



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Energie BFE

Schlussbericht, Anhang 4 26. November 2009

Verifizierung der Stromeinsparung durch energieeffizientes Zugmanagement

Beeinflussungen von Zugsfahrten

IVT-Projekt R-08-07, erstellt am 26.11.2009. Marco Lüthi

Verifizierung der Stromeinsparung durch ein effizientes Zugsmanagement

Beeinflussungen von Zugsfahrten

Informationen zu diesem Dokument

Das vorliegende Dokument ist Teil des Schlussberichts zu der Studie „Verifizierung der Stromeinsparung durch ein effizientes Zugsmanagement“ [1] welche im Auftrag des Bundesamtes für Energie von *emkamatik* GmbH, dem BahnUmwelt-Center der SBB und dem Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme der ETH Zürich durchgeführt wurde. In diesem Bericht werden Häufigkeit und Art der Beeinflussungen von Zügen auf dem Netz der SBB anhand ausgewählter Perimeter ermittelt. Dies bildet die Grundlage, um das Energieeinsparpotential durch effizientes Zugmanagement zu bestimmen.

1 Ausgangslage

1.1 Allgemeines

Zahlreiche Möglichkeiten zur Reduktion des Energieverbrauchs in der Traktion der SBB wurden in einer Studie 2006/2007 [2] identifiziert. Nach Einschätzung der Studie besteht ein signifikantes Energieeinsparpotential bei einer flüssigen Abwicklung des Verkehrs. Insbesondere das Reduzieren von Halten oder Beeinflussungen an Signalen mittels angepasster Fahrweise basierend auf Informationen zur aktuellen Situation helfen, die Energieeffizienz zu steigern. Die Verflüssigung des Verkehrs hilft dabei nicht nur den Energieverbrauch sondern auch negative zeitliche Auswirkungen zu reduzieren.

Mit dem Projekt PULS90 der SBB [3] wurden die grundsätzlichen betrieblichen und planerischen Methoden entwickelt und geprüft um den Eisenbahnbetrieb mittels durchgängiger Informationen effizienter zu gestalten. Folgende wesentlichen Anpassungen gegenüber der heutigen Betriebsweise müssen dabei vorgenommen werden:

- **Disposition:** Anstelle von heuristischen Entscheidungen werden neue Fahrpläne und Fahrordnungen direkt berechnet. Diese bilden die Grundlage, um mögliche Konflikte oder Beeinflussungen nicht nur zu erkennen sondern auch gezielt zu vermeiden. Insbesondere kleine Anpassungen (z.B. Reihenfolgetausch oder veränderte Fahrwege in Bahnhofsgebäuden), welche momentan hauptsächlich von Fahrdienstleiter ausgeführt werden, können dabei frühzeitig getroffen und automatisiert werden. Im Falle von grösseren Abweichungen können die Disponenten aktiv unterstützt werden, um Lösungen zu finden und geeignete Massnahmen zu treffen. Mit dem Projekt RCS (Rail Control System) hat die SBB ein neues Dispositionssystem entwickelt, welches seit April 2009 bei der Betriebsführung produktiv eingesetzt wird und die Grundlage dazu bildet, um in einem weiteren Schritt auch Konfliktlösungen inklusive Fahrordnungen automatisch durchzuführen.

- Übermittlung der aktuell gültigen Fahrordnung an die Lokführer: Im heutigen Bahnbetrieb sind Lokführer vielfach nicht über den aktuellen Zustand und die Verspätungslage der anderen Züge informiert. Mitteilungen per Telefon oder Funk um die Lokführer entsprechend zu informieren werden nur vereinzelt durchgeführt. Um jedoch Konflikte und Beeinflussungen zu vermeiden, müssen die Dispositionsmassnahmen und die entsprechenden Fahrordnungen den Lokführern mitgeteilt werden. Ein Display für den Lokführer, welches die einkommenden Daten darstellt, wird folglich ebenso benötigt. Im Rahmen vom Projekt PULS90 wurde dabei eine Systemarchitektur für den Datenaustausch sowie das Anzeigegerät PIK-FARE entwickelt. In ersten Versuchsfahrten konnte so gezeigt werden, dass Lokführer ihr Fahrverhalten mit Hilfe von zusätzlichen Informationen grundsätzlich anpassen können um Beeinflussungen zu vermeiden [4].

In der ersten Studie von 2006/2007 [2] wurde die mögliche Energieeinsparung mittels flüssiger Abwicklung des Verkehrs nur sehr grob geschätzt. In der vorliegenden Studie wird die heutige Situation, insbesondere die Häufigkeit und Art von Konflikten, analysiert. Diese Auswertungen liefern die Grundlage für präzise Aussagen zum Energieeinsparpotential. Vor allem für ein hochbelastetes Netzwerk wie das der SBB mit geringen Reserven und tiefen Pufferzeiten aufgrund des integralen Taktfahrplans sind Konflikte ohne angepasste Betriebsprozesse basierend auf neuen Methoden unvermeidbar und werden in Zukunft aufgrund des immer dichteren Fahrplanes noch häufiger.

