



Foto: DB AG/Barlomieł Banaszak

## Energieeffizienz und Lärmreduktion

# Züge sparsam und leise fahren

**Michael Meyer zu Hörste, Tilo Schumann** und **Michael Mönsters**, alle Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Institut für Verkehrssystemtechnik, Braunschweig

Kontinuierlich steigende Energiekosten sind Anlass, Möglichkeiten des energieeffizienten Bahnbetriebs auf verschiedenen Ebenen zu untersuchen. Neben der Möglichkeit, die Fahrweise des Triebfahrzeugführers durch ein Assistenzsystem zu unterstützen und den Betriebsablauf im Störfall aus energetischer Sicht zu optimieren, werden Optionen für einen energieoptimierten Soll-Fahrplan untersucht. Grundidee dieser Ansätze zur Steigerung der Energieeffizienz ist es, nicht erforderliche Beschleunigungsvorgänge zu vermeiden und die gefahrene Spitzen-Geschwindigkeit soweit wie möglich zu reduzieren.



Die Steigerung der Energieeffizienz erfolgt durch zwei Ansätze: Zum einen kann dem Triebfahrzeugführer eine zu fahrende Geschwindigkeit empfohlen werden. Systeme hierfür gibt es bereits seit vielen Jahren. Die derzeitige Herausforderung besteht darin, diese Systeme zu vernetzen und mit einer Verkehrsflussoptimierung zu verbinden. Ein weiterer Ansatz, der in einem folgenden Abschnitt behandelt wird, betrachtet die Erstellung bzw. Optimierung von Fahrplänen aus der Sicht des Energieverbrauchs.

Im Anschluss daran wird in einem dritten Abschnitt betrachtet, welche Möglichkeiten zur Optimierung der Lärmemission mit vergleichbaren Ansätzen bestehen. Diese zielen auf die örtliche Vermeidung von Beschleunigungs- und Bremsvorgängen und die Reduzierung der Höchstgeschwindigkeit. Hier sind starke Ähnlichkeiten zu den genannten Ansätzen zur Energieeffizienz erkennbar.

## Energieeffiziente Fahrweise

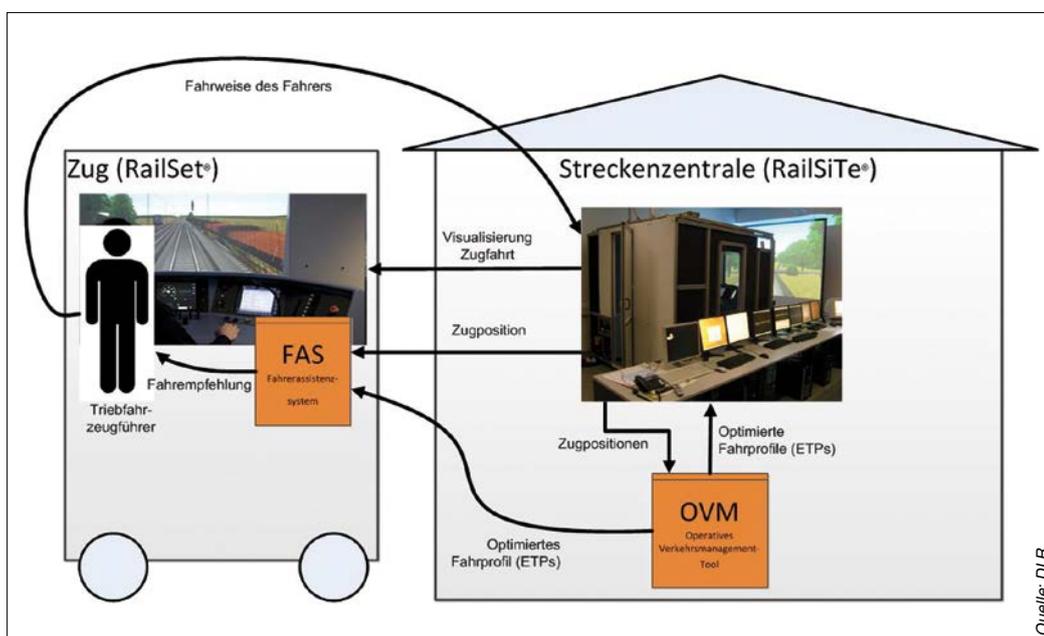
### Assistenzsystem für den Triebfahrzeugführer

