenziale, beispielsweise auf Gefällestrecken mit starker Nutzung der Rekuperation.

Der Einfluss dieser vier Stoßrichtungen auf den Energiebedarf lässt sich fahrdynamisch wie folgt näherungsweise quantifizieren:

$$E = (E_{FW} + E_v + E_{HLK}) \cdot \frac{n_{Takt} \cdot n_{Betrieb} \cdot n_{Tag}}{5 \cdot 10^5}$$

$$\text{darin } E_{FW} = \begin{cases} \frac{1}{3.6 \cdot \eta_{Tr}} \cdot \Sigma F_w \cdot \Delta l & \text{für } \Sigma F_w \geq 0 \\ \frac{\eta_{Rek}}{3.6} \cdot \Sigma F_w \cdot \Delta l & \text{für } \Sigma F_w < 0 \end{cases}$$

$$\text{darin } E_v = \begin{cases} \frac{m_{Zug}}{2 \cdot \eta_{Tr}} \cdot \frac{1}{46656} \cdot \Delta (v^2) & \text{für } \Delta v \geq 0 \\ \frac{m_{Zug}}{2} \cdot \frac{\eta_{Rek}}{46656} \cdot \Delta (v^2) & \text{für } \Delta v < 0 \end{cases}$$

$$\text{darin } E_{HLK} = P_{HLK} \cdot t_{Fahrt}$$

Stoßrichtung 1 / **Stoßrichtung 2** / **Stoßrichtung 3** / **Stoßrichtung 4** (jeweils Hauptwirkung)

mit		
E	Energie für Fahrtenpaare im Jahresfahrplan	in GWh/a
E_{FW}	Energie zum Überwinden der Fahrwiderstände	in kWh
E_{HLK}	Energie zum Betrieb von Komfortbetrieben	in kWh
E_v	Energie zum Überwinden der Geschwindigkeitswechsel	in kWh
F_w	Fahrwiderstand	in kN
l	betrachtete Länge Streckenabschnitt	in km
v	Fahrgeschwindigkeit	in km/h
n_{Takt}	Anzahl Fahrten je Stunde und Richtung	in 1/h
$n_{Betrieb}$	Betriebsstunden je Tag	in h/d
n_{Tag}	Betriebstage je Jahr	in d/a
η_{Rek}	Rekuperationswirkungsgrad	–
η_{Tr}	Traktionswirkungsgrad	–
P_{HLK}	gemittelte Komfortbetriebeleistung	in kW
t_{Fahrt}	Fahrzeit	in h



Bild 5: Stoßrichtung 4, RegioDosto RABe 511.0 als IR 2573 Schaffhausen – Zürich HB auf der Rheinbrücke bei Eglisau: Züge mit hoher Sitzplatzanzahl beziehungsweise hoher Anhängelast und Triebfahrzeugen mit hoher Rekuperationsrate sind für ein energieeffizientes Angebot besonders attraktiv (Foto: Steffen Schranil, 24. August 2014).

Die vier Stoßrichtungen dienen im Ausbauschnitt 2025 zur Optimierung bestehender Planungen. Im Ausbauschnitt 2030/2035 werden sie als Designelemente in die Planungen einbezogen.

3 Herausforderungen der Angebotsoptimierung

3.1 Identifikation der Herausforderungen

Die Aspekte des energieeffizienten Bahnangebots haben einen langen Planungsvorlauf. Dies führt zu großem Potenzial der Energieeinsparung und zu großen Anstrengungen hinsichtlich der Umsetzung der Maßnahmen im fortschreitenden Planungsstand. Maßgebend für das Erreichen der Energieeffizienzziele im Angebot ist die Nachführung bestehender Planungen im Angebot bis 2025. Die Stoßrichtungen sind dazu mit zahlreichen Maßnahmen unterlegt und in Teilmaßnahmen aufgefächert. Dabei zeigen sich vier zentrale Herausforderungen, welche im Folgenden kurz erläutert werden.

3.2 Nachfrageschwankung im Tagesverlauf

So erfolgreich der öffentliche Verkehr der Schweiz dank integraler Vernetzung der Verkehrsmittel ist, die Auslastung ist über den Tag starken Unterschieden unterworfen. Während der HVZ zwischen 6 und 9 Uhr sowie zwischen 16 und 19 Uhr arbeitet der Personenverkehr an der Kapazitätsgrenze. In den NVZ zwischen 9 und 16 Uhr sowie zwischen 19 und 22 Uhr zeigt sich ein anderes Bild, ebenso in den übrigen Schwachverkehrszeiten. Besonders langlaufende Fernverkehrslinien stoßen bezüglich der Gefäßgrößenanpassung an praktische Grenzen mit den bekannten Konsequenzen für den Auslastungsgang im Tagesmittel.

