

Energieeffizienz in der Bahnproduktion

Die mit der steigenden Nachfrage einhergehende wachsende Verkehrsleistung stellt die Schweizerischen Bundesbahnen SBB vor grosse Herausforderungen. Ziel der aktuellen wie zukünftigen Weiterentwicklungen ist ein hochpräziser, pünktlicher und somit energieeffizienter Bahnbetrieb. Durch den zunehmenden Automatisierungsgrad der Bahnproduktion werden die verfügbaren Ressourcen zum Nutzen der Kundinnen und Kunden optimal eingesetzt.

1. EINFÜHRUNG

Die Schweizerischen Bundesbahnen SBB als integraler Bestandteil des öffentlichen Verkehrs in der Schweiz erfreuen sich eines stetig steigenden Verkehrsaufkommens und erbringen ihre Verkehrsleistung auf einem hoch ausgelasteten Bahnnetz im Mischverkehr. Neue Infrastrukturen können den bis 2030 gegenüber heute prognostizierten Mehrverkehr von 30% nur zu einem kleinen Teil bewältigen. Der Grossteil des erwarteten Mehrverkehrs muss daher auf den heute bestehenden Anlagen mit einer nochmals leistungsfähigeren Bahnproduktion bewerkstelligt werden.

Parallel dazu ist die SBB der Energiestrategie des Bundes verpflichtet und somit auf hohem Niveau zu steigender Energieeffizienz motiviert. Beide Handlungsstränge bestärken das integrierte Bahnunternehmen zu strategischen wie operativen Anstrengungen, um Präzision und Perfektion in der Bahnproduktion zum Nutzen der Kundinnen und Kunden weiter zu steigern.

Bahnproduktion ist in diesem Verständnis die Summe aller dispositiven und operativen Tätigkeiten im Bahnsystem zur Steuerung und Durchführung der Zugfahrten. Die an sich höchst erfreuliche hohe Netzauslastung wird mit der steigenden Anzahl von Zügen zu einer grossen Herausforderung: Bereits kleinste Abweichungen im Regelbetrieb ziehen grosse Auswirkungen im zeitlichen wie im räumlichen Perimeter nach sich. Die Durchgängigkeit der zugrundeliegenden Prozesse und deren Automatisierung werden zu einem kritischen Erfolgsfaktor. Beherrscht der Mensch als Anwender die Vielzahl unterstützender Systeme auf der Betriebszentrale und dem Fahrzeug? Wie

kann er unterstützt werden? Wie evaluiert der Disponent eine gute Lösung und was sind Kriterien dafür?

Etliche von der SBB unterstützte Forschungsbeiträge widmeten sich bereits Aspekten der kapazitätsoptimalen und energieeffizienten Bahnproduktion. Weitere anwendungsnahe Forschungsarbeiten und Beiträge zu teilautomatisierten Rechenalgorithmen sind aktuell in Bearbeitung. Langfristiges Ziel stellt daher das Aufzeigen entsprechender konkreter

Entwicklungsperspektiven dar. Nachstehend werden vor diesem Hintergrund

die wichtigsten Handlungsfelder für eine präzise und energieeffiziente Bahnproduktion dargelegt.

2. STOSSRICHTUNGEN EINER ENERGIEEFFIZIENTEN BAHNPRODUKTION

Die Bahnproduktion als operatives Kerngeschäft von SBB Infrastruktur hat bei gegebenem Fahrplan wesentlichen Einfluss auf den Energiebedarf im komplexen System Bahn. Gleichzeitig sind im Hinblick auf die energieeffiziente Kapazitätsnutzung in den nächsten Jahren drei Megatrends von massgebender Bedeutung für die Bahnproduktion:

→ Intensivierung der Netznutzung.

Die Anzahl der Zugfahrten je Gleis wird weiter zunehmen. Daraus resultierend wird der Mischverkehr aus Personenf-, Personennah- und Güterverkehr zunehmend zur Herausforderung einer kapazitätsoptimierten energieeffizienten Produktion.

→ Zentralisierung aller örtlichen Bedienungen.

Heute werden vornehmlich auf Nebenli-



Dr. Steffen Schranil
Fachkader Energieeffizienz
SBB Energiemanagement
steffen.schranil@sbb.ch



Dr. Peter Grossenbacher
Projektleiter Entwicklung und
Steuerung Bahnproduktion
SBB Infrastruktur Betrieb
peter.groba.grossenbacher@sbb.ch

nien noch rund fünfzig Bahnhöfe örtlich bedient. Durch deren Automatisierung wird die gesamte Bahnproduktion zentralisiert und aus den vier Betriebszentralen (BZ) kapazitätsmaximal und energie-minimal gesteuert.

→ Automatisierung der Bahnproduktion.

Vom Regelbetrieb ausgehend werden geplanter und gestörter Betrieb zunehmend rechnergestützt geführt. Energieeffizienz kann zukünftig ein Entscheidungskriterium sein. Der Bediener befasst sich insbesondere mit der Auswahl von komplexen Dispositionsalternativen, welche vorgängig automatisiert aufbereitet und nachfolgend automatisiert umgesetzt werden.