Der Ansatz, Fahrerassistenzsysteme für energieeffizienten Bahnbetrieb zu nutzen, verspricht ein gutes Kosten-Nutzen-Verhältnis, verlangt aber komplexe mathematische Grundlagen und technische Randbedingungen. Je besser ein System optimieren soll, desto mehr benötigt das Fahrerassistenzsystem (FAS) Informationen über den Streckenverlauf zum Beispiel als digitale Streckenkarte und Informationen über den dynamischen Betriebszustand, etwa in Form von Signalstellungen. Auch eine sehr genaue und zuverlässige Ortung ist notwendig. Systeme dieser Art sind bereits seit vielen Jahren im Einsatz, komplexere Systeme befinden sich in der Entwicklung und Erprobung. Die heute in der Entwicklung oder im Einsatz befindlichen Systeme unterscheiden sich stark in Funktionalität, Architektur und Benutzerschnittstelle. Man kann folgende drei Generationen von Assistenzsystemen unterscheiden:

1. Optimierung einer Zugfahrt nach Plandaten oder Ist-Daten für einen Zug. Solche Systeme sind seit vielen Jahren in verschiedenen Ländern im Einsatz.
2. Optimierung der Zugfahrten auf einer Strecke. Typischerweise sind dies mehrere hintereinander fahrende Züge. Auch die so genannten „fliegenden“ Überholungen und Kreuzungen sind in dieser Kategorie enthalten. Diese Systeme benötigen minimal Ist-Daten von den unmittelbar umgebenden Zügen.
3. Die dritte Generation führt eine dynamische Optimierung für einen Netzbereich in einer zentralen streckenseitigen Instanz (zum Beispiel Betriebszentrale) durch und verteilt Empfehlungen bzw. Anweisungen an die Züge in diesem Bereich. Hier müssen neben aufeinanderfolgenden Zügen auch kreuzende Züge berücksichtigt werden. Solche vernetzten Systeme befinden sich in Deutschland noch in der Erprobung, Unter anderem in der Schweiz und in Schweden befinden sie sich bereits im Einsatz. Sie benötigen kontinuierlich aktuelle Betriebsinformationen.

Neben der Funktionalität ist vor allen die Ergonomie dieser Systeme Gegenstand der Weiterentwicklung <sup>[1]</sup>. Der Triebfahrzeugführer wird nur ein System optimal nutzen können, dessen Darstellung gut ist und welches verlässliche und vertrauenswürdige Informationen liefert, sowohl auf dem Führerstand als auch in der Zentrale <sup>[2]</sup>.

Ebenso wie eine Zugbeeinflussung, etwa das European Train Control System (ETCS), benötigt auch ein Fahrerassistenzsystem (FAS) eine genaue und zuverlässige Ortung. Im Gegensatz zu diesen muss aber keine signaltechnisch sichere Ortung vorliegen. Ein solches System ist das Projekt PiLoNav (Precise and Integer Localisation and Navigation in Rail and Inlandwater Traffic), das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) gefördert wurde und vom DLR prototypisch entwickelt worden ist. Der Abschlussbericht stellt die entsprechenden Details dar <sup>[3]</sup>.



Architektur für die Validierung des Zusammenspiels von Fahrerassistenzsystem und operativem Verkehrsmanagement aus dem Projekt PiLoNav

### Verkehrsflussoptimierung

Für eine Optimierung des Betriebsablaufs im Bahnverkehr ist ein Zusammenspiel von Fahrerassistenzsystemen sowie streckenseitigen Systemen erforderlich. Um den Verkehrsfluss gleichmäßiger zu gestalten und damit Energie sparen zu können, benötigen die FAS Informationen über die Streckenbelegung bzw. über die Zeitpunkte, an denen bestimmte Punkte an der Strecke (zum Beispiel Signale) passiert werden sollen. Die Streckenzentrale sendet die Informationen über die Zielpunkte an die entsprechenden Züge, die wiederum ihrerseits diesen Vorgaben folgen. Eine gewisse Ähnlichkeit besteht mit den in früheren Zeiten üblichen Verfahren der Verzögerungs- und Beschleunigungsanzeiger (Zs4 und Zs5), mit denen der Fahrdienstleiter dem Zug Anweisungen gegeben hat. Die Zielpunktvorgaben, die vom operativen Verkehrsmanagement (OVM) auf der Streckenseite berechnet werden, sollten geringfügige Reserven enthalten, um den FAS Spielraum für zugbezogene Optimierungen zu geben, Reaktionszeiten des Fahrers und dem FAS bekannte Abweichungen von den üblichen Zugeigenschaften zu berücksichtigen. Notwendig sind für die Umsetzung Kommunikationssysteme, definierte Schnittstellen und eine Ausrüstung sämtlicher Fahrzeuge, die auf der Strecke fahren.