3.3 Regionale Unterschiede im Nachfragewachstum

Für die nächsten Jahre ist im Personen- und Güterverkehr ein starkes Wachstum prognostiziert (Bild 6). Hierbei wachsen nicht alle Verkehrsarten und Relationen gleich stark und gleich schnell. Im Personenverkehr werden das „goldene Dreieck“ Basel – Bern – Zürich

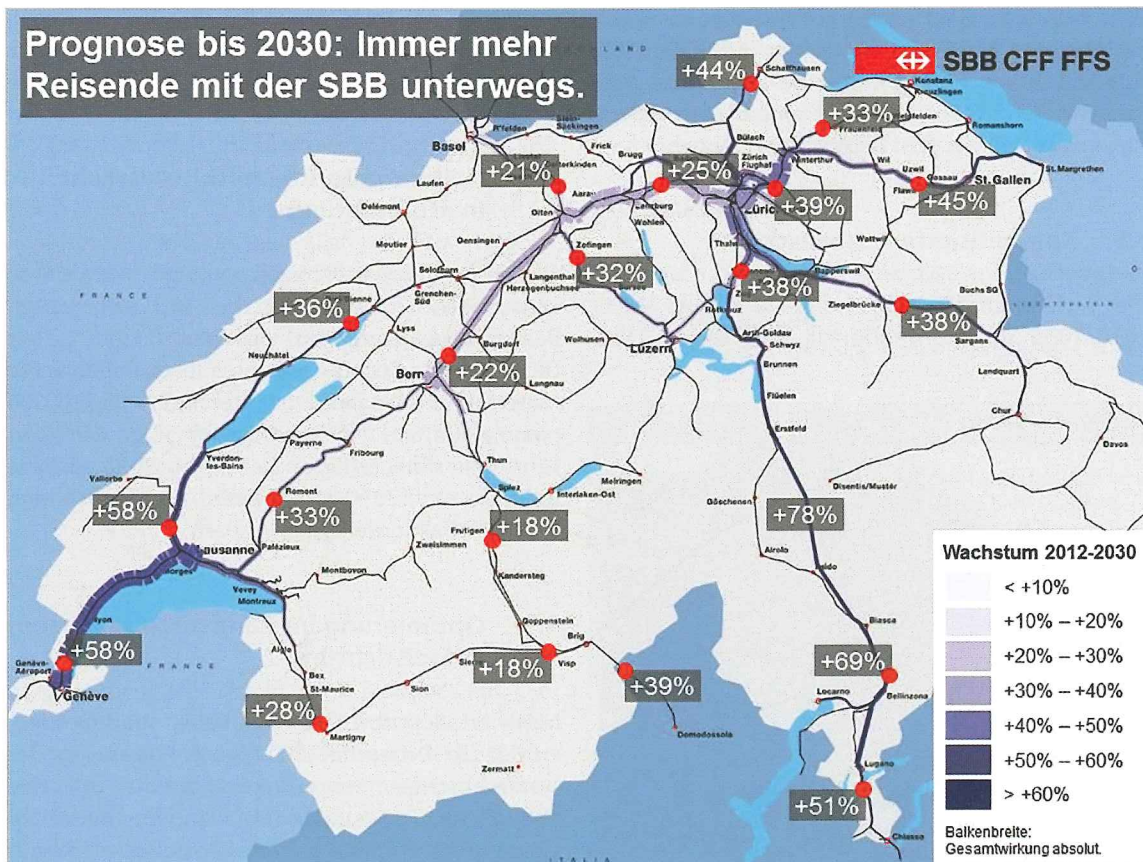


Bild 6: Prognostiziertes Verkehrswachstum 2012 bis 2030 im Schienenpersonenverkehr der SBB (Grafik: SBB).

mit Verlängerung nach Osten Zürich – Winterthur und Richtung Süden auf dem Abschnitt Bern – Thun sowie die Region am Lac Léman auf der Achse Genève – Lausanne, von hohen Fahrgastzahlen ausgehend, einem starken Wachstum unterliegen. Außerhalb der Agglomerationen findet das Wachstum in weitaus geringerem Ausmaß statt. Eine Ausnahme bildet die Gotthardachse seit der Eröffnung des Gotthard-Basistunnels (GBT): Das hier prognostizierte Wachstum der Fahrgastzahlen setzt bei vergleichsweise geringen Ausgangswerten an. Auf dieser Alpentransversale wird auch zukünftig ein Schwergewicht des Güterverkehrs liegen.