1.2 Heutige Situation

Um das Energieeinsparpotential zu bestimmen, ist das Fahrverhalten der Lokführer analysiert worden. Es zeigte sich, dass zwei grundsätzlich verschiedene Verhaltensweisen bei den Lokführern bestehen:

- Das Fahrverhalten ist unabhängig von der aktuellen Verspätung und der Zug wird wenn möglich (und somit auch im Falle einer Verfrühung) mit der maximal erlaubten Geschwindigkeit geführt.
- Das Fahrverhalten wird der Verspätungslage angepasst. Im Falle einer Verfrühung wird nur auf eine reduzierte Geschwindigkeit beschleunigt oder frühzeitig ausgerollt.

Eine vertiefte Auswertung von Infrastrukturdaten (Quelle: SBB OTT-Daten Fahrplan 2003) für 11 verschiedene Abschnitte sowie mit unterschiedlichen Zugskategorien (Planmässige Zeit der Züge in den Korridoren war zwischen 9:00 und 10:00 Uhr) brachte folgende Erkenntnisse [4], [5]:

- Die Verteilung der Fahrzeiten zwischen zwei Referenzpunkten für Züge ohne Beeinflussung kann prinzipiell mit einer Log-Logistischen Verteilkurve beschrieben. Typisch für diese Verteilung (siehe **Abbildung 1**) sind der starke Anstieg zu Beginn nahe der minimalen Fahrzeit sowie das langsame Abflachen für längere Fahrzeiten.

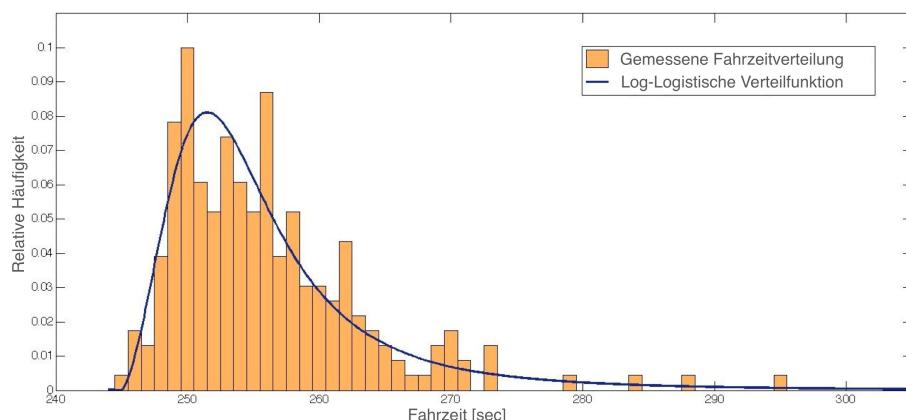


Abbildung 1: Fahrzeitverteilung von S-Bahnzügen 18526 wochentags zwischen Bubikon und Wetzikon (Daten SBB 2004)

- Bei pünktlichen oder verfrühten Zügen ist kein generell langsameres Fahren als bei verspäteten Zügen feststellbar. Die Streuung der Fahrzeit bei verfrühten oder pünktlichen Zügen ist jedoch grösser als die bei verspäteten Zügen. Die beiden unterschiedlichen Fahrweisen können damit durch die Auswertung der Betriebsdaten bestätigt werden.
- Für Regionalzüge konnte kein genereller Zusammenhang für die Fahrzeit auf einem ersten Abschnitt mit einem darauf folgenden Abschnitt erkannt werden.

Die individuell unterschiedlichen Fahrweisen der Lokführer haben zur Folge, dass

- grosse Unterschiede zwischen Lokführern bei der Häufigkeit von Beeinflussungen bestehen;
- der Energieverbrauch trotz vergleichbaren Fahrzeiten mit verschiedenen Lokführern signifikante Unterschiede (beispielsweise aufgrund unterschiedlicher Verwendung der Bremsen) haben kann [6].

Es gibt folglich keine allgemein gültige Fahrweise. Die Unterschiede müssen daher bei der Analyse des Energieeinsparpotentials entsprechend berücksichtigt werden.

2 Identifikation von Zugsbeeinflussungen

2.1 Typen von Zugsbeeinflussungen

Eine Beeinflussung eines Zuges liegt vor, wenn der Lokführer aufgrund eines Konflikts eine ungeplante Bremshandlung ausführen muss.

Ein Konflikt besteht dann, wenn dieselbe physikalische Einheit (Schienenabschnitt) zum selben Zeitpunkt von einem Zug eingefordert wird, wenn diese bereits durch einen anderen Zug verwendet (reserviert, belegt oder nicht freigegeben) wird. Die gewünschte Fahrstrasse kann somit im Falle eines Konfliktes für den zweiten Zug nicht rechtzeitig eingestellt werden oder aber die Fahrstrasse ermöglicht nur eine reduzierte Geschwindigkeit. Miteinbezogen sind dabei auch Fahrstrassenausschlusskonflikte. Nicht betrachtet sind Konflikte welche nicht unmittelbar während einer Fahrt eine Bremshandlung zur Folge haben wie beispielsweise Umlauf- oder Anschlusskonflikte.