Diese Megatrends bestimmen massgebend die weiterführenden Überlegungen. In ihrem Zusammenschluss resultiert ein strukturiertes Zielbild (Bild 1), gestaffelt nach Handlungsfeldern, heutiger und zukünftiger Bahnproduktion sowie ergänzt um heute absehbare weitere Synergiepotenziale.

Aus dem Zusammenspiel endlicher Streckenkapazität und deren (energie-) optimaler Nutzung ergibt sich im Kontext

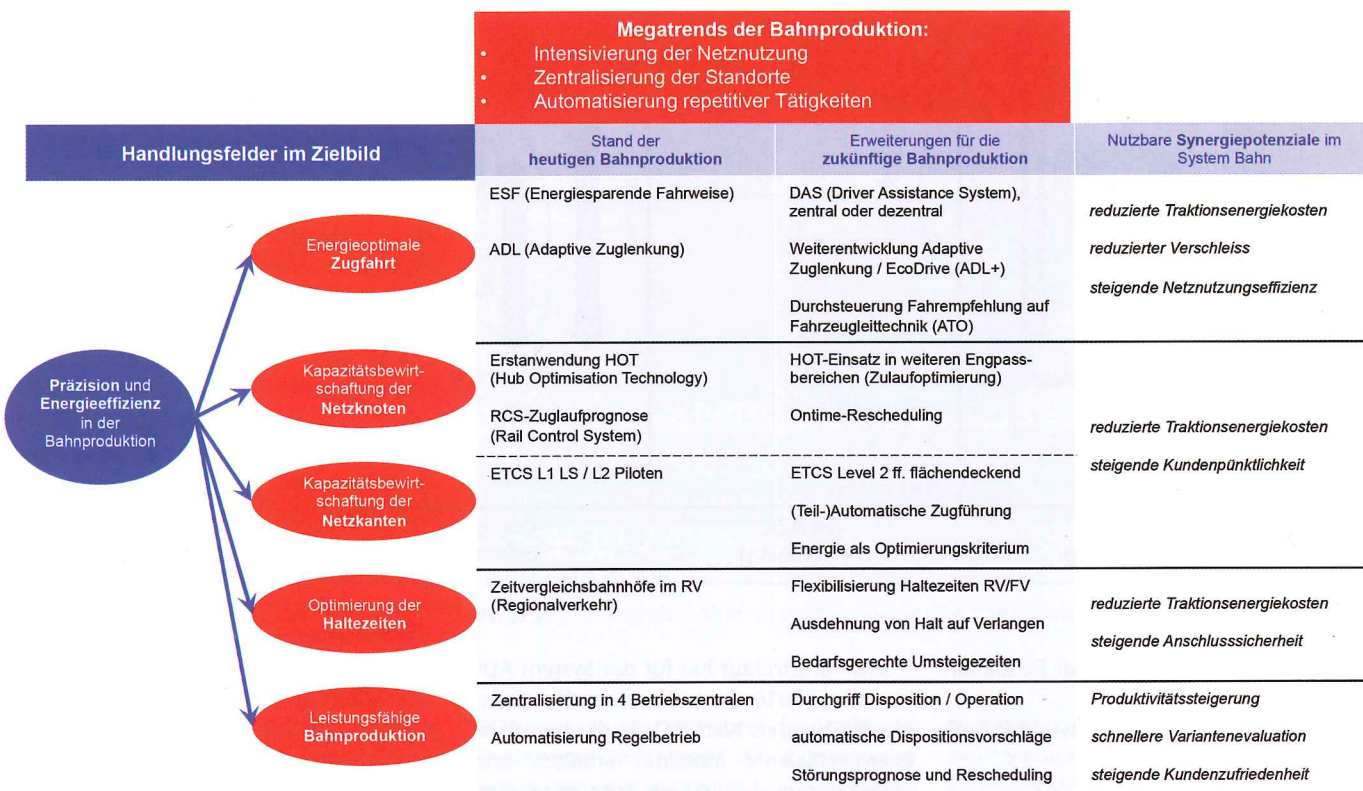


BILD 1: Zielbild mit Handlungsfeldern als Stossrichtungen der energieeffizienten Bahnproduktion

(Grafik: Autoren)

der Megatrends eine Menge von Themenstellungen. Analytische Gemeinsamkeit ist hierbei die Streuung des Energiebedarfs vergleichbarer Fahrten auf dem Netz nebst Ansätzen zu ihrer detaillierten Quantifizierung und Reduktion dieser Streuung. Da es für eine gegebene Fahrzeit zwischen zwei Halten exakt eine energieminimale Fahrtrajektorie als optimiertes Fahrprofil gibt, ermöglichen Systeme für eine (teil-)automatisierte hochpräzise Bahnproduktion einen Beitrag zur Steigerung der Energieeffizienz.