3.4 Planungshoheit

Mit der Annahme der Vorlage *Finanzierung und Ausbau der Bahninfrastruktur* (FABI) durch das Schweizerische Stimmvolk am 9. Februar 2014 entstand der *Bahninfrastrukturfonds* (BIF). Er finanziert Betrieb, Instandhaltung und Ausbau der Schweizerischen Bahninfrastruktur. An diesen ist das *Strategische Entwicklungsprogramm* (STEP) geknüpft, welches konkrete Infrastrukturausbauten sicherstellt. In einem ersten Ausbauschnitt ist wiederum der *Ausbau 2025* geknüpft. Aus ihm werden ab 2021 Jahresscheiben abgespalten und im Hochlauf auf das Zielkonzept 2025 betrieben. Die Planungshoheit hat in all diesen Aspekten das *Bundesamt für Verkehr* (BAV). Die SBB unterstützen als Auftragnehmer bei den Planungen, was wiederum Einfluss auf den Gestaltungsspielraum eigener Ansätze wie dem Teilprogramm Angebot hat.

3.5 Konkretisierte Ausbauschnitte

Die Ausbauschnitte 2025 und bisweilen auch 2030/2035 sind konzeptionell entschieden. Dies



Bild 7: Abendlicher Blick aus dem Güteraufstellgleis in Pollegio auf das Südportal des GBT (Foto: Steffen Schranil, 24. Juni 2016).

betrifft insbesondere den Ansatz des Integralen Taktfahrplans mit örtlich und zeitlich definierten Taktknoten. Der Ausbauschnitt 2025 liegt aktuell im Referenzkonzept mit Stand Dezember 2015 vor. Darin sind Linienverläufe und Fahrlagen des Fern-, Regional- und Güterverkehrs definiert. Abweichungen sind im Rahmen der fortschreitenden Planung über das Änderungsmanagement beim BAV zu prüfen.

4 Ausgewählte Maßnahmen für ein energieeffizientes Angebot

4.1 Abbildung der Stoßrichtungen in Maßnahmen

Mit den vorangegangenen Herausforderungen wird die Steigerung der Energieeffizienz im Angebot herausfordernd und spannend zugleich. Die vier Stoßrichtungen sind hierzu in 21 Maßnahmen und 47 Teilmaßnahmen aufgefächert. Die erhoffte Energieeinsparung im *Energieeffizienten Bahnangebot* liegt bei jährlich 80 bis 160 GWh im Zieljahr 2025. Erste Planungen in den Stoßrichtungen untermauern die Umsetzbarkeit dieses Anspruchs, wenngleich die heute geplanten Maßnahmen hierzu weiterentwickeln sind. Vier Beispielmaßnahmen mögen an dieser Stelle kurz vorgestellt werden.

4.2 Haltemonitoring im Güterverkehr in Stoßrichtung 1

Seit dem 1. Januar 2015 werden täglich alle Güterverkehrshalte auf dem Netz der SBB ausgewertet. Basierend auf Daten aus dem *Rail Control System* (RCS) wird zwischen geplanten und ungeplanten Halten unterschieden. Im Mittel finden täglich 800 planmäßige und 1 200 außerplanmäßige Güterverkehrshalte statt. Erklärtes Ziel ist, bis 2025 all diese Halte um rund 20 % zu reduzieren, was jährlich rund 9,0 GWh Traktionsenergie einspart.

4.3 Optimierung im Randstundenkonzept in Stoßrichtung 2

Motiviert aus der Thematik Bauen und Betrieb, erfolgt ab Dezember 2017 eine Anpassung des systematischen Fernverkehrsangebots in den abendlichen Randstunden. Die längeren Bauzeiten steigern die Effizienz bei der Baustellenorganisation, senken Produktionskosten und den Energiebedarf. In den Regionen Mittelland und Ostschweiz wird mit einer Energieeinsparung von jährlich 9,0 GWh gerechnet.

4.4 Geschwindigkeits-Nachtabsenkung beim GBT-Güterverkehr in Stoßrichtung 3

Tagsüber sieht das Betriebsprogramm im Gotthard-Basistunnel (GBT) vor, dass vor und nach dem Tunnelbauwerk Überholungen des Güterverkehrs durch die halbstündlich verkehrenden Fernverkehrszüge stattfinden (Bild 7). Wenn letztere nachts nicht verkehren, können die Güterverkehrshalte entfallen. Die somit eingesparte Fahrzeit soll verwendet werden, um im GBT mit 80 km/h statt 100 km/h zu verkehren. In den wöchentlich drei Instandhaltungsnächten, bei kurzfristig angeordneten weiteren Instandhaltungsmaßnahmen im Rahmen der Joker-Intervalle oder bei kritischer Verspätungslage bleibt die höhere Geschwindigkeit bestehen. Jährlich wird eine Energieeinsparung von 7,9 GWh erwartet.