Um einen diskriminierungsfreien Zugang zu ermöglichen, ist für ein solches System eine standardisierte Schnittstelle zwischen der Verkehrsflussoptimierung und dem Assistenzsystem notwendig. Im Projekt PiLoNav wurde ein entsprechender Ansatz demonstriert (siehe Abbildung Seite 11).

### Fahrplangestaltung

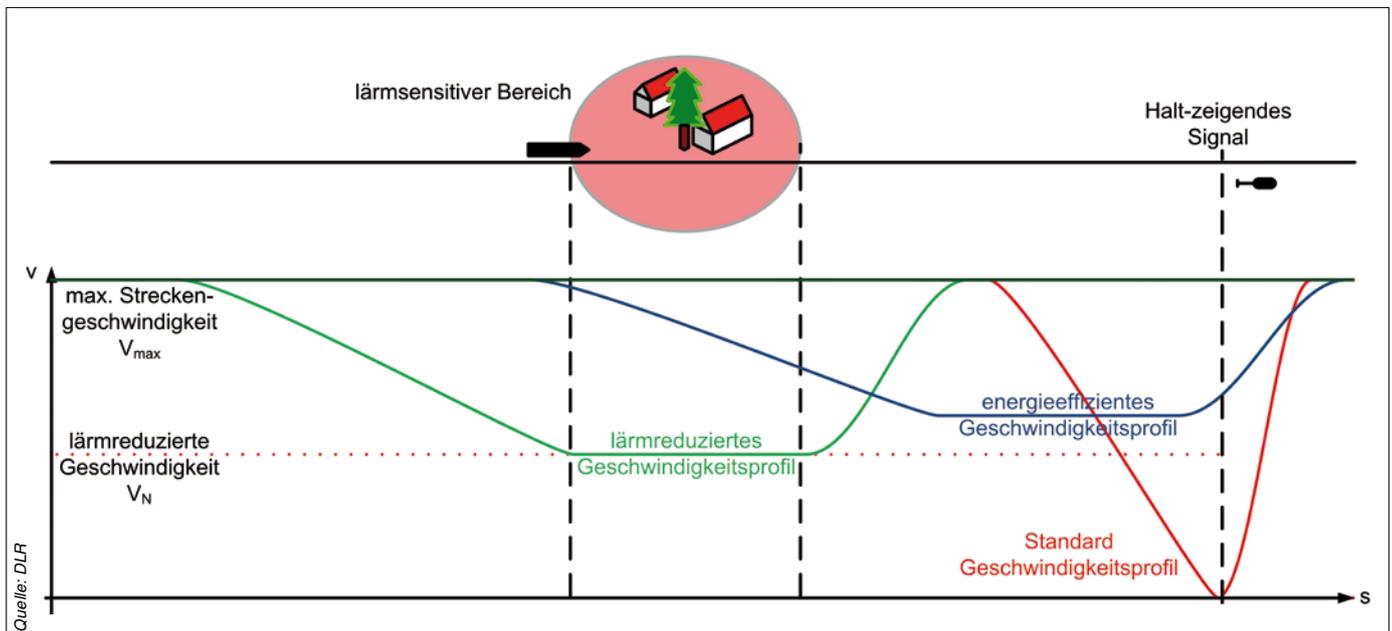
Die Einsparung von Traktionsenergie stand im Fokus eines Teiles des DLR-Projektes Next Generation Railway System (NGRS II). Daraus resultiert ein Ansatz zur Erstellung eines energieeffizienten Fahrplans <sup>[4]</sup>. Ziel der Untersuchung ist eine