Die energieeffiziente Zugfahrt (Handlungsfeld 1) setzt auf Schulung und technische Unterstützung des Triebfahrzeugführers bei der Findung der energieeffizienten Fahrtrajektorie. Die heutige Adaptive Zuglenkung (ADL) ist ein Schritt dazu. Künftig wird die Rolle von Fahrassistenzsystemen (DAS) gestärkt, indem zentrale Informationen des Infrastrukturbetreibers zur Betriebslage und dezentrale Informationen zum Fahrzustand des Fahrzeugs verknüpft werden können.

Die Kapazitätsbewirtschaftung von Netzknoten (Handlungsfeld 2) stellt einen weiteren Schritt auf dem Weg zur energieeffizienten Bahnproduktion dar. Aus einzelnen Konfliktoptimierungen von Zugfahrten heraus wird der Zulauf zu Netzknoten als System optimiert. Dieser Ansatz maximiert die Kapazitätsausnutzung und kann schrittweise auf die Knotenzuläuferstrecken ausgedehnt werden. Die Netzkanten (Strecken) dienen

vorerst als Entspannungsräume. Deren Optimierung ist als weitere Stossrichtung bereits das dritte Handlungsfeld. Hierzu werden hochpräzise Informationen zu Ort und Geschwindigkeit der Zugfahrten benötigt, um einen relevanten Optimierungsbeitrag in genügender Granularität generieren zu können. Gleichzeitig steigen die Anforderungen hinsichtlich Sicherheit und Verfügbarkeit bei der Informationsübermittlung der optimierten Fahrtrajektorie zum einzelnen Zug nebst der Unterstützung zur Umsetzung dieser Informationen.

Ein weiteres Energiesparpotenzial besteht in der Optimierung der Haltezeiten im Personenverkehr (Handlungsfeld 4). Hierbei werden vor allem ausserhalb der Hauptverkehrszeit zum Fahrgastwechsel überschüssige Haltezeiten in zusätzliche Fahrzeiten mit Potenzial zur Geschwindigkeits- und Energiebedarfsreduktion umgesetzt. Der frühere Ansatz der Zeitvergleichsbahnhöfe¹⁾ im Regionalverkehr der S-Bahn Zürich stellt auf Unterwegshalten ohne Anschlussbeziehungen einen ersten Schritt in diese Richtung dar.

1) Zeitvergleichsbahnhöfe verfügen im publizierten und im innerbetrieblichen Fahrplan über dieselben Abfahrtsminuten. Ausserhalb der Zeitvergleichsbahnhöfe weisen die innerbetrieblichen Fahrpläne keine explizite Abfahrtsminute auf, die publizierten Fahrpläne zeigen hier eine gegenüber dem realen Betriebsablauf leicht frühere Abfahrt. Dies dient der Betriebsstabilität und somit der fahrplanerischen Sicherung von Anschlüssen.

Eine zentrale Voraussetzung für eine kapazitätsmaximale und energieminimale Bahnproduktion ist die Steigerung ihrer Leistungsfähigkeit (Handlungsfeld 5). Die aus Rationalisierungsgesichtspunkten motivierte Zentralisierung der Standorte ermöglicht hierzu kurze Entscheidungswege und eine gestraffte Neuausrichtung des Dreiecks Mensch – Technik – Organisation. Zentral nebst dem Einsatz neuer Technologien für die weitere Automatisierung ist hierzu abermals die Durchgängigkeit der Zuständigkeiten und Prozesse entlang der gesamten Wertschöpfungskette.

Mit diesen fünf Stossrichtungen sind die grundlegenden Voraussetzungen einer energieeffizienten Bahnproduktion geschaffen. Erste Ansätze dazu sind bereits heute erlebbar und werden nachfolgend vorgestellt.

3. ADL ALS INSTRUMENT EINER ENERGIEEFFIZIENTEN BAHNPRODUKTION

Die Adaptive Zuglenkung (ADL) als System zur energieminimalen und kapazitätsmaximalen Bahnproduktion ist ein zentrales Instrument der heutigen SBB Bahnbetriebsführung. Sie arbeitet mit der elektronischen Ausgabe einer jeweils optimierten Geschwindigkeitsempfehlung an den Triebfahrzeugführer und verfügt über zwei zentrale Funktionalitäten:

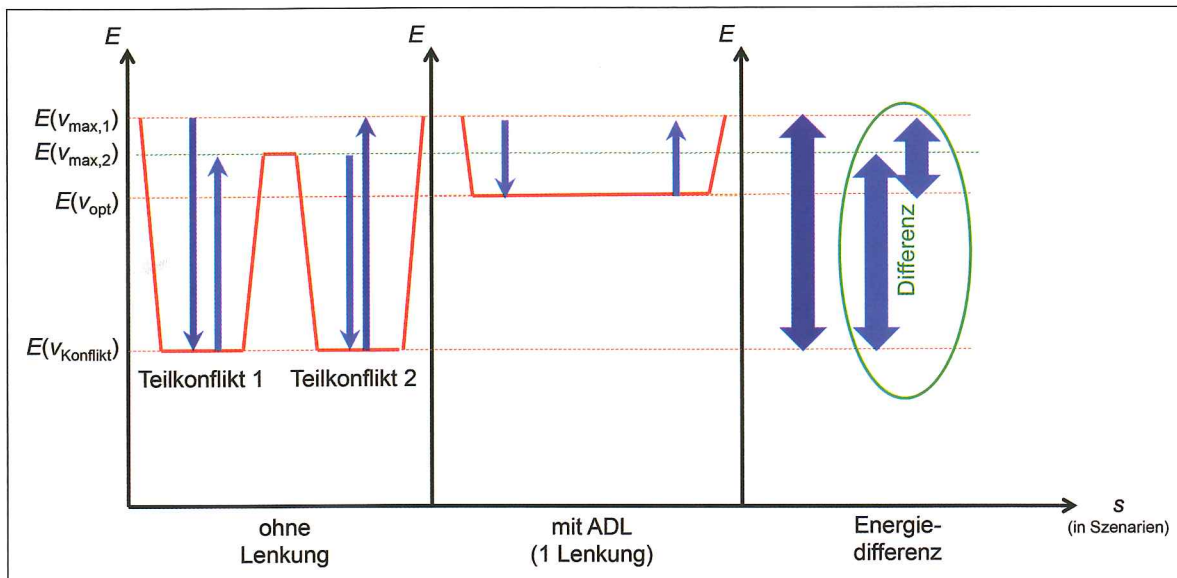


BILD 2: Energieniveau zweier Teilkonflikte ohne Lenkung, mit Lenkung und als Energiedifferenz (Grafik: Autoren)

- ADL Konfliktoptimierung zur Reduktion von Signalbeeinflussungen
- ADL EcoDrive zur Reduktion von Vorzeitigkeit

Die ADL Konfliktoptimierung gibt an den Triebfahrzeugführer eine Fahrempfehlung ab, welche durch vorherige Geschwindigkeitsabsenkung das tiefere Abbremsen durch Signalbeeinflussung bis hin zum Signalhalt verhindert. Daraufhin entfallen Bremsen und Wiederbeschleunigen weitgehend, was die Streckenkapazität schont und Energie spart. Demgegenüber baut ADL EcoDrive entstandene Vorzeitigkeiten in der Bahnproduktion ab und übersetzt sie in tiefere und energieoptimierte Geschwindigkeitsprofile. Dies bewirkt am Zielort Pünktlichkeit mit reduziertem Energiebedarf. Beide Formen der ADL-Fahrempfehlung werden dem Triebfahrzeugführer über das mobile Endgerät LEA (Lokpersonal Elektronischer Assistent) ausgegeben und sind über mitgesandte Piktogramme unterscheidbar. Dies ist wichtig, da eine Nichtbeachtung der Konfliktoptimierung zu einer Signalbeeinflussung führt, während eine Nichtbeachtung des ADL EcoDrive durch weitere Verfrüherung sichtbar wird.

SBB Infrastruktur hat für das System ADL im Januar 2016 den schweizerischen Energieeffizienzpreis Watt d'Or in der Kategorie Energieeffiziente Mobilität erhalten und wurde seitens der Jury wie folgt gewürdigt: „Die Jury würdigt das innovative und weltweit einzigartige ADL-System der SBB. [...] Die Eigenentwicklung, die bereichsübergreifend und mit viel Elan vom Lokpersonal bis zum IT-Experten der SBB durchgeführt wurde, beweist einen Innovationsgeist und eine Aufgeschlossenheit, die von einem über 100-jährigen Staatsbetrieb nicht unbedingt erwartet wird. Mit Projekten wie der grünen Welle [...] gelingt es der SBB, ihre Verantwortung für die Energiezukunft wahrzunehmen und den Bahnreisenden gleichzeitig die technische und logistische Komplexität des Bahnverkehrs näher zu bringen.“

Die Energiewirkung von ADL wird mit maximal 72 GWh/a erwartet, was rund 3 % des gesamten Traktionsenergiebedarfs entspricht. Zum Wirkungsnachweis dieser Energieeinsparung wird jede einzelne Zuglenkung fahrdynamisch berechnet. Herausforderung dabei ist, dass die Energieeinsparung gegenüber der un gelenkten Fahrt erfolgt, welche bei erfolgreicher Zuglenkung jedoch nicht mehr unmittelbar be-

obachtbar ist. Für die geschlossene Lösung stehen die Anzahl der durch die Lenkung gelösten (Teil-)Konflikte, die optimierte Geschwindigkeit der Zuglenkung, Konflikt- und Maximalgeschwindigkeit vor Ort, Zugmasse und Verkehrsart zur Verfügung. Methodisch wird zwischen ADL-Konfliktoptimierung mit dominantem Effekt der Wiederbeschleunigung ohne Lenkung und ADL-EcoDrive mit dominantem Effekt der höheren Fahrwiderstände ohne Lenkung unterschieden.

Bild 2 zeigt die Energieniveaus einer ADL-Konfliktlenkung mit vereinfachtem Triebfahrzeugführermodell in Form nicht ausgefahrener Maximalgeschwindigkeit $v_{max,2}$ beginnend mit dem zweiten Teilkonflikt durch Antizipation der Betriebslage. Zur Verdeutlichung der Energiewirkung einer ADL-Konfliktlenkung mit einem und zwei Teilkonflikten soll das folgende Szenario dienen: Aus einer Geschwindigkeit von $v_{max,1} = 100$ km/h wäre ohne Lenkung auf eine Konfliktgeschwindigkeit $v_{Konflikt} = 40$ km/h zu bremsen und anschliessend wieder auf $v_{max,1} = 100$ km/h zu beschleunigen. Die optimierte Geschwindigkeit mit ADL ist hier mit $v_{opt} = 80$ km/h gegeben. Die Energiedifferenz zwischen der Fahrprognose ohne Lenkung und der erfolgreichen Zuglenkung kennzeichnet die zu berechnende Energiesparwirkung der ADL-Empfehlung. Die gewählte Zugmasse möge im Fernverkehr 578 t (IC 2000 mit 10 Wagen inklusive Bordrestaurant und 33 % Auslastung), im Regionalverkehr 124 t (RABe 521 mit 33 % Auslastung) und im Güterverkehr 1094 t (durchschnittliche Anhängelast von 894 t zzgl. 200 t Lokomotivmasse Re 10/10) betragen. Der Bahnenergiepreis wird entsprechend dem Wert aus dem Jahre 2015 mit 0,11 CHF/kWh angesetzt. In diesem Szenario stellt sich die ADL-Wirkung gemäss Tabelle 1 dar.

TABELLE 1: Energetische und finanzielle Lenkungswirkung im Szenario (Darstellung der Autoren)

Verkehrsart	Fernverkehr	Regionalverkehr	Güterverkehr
Fahrzeugtyp	Re 460 mit IC 2000	RABe 521 (FLIRT)	Re 10/10 mit 894 t
Tonnage	578 t	124 t	1094 t
zulässige Geschwindigkeit	100 km/h	100 km/h	100 km/h
Konfliktgeschwindigkeit	40 km/h	40 km/h	40 km/h
optimierte Geschwindigkeit	80 km/h	80 km/h	80 km/h
Ersparnis für 1 Teilkonflikt	19 kWh (2 CHF)	2 kWh (<1 CHF)	64 kWh (7 CHF)
Ersparnis für 2 Teilkonflikte	47 kWh (5 CHF)	5 kWh (1 CHF)	164 kWh (18 CHF)

Die Quantifizierung im Szenario offenbart die Wirkung einer Zuglenkung im Konfliktfall: Einerseits steigt die durch ADL-Konfliktlenkung gesparte Energie mit zunehmender Tonnage. Andererseits wirkt das bei zwei Teilkonflikten resultierende alternierende Geschwindigkeitsprofil sehr stark auf den Energiebedarf. Die aus Effizienz­sicht ungünstigeren Traktionseigenschaften im Güterverkehr verbunden mit der grösseren Tonnage lassen dort die grösste Energiewirkung je Lenkung entstehen, gefolgt vom Fernverkehr und noch vor dem Regionalverkehr mit hohem Rekuperations-Wirkungsgrad und vergleichsweise niedriger Tonnage.

Die Systeme ADL und HOT (Hub Optimierung Technology) sind miteinander vernetzt und eingebettet in das Dispositionssystem RCS (Rail Control System, Bild 3). HOT schliesst damit die Lücke zwischen der Disposition und der Operation durch eine automatische Konflikterkennung und automatische Konfliktlösung bei Einfädelungspunkten. Basierend auf den präzisen Zuglaufprognosen im RCS berechnet HOT die konfliktfreie, optimale Zugabfolge und für jeden Zug das optimale Geschwindigkeitsprofil. Diese Informationen werden durch

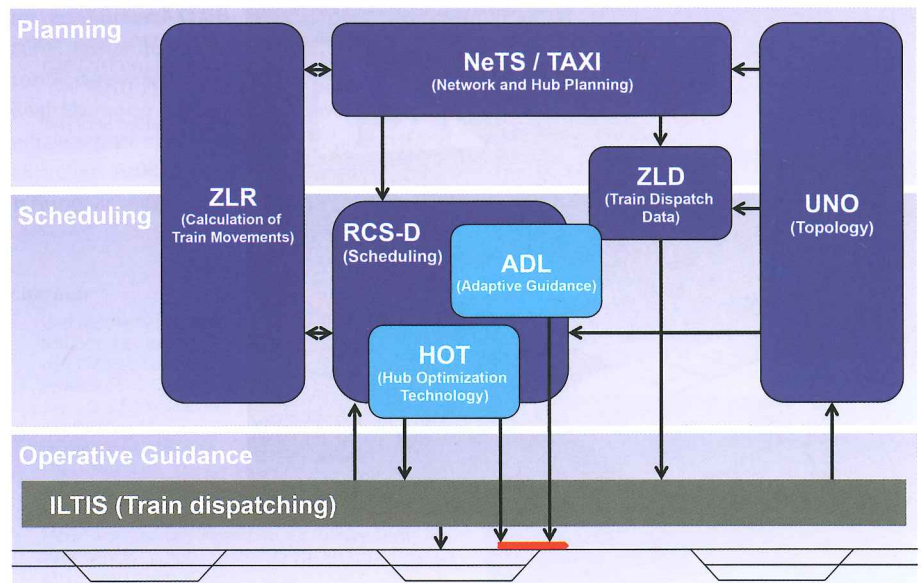


BILD 3: Systemlandschaft einer modernisierten Bahnproduktion mit RCS, ADL und HOTA (Grafik: Autoren)

HOTA direkt in die Leittechnik des Stellwerks übertragen und mittels der Signale oder mittels ADL den Triebfahrzeugführern übermittelt. Dadurch werden beispielsweise im Wirkbereich zwischen Killwangen-Spreiten-

bach und Zürich Altstetten im Vergleich zu einer Situation ohne entsprechende Einwirkung pro Monat rund 2900 Verspätungsminuten verhindert, was endkundengewichtet 1.7 Mio. Reisenden-Verspätungsminuten »

EUROPEAN CONFERENCE

WAYSIDE TRAIN MONITORING SYSTEMS 2017

26. – 27.04.2017, BERLIN

INTERNATIONAL EVENT WITH EXHIBITION

SAVE THE DATE



POWERED BY



MORE INFORMATION AVAILABLE SOON:
WWW.EURAILPRESS.DE/EVENTS





BILD 4:
Führerstand mit Fahr-
schalter (rechts) am
FLIRT 521 019
(Foto: Steffen Schranil)

monatlich entspricht. Im Dezember 2015 wurde durch die Inbetriebnahme des Bahnhofs Zürich Löwenstrasse die Konfliktsituation im Knoten Zürich um den Zulauf der Durchmesserlinie erweitert. Neu werden die Geschwindigkeitsinformationen zusätzlich zu den Aussensignalen direkt in den Führerstand übertragen, damit die geforderten Zugfolgezeiten von 100 Sekunden im Einfädungspunkt Zürich Altstetten möglich sind. Weitere Anwendungsbereiche folgen entlang des Bielersees zur Optimierung der dortigen Einspurstrecke und im neuen Gotthardbasistunnel.

Für eine gegebene Fahrzeit zwischen zwei Halten existiert je ein energieminimales Fahrprofil.

4. FAHRSCHALTERRASTIERUNG ALS INSTRUMENT EINER ENERGIEEFFIZIENTEN BAHNPRODUKTION

Das System ADL liefert eine Empfehlung zur Reduktion der gefahrenen Geschwindigkeit. Insbesondere bei grossen Haltedistanzen im Personenfern- und Güterverkehr sowie bei geringer Signalbeeinflussung im Regionalverkehr ausserhalb der Netzknoten stellt sich die Frage der energieoptimalen Zugkraft zur Erreichung dieser Geschwindigkeit. Neben der Lokführerschulung und -sensibilisierung stellen rasierte Fahrschalter ein probates Mittel zur energieeffizienten Bahnproduktion dar.

Der Traktionswirkungsgrad moderner Drehstromfahrzeuge variiert sowohl über die Geschwindigkeit als auch über die abgegebene Zugkraft. Zur Steigerung der Energieeffizienz ist es daher sinnvoll, wenn immer betrieblich möglich, mit einer etwas geringeren als der maximalen Zugkraft zu fahren. Um dem Lokpersonal diesbezüglich eine Arbeitshilfe zu geben, wird eine Rastierung der Fahrschalter im Bereich günstiger (Teillast-) Wirkungsgrade geprüft. Das Überwinden der Fahrschalterrastierung erfordert einen haptischen Widerstand, der auf die schlechtere Energieeffizienz hinweist. Beim RegioDosto (RABe 511.0/1) ist dies bereits herstellerseitig realisiert und dient als Referenz.

Der Zugkraftbereich des optimalen Wirkungsgrads sinkt mit steigender Geschwindigkeit ab der Übergangsgeschwindigkeit als Grenze zwischen Adhäsions- und Leistungsbegrenzung entlang der jeweiligen Teillasthyperbel. Im Zuge konkreter Überlegungen zur Optimierung des Fahrschalters am Triebzug FLIRT (Bild 4) stellt sich die Frage, in welchem Zugkraftbereich diese Rastierung hier anzubringen ist. Der FLIRT-Fahrschalter wirkt im Bereich einer Auslenkung aus der Nullstellung von 0° bis 30°. Unter dem energie günstigen Zugkraftbereich wird ein Traktionswirkungsgrad von mindestens 90 % verstanden. Linear proportional zur Fahrschalterstellung lässt sich der entsprechende Zugkraftbereich nun einfach interpolieren. Notwendige Voraussetzung dazu ist, dass sich die Fahrschalterstellung bei der jeweiligen Geschwindigkeit auf den Anteil der jeweils verfügbaren Zugkraft be-

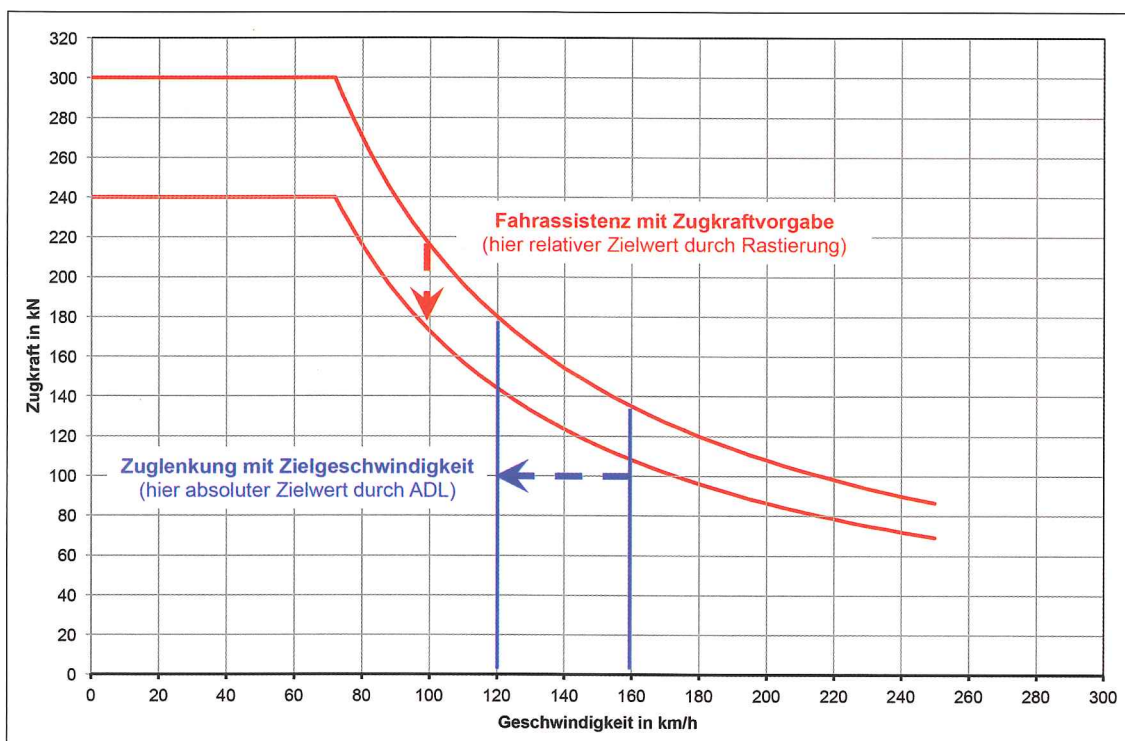


BILD 5:
Zusammenwirken von
Zuglenkung und Fahr-
assistenz in der Bahn-
produktion
(Grafik: Autoren)

zieht. Bei rund $\frac{2}{3}$ der verfügbaren Zugkraft beginnt der gewünschte Wirkungsgradbereich. Um trotz Optimierung eine hohe Zugkraft freizugeben, ist dieser Übergang für die Rastierung von Interesse. Übertragen auf die Fahrshalterstellung entspricht dies einer Rastierung bei 20° , somit $\frac{2}{3}$ von den maximalen 30° Fahrshalterauslegung.

Das Zusammenspiel der Bremssysteme ist bei modernen Fahrzeugen dahingehend optimiert, dass bis zu einer Fahrshalterstellung von 50% Bremskraft rein elektrisch gebremst wird. Entsprechend bietet sich eine Rastierung im Bremsbereich ebenso an. Der Triebfahrzeugführer erhält aus beiden Rastierungen – Fahren und Bremsen – eine Arbeitshilfe zur praktischen Umsetzung der energiesparenden Fahrweise.

5. SYNTHESE

Die Maximierung von Kapazitätsnutzung und Energieeffizienz bedingen sich in der Bahnproduktion gegenseitig. Dies gilt umso mehr in höchstausgelasteten Bahnnetzen wie jenem der Schweizerischen Bundesbahnen. Die Bahnproduktion kann somit einen relevanten Beitrag zur Senkung der Energiekosten leisten und die steigende Netzbelastung im Sinne hoher Pünktlichkeitsvorgaben meistern.