Bild 8: Rollmaterial der Zentralbahn beim Wenden in Luzern (Foto: Steffen Schranil, 24. August 2016).

4.5 Flexibles Stärken und Schwächen bei der Zentralbahn in Stoßrichtung 4

Die SBB-Tochter *Zentralbahn* (Bild 8) verbindet in Meterspur die touristischen Zentren Luzern, Engelberg und Interlaken Ost. Gleichzeitig erbringt sie S-Bahn-Leistungen in den Zentren von Luzern und Interlaken. Freizeitgäste und Pendler weisen unterschiedliche Nachfragegänge auf. Seit dem Fahrplanwechsel im Dezember 2013 werden vier ABeh 160 (*FINK*) in der HVZ auf der S44 und S55 eingesetzt. In der Saison von Mai bis Oktober verkehren dieselben Fahrzeuge von 8 bis 17 Uhr als Verstärkermodule im *Luzern-Interlaken-Express* und spätabends bei den letzten Verbindungen als *Luzern-Engelberg Express*. Mit der aktuellen Ablösung der alten S-Bahn-Module durch fünf neue ABeh 161 (*FINK*) mit vollautomatischer Kupplung können seit Fahrplanwechsel im Dezember 2016 auch die S4 und S5 durch Stärken oder Schwächen flexibel der Nachfrage angepasst werden. Dies reduziert den Fahrzeugbedarf, spart Energie und Produktionskosten. Mit diesem innovativen Fahrzeugeinsatz setzt die meterspurige Zentralbahn neue Maßstäbe in der schweizerischen Bahnwelt mit einem Gegenwert von zunächst 2,3 GWh/a.

5 Synthese

Energieeffizienz zahlt sich für die SBB doppelt aus. Die Energieeffizienzmaßnahmen reduzieren über sinkende Energiekosten den Betriebsaufwand der SBB und es resultieren Beiträge zur *Energiestrategie im Öffentlichen Verkehr* (ESÖV 2050) des Bundes sowie zur eigenen Energiestrategie. Mit dem Konzernprogramm *Energiesparen* haben die SBB bezüglich der erwarteten Energiesparwirkung das umfangreichste Energiesparprogramm der Schweiz aufgestellt. Die Optimierung des Bahnangebots bleibt mittel- und langfristig

eine anspruchsvolle Aufgabe. In interdivisionaler Zusammenarbeit wurden hierzu vier Stoßrichtungen erarbeitet und von der Konzernleitung bestätigt. Die Umsetzung der Stoßrichtungen in den Maßnahmen leisten die Planungsbereiche der Divisionen Personenverkehr, Güterverkehr und Infrastruktur in engem Austausch mit dem Energiesparprogramm. Die SBB als Betreiberin des weltweit am höchsten ausgelasteten Mischverkehrs-Vollbahnnetzes gestalten damit eine energieeffiziente Mobilitätszukunft.

Literatur

- [1] Schranil, S.; Anders, N.: Energieeffizienz in der strategischen Angebotsplanung der Schweizerischen Bundesbahnen (SBB). Eröffnungsvortrag zum IZBE/VDE-Symposium Elektrische Fahrzeugantriebe und Ausrüstungen, Dresden, 2016.

AUTORENDATEN



Dr. Steffen Schranil (32), Studium Verkehrsingenieurwesen in Vertiefung Planung und Betrieb elektrischer Verkehrssysteme an der TU Dresden; Doktorat im Bereich Bahnbetriebsforschung an der ETH Zürich; aktuelle Themenschwerpunkte: Bahnenergieversorgung, elektrische Schienenfahrzeuge, Systemfragen elektrischer Bahnen; seit 2013 Fachkader bei SBB Energiemanagement.

Adresse: SBB Energiemanagement,
Industriestr. 1, 3052 Zollikofen, Schweiz;
Fon: +41 79 172 39 68; E-Mail: steffen.schranil@sbb.ch



Natalia Anders (41), Studium Geographie und Verkehrswesen an der Ruhr-Universität Bochum; seit 2014 Angebotsplanerin bei SBB; Themenschwerpunkt: Angebotsmaßnahmen im Rahmen des TOP Programms Energiesparen.

Adresse: SBB Personenverkehr Angebotsplanung National,
Wylenstr. 123, 3000 Bern 65, Schweiz;
Fon: +41 79 296 69 09; E-Mail: natalia.anders@sbb.ch