übergreifende Reduzierung des Gesamtenergiebedarfs. Es wird somit in Kauf genommen, dass einzelne Züge auch mehr Energie benötigen können und bestimmte Züge langsamer fahren müssen. Im Gegensatz zur Betriebsoptimierung sind Randbedingungen zu definieren, denn prinzipiell verbrauchen Fahrzeuge, die stehen oder langsam fahren, die wenigste Energie. Da das Ziel eines Eisenbahnbetriebs aber die Beförderung von Personen oder der Transport von Gütern ist und die Bahn dabei im Wettbewerb mit anderen Verkehrsträgern steht, ist die Reduzierung der Geschwindigkeit keine universelle Lösung. Daher gilt der Grundsatz, dass der Ausgangspunkt für einen effizienten Fahrplan der reale Fahrplan ist, der dann modifiziert wird. Hierfür wurde die Achse Hamburg – Hannover gewählt und bearbeitet. Eine Verallgemeinerung der Aussagen ist nicht ohne Weiteres möglich, allerdings handelt es sich bei der gewählten Strecke aufgrund der hohen Belastung um einen Korridor mit besonderem Handlungsbedarf. Es gibt in Deutschland weitere ähnlich hoch belastete Strecken mit vergleichbarem Zugmix (ICE, Regionalexpress, Güterverkehr), wie zum Beispiel Offenburg – Basel oder Würzburg – Nürnberg.

Im modellierten Sollfahrplan wurden energieintensive Betriebsvorgänge analysiert und ein Lösungsraum zur Vermeidung oder Reduzierung derselben definiert. Anschließend wurde eine weitere Betriebsvariante mit umgesetzten Lösungen erstellt und die Ergebnisse einer wirtschaftlichen Bewertung unterzogen. Um Auswirkungen auf den Personenverkehr zu ermitteln, wurde auch ein Nachfragemodell verwendet.

Überholungen von Güterzügen bewirken einen erhöhten Energiebedarf, daher wurde in einem Szenario eine Harmonisierung der Geschwindigkeiten durchgeführt. Hierbei wurde der Personenfernverkehr auf zirka 150 Kilometer pro Stunde (km/h) verlangsamt, was eine Fahrzeitverlängerung von 11 Minuten von Hamburg nach Hannover und umgekehrt bewirkt. Dadurch können alle Güterzüge überholungsfrei die Gesamtstrecke befahren. Die größten Energieeinsparungen zeigen sich jedoch beim Fernverkehr aufgrund der geringeren Geschwindigkeit.

Ansatz für ein eine lärmoptimierte Geschwindigkeitsanpassung



Um die Bewertung nicht nur aus Perspektive des Energiebedarfs durchzuführen, wurden auch die Themen Lärm, Kapazität, Nachfrage und weitere volkswirtschaftliche Aspekte betrachtet. Hierbei zeigte sich, dass die Fahrzeitverlängerung aus betriebswirtschaftlicher Sicht bei den Bahnunternehmen mehr Kosten als Nutzen bringt. Die Einnahmeverluste durch abwandernde Fahrgäste übersteigen die Energieeinsparungen, die Optimierung im Güterverkehr und die steigenden Trassenerlöse durch Kapazitätserhöhung stark. Erst aus volkswirtschaftlicher Perspektive kann mit den Bewertungsansätzen des Bundesverkehrswegeplans ein positiver Nutzen durch verlagerten Lkw-Verkehr erzielt werden.

Es sei ausdrücklich darauf hingewiesen, dass energieeffiziente Fahrweise und Verkehrsflussoptimierung sinnvoll sind und nicht die negativen Auswirkungen der hier untersuchten Fahrplananpassungen aufweisen. Bei einer Optimierung des Soll-Fahrplans wird empfohlen, eine Harmonisierung der Geschwindigkeiten nur innerhalb der Güterzüge zu untersuchen. Dies kann sowohl durch Reduzierung auf 100 km/h als auch Anhebung auf zum Beispiel 140 km/h geschehen. Für den letzteren Fall nähert sich die Geschwindigkeit dem Personenverkehr an und macht neue Trassen für den Güterverkehr verfügbar.