Zentrale Aspekte bei der SBB sind hierbei die technische Unterstützung der Lokführer mit Fahrempfehlungen, die Adaptive Lenkung (ADL) und die automatische Optimierung der Zugbewegungen in den Zuläufers der Netzknoten (HOT). Bild 5 zeigt anhand eines exemplarischen Zugkraft-Geschwindigkeits-Diagramms das prinzipielle Zusammenwirken von Zuglenkung und Fahrassistenz im Sinne einer energieeffizienten Bahnproduktion. Während die Zuglenkung auf die Geschwindigkeit wirkt, beeinflusst die Fahrassistenz die freigegebene Zugkraft. Die Wirkungssteigerung der bestehenden Systeme geht einher mit der Intensivierung der Schulung und Sensibilisierung ihrer Anwender sowie einem gemeinsamen Zielbild über alle Entscheidungsebenen. Dies hilft gleichzeitig, die Streuungen im Energiebedarf vergleichbarer Zugfahrten zu verstehen und systematisch zu reduzieren. Somit schafft die moderne Bahnproduktion die Voraussetzung einer energiesparenden Fahrweise ohne Beeinträchtigung der Pünktlichkeit.

Ausgehend vom Regelbetrieb erfolgt eine weitere Automatisierung der Bahnproduktion mit der Ausdehnung des teilautomatischen Netzbetriebs auf den geplanten und leicht gestörten Betrieb im Abweichungsfall. Auf dem Triebfahrzeug wird die technische Unterstützung der Triebfahrzeugführer wei-

ter zunehmen. Fahrempfehlungen bis hin zum (teil-)automatischen Fahren sind wesentliche unterstützende Elemente. All diese Bestrebungen bieten ergänzende Energieeffizienzpotenziale und sind Gegenstand aktueller Abklärungen, Projekte und Forschungsarbeiten. ◀

Literatur

- Uwe Behmann: Energiesparendes Fahren im Spannungsfeld zwischen Informatik und Realität, in: Elektrische Bahnen 11/2015, basierend auf Kongressbeitrag von Markus Lerjen auf ETG-Fachtagung Bahntechnik, Spiez 2015.
- Julius Bosch: Pünktlichkeit spart Energie – Modellierung von Einflussfaktoren auf den Bahnenergiebedarf, in: Elektrische Bahnen 10/2014.
- Mario Falabretti, Markus Halder, Delia Harder, Philipp Keiser, Steffen Schranil: Roadmap Energieeffiziente Bahnproduktion, SBB Projektbericht, Bern 2015.
- Martin Fuchsberger: Algorithms for Railway Traffic Management in Complex Central Station Areas, Dissertation ETH Zürich, Zürich 2012.
- Sabrina Herrigel: Algorithmic Decision Support for the Construction of Periodic Railway Timetables, Dissertation ETH Zürich, Zürich 2015.
- Steffen Schranil: Prognose der Dauer von Störungen des Bahnbetriebs, Dissertation ETH Zürich, Zürich 2013.
- Steffen Schranil: Methodik zum energetischen Wirkungsnachweis der Adaptiven Zuglenkung ADL, Kongressbeitrag auf ETG-Fachtagung Bahntechnik, Spiez 2015.
- Ambra Toletti, Valerio de Martinis, Ulrich Weidmann: What about Train Length and Energy Efficiency of Freight Trains in Rescheduling Models, Transportation Research Procedia 10/2015, S. 584–594.

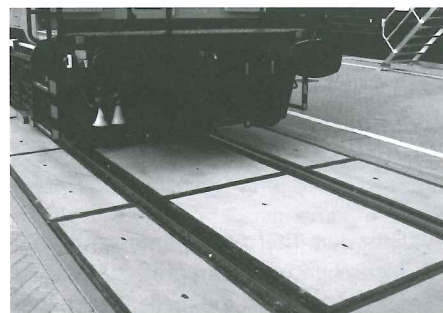
► SUMMARY

Energy efficiency in railway production

Massive demands are being placed on the production side of the railway by the fact that network capacity is increasing at a slower rate than the volume of traffic. A stable, punctual railway operation has the potential to be energy-efficient. At the same time, there is particular pressure on public transport, which includes the Swiss Federal Railways (SBB), to bring down its overall system costs systematically. For railway production, that means arranging its regular operation so that it is broadly suitable for automation and also doing the same thing for the eventuality of exceptions and disruptions. That further enhances the capacity of the railway system, bringing further benefits for clients.



Stelcon
MEHR ALS BETON



ZUGELASSENE VERKEHRSPRODUKTE

- » Gleisüberwegplatten
- » Gleistragplatten
- » Gleistragwannen
- » Spezialelemente

WEITERE PRODUKTE

- » Großflächenplatten
- » Stahlankerplatten
- » Parkdachsystem 1095
- » Umweltschutz-Produkte



BTE Stelcon GmbH
Philippsburger Str. 4
76726 Germersheim
Tel. 0 72 74 / 70 28-0
Fax 0 72 74 / 70 28-129
info@stelcon.de
www.stelcon.de