Bei den Konflikten zwischen Zügen kann unterschieden werden zwischen solchen die immer am selben Ort stattfinden (ortsfeste Konflikte) und solchen die an jeder Stelle im Netz möglich sind (ortsfreie Konflikte).

Ortsfeste Konflikte sind:

- Kreuzungskonflikt: Zug wird durch entgegenkommenden Zug am Kreuzungspunkt an der Weiterfahrt gehindert.
- Abkreuzungskonflikt: Zug wird am Abkreuzungspunkt (zwei Fahrwege kreuzen sich) durch zweiten Zug an Weiterfahrt gehindert.
- Einfädelungskonflikt: Die Weiterfahrt des Zuges ab dem Konfliktpunkt wo zwei Streckengleise sich vereinigen ist nur bedingt oder gar nicht möglich. Die Auswirkungen hängen dabei von den Eigenschaften des vorausfahrenden Zuges ab.
- Überholungskonflikt: Die Weiterfahrt des Zuges ist aufgrund des überholenden Zuges behindert.

Konflikte ohne fixen Konfliktpunkt sind:

- Auflaufkonflikt: Ein Zug trifft zu nahe auf den vorausfahrenden Zug und „läuft“ auf diesen auf was die Weiterfahrt des Zuges behindert.
- Überfüllkonflikt: Zwei Züge im Netz behindern sich gegenseitig sodass eine Weiterfahrt nicht möglich ist.

Bei Konflikten kann zudem zwischen dem Auslöser und dem Betroffenen unterschieden werden. Für die vorliegende Studie werden die von einem Konflikt betroffenen Züge beachtet, die konfliktverursachenden Züge werden nicht miteinbezogen. Zudem werden von allen möglichen Konflikten nur diejenigen betrachtet, welche eine Bremshandlung zur Folge haben. Eine verspätete Abfahrt an einem Bahnhof aufgrund eines Konfliktes wird folglich nicht berücksichtigt. Auch nicht betrachtet werden andere Ereignisse (beispielsweise Personen im Gleisbereich), welche eine Bremshandlung erfordern.

Die Beeinflussungen können des weiteren bezüglich deren Vermeidbarkeit unterschieden werden:

- Vermeidbare Beeinflussung: Bei ausreichend vorhandener Zeit und der Möglichkeit den Zug so zu steuern, dass keine weiteren Konflikte entstehen, kann eine Beeinflussung durch Anpassen der Fahrweise verhindert werden. Ob eine Beeinflussung vermieden werden kann, hängt dabei von der Reaktionsfähigkeit und Führbarkeit ab. Die Systemarchitektur, die Ausgestaltung der Anzeigegeräte sowie die Prozessabläufe beeinflussen diese Eigenschaften und haben deshalb eine zentrale Stellung bei allfälligen neuen Systemen und Methoden wie z.B. adaptive Lenkung (mit PIK-FARE) oder PULS 90.
- Nicht vermeidbare Beeinflussung: Verschiedene Gründe bestehen, warum eine Beeinflussung nicht vermieden werden kann:
 - o Das konflikt-auslösende Ereignis tritt zu kurzfristig ein, sodass weder ausreichend Zeit noch Handlungsspielraum für eine entsprechende Reaktion besteht um den Konflikt zu vermeiden.
 - o Fahrplanbedingte Konflikte können eine Bremshandlung bedingen. Beispiele sind eine Überholung oder bei der Einfahrt eines Zuges in einen Kreuzungsbahnhof mit gleichzeitig geschlossener Ausfahrt (beispielsweise aufgrund eines Gegenzuges),
 - o Die gegenseitigen Lage der Züge zueinander kann für einen Zug in einer ersten Phase eine rasche Zufahrt ohne Verzögerung auf einen Konflikt hin bedingen, da der von diesem Zug belegte Abschnitt für nachfolgende Züge unmittelbar wieder freigegeben werden muss. Die Bremshandlung in der zweiten Phase kann dann nicht vermieden werden. Dies tritt insbesondere in Netzausschnitten mit vielen Verknüpfungen wie beispielsweise in grösseren Bahnhofsregionen auf (z.B. blockweises Vorrücken).

Solange das konflikt-auslösende Ereignis bei nicht-vermeidbaren Beeinflussungen ausreichend früh auftritt, kann der Lokführer über die Situation und mögliche Massnahmen informiert werden. Die dann nötigen Geschwindigkeitsverzögerungen können so wenn möglich ohne Zuhilfenahme der pneumatischen Bremse und ausschliesslich elektrisch ausgeführt werden. Im Hinblick auf den Energieverbrauch ist dies von grosser Bedeutung da ohne Zuhilfenahme der pneumatischen Bremse oberhalb von 40 km/h nennenswert Energie eingespart werden kann.

Abhängig von