## Lärm- versus Energieeffizienz

Prämisse für einen vergleichbaren Ansatz zur Lärm-Senkung ist eine Optimierung abhängig von der aktuellen betrieblichen Lage. Anders als bei generellen Geschwindigkeitsreduzierungen wird nur zugunsten einer Minderung des Lärms in den Betrieb eingegriffen, wenn dies ohne negative Auswirkungen auf Pünktlichkeit, Kapazität und Stabilität möglich ist. Dies entspricht dem Muster, das bereits für Fahrerassistenzsysteme zur energieeffizienten Fahrweise angewendet wird. Für die Anwohner bedeutet das eine Reduktion der Lärmbelastung, soweit dies der Bahnbetrieb zulässt. Ein Anspruch auf eine Minderung um einen festgelegten Betrag lässt sich aus dem Ansatz nicht ableiten.

Ausgangspunkt für diese Betrachtung ist die vorausschauende Fahrweise. Das heißt, dass die Stellung der Signale berücksichtigt wird. Hierbei ist darüber hinaus eine Prognose der Signalstellung notwendig. Für jeden Zug wird auf freier Strecke prognostiziert, wann der aktuell belegte Block verlassen wird. Das DLR hat diesen Ansatz bereits im oben genannten Projekt PiLoNav umgesetzt und zu einer Fahrzeitprognose weiterentwickelt.

Ergibt sich nun für einen betrachteten Zug, dass er am Signalsichtpunkt auf ein „Halt erwarten“ zeigendes Signal zufährt, wird dem Triebfahrzeugführer über ein entsprechendes Assistenzsystem eine reduzierte Geschwindigkeit empfohlen. Sie ist so berechnet, dass der Zug den Signalsichtpunkt genau zu dem Punkt erreicht, an dem das Signal „Fahrt erwarten“ zeigt. Bis zu diesem Punkt entspricht die Vorgehensweise der bereits aus Systemen zur Stabilisierung des Betriebs und zur Steigerung der Energieeffizienz bekannten Verfahren. Hier soll die Geschwindigkeitsreduzierung jedoch gezielt in lärmsensiblen Bereichen geschehen. Diese können durchaus räumlich weiter vor dem Vorsignal liegen. Dementsprechend sind die Anforderungen an die Fahrzeitprognose höher.

Das Geschwindigkeitsprofil wird darüber hinaus so berechnet, dass der Zug am Vorsignal wieder die volle Streckengeschwindigkeit erreicht hat (siehe Abbildung Seite 12). So lassen sich mehrere Vorteile vereinen:

- Durch die reduzierte Geschwindigkeit im lärmsensiblen Bereich wird dort die Lärmbelastung vermindert.
- Ein Halt vor dem Hauptsignal wird vermieden, damit sinkt der Energiebedarf.
- Der Zug räumt den aktuell belegten Block so schnell wie möglich, dies wirkt sich positiv auf die Betriebsstabilität aus.

Dieser theoretische Ansatz wurde im Rahmen einer Machbarkeitsuntersuchung genauer betrachtet. Dafür wurde beispielhaft die Einfädelung im Bereich vor Uelzen aus Richtung Hannover bzw. Stendal gewählt. Die Details einer Fallstudie wurden bereits publiziert <sup>[5]</sup>. ■



Foto: DB AG/We Mielthe

### Literatur

- [1] Benedikt Scheier et al.: Next Generation Railway System (NGRS) II Abschlussbericht. DLR, Institut für Verkehrssystemtechnik, 2015 (In Vorbereitung).
- [2] Benedikt Scheier, Tilo Schumann, Michael Meyer zu Hörste, Holger Dittus, Joachim Winter: Wissenschaftliche Ansätze für einen energieoptimierten Eisenbahnbetrieb. In: Eisenbahn Ingenieur Kalender 2014. DVV Media Group, Eurailpress, 2013.
- [3] Alexander Born: Precise and Integer Localisation and Navigation in Rail and Inlandwater Traffic (PiLoNav) Abschlussbericht. DLR, Institut für Kommunikation und Navigation, 2014.
- [4] Tilo Schumann, Michael Mönsters: Energieeinsparung durch Harmonisierung der Geschwindigkeiten im Soll-Fahrplan – Auswirkungen einer Geschwindigkeitsreduzierung im Personenfernverkehr. In: Eisenbahn Ingenieur Kalender 2016. DVV Media Group, Eurailpress, 2015.
- [5] Christoph Lackhove, Michael Mönsters, Tilo Schumann, Arne Henning: Leise und wettbewerbsfähig – Forschung für die Zukunftsfähigkeit des Schienengüterverkehrs, In: Güterbahnen, 3/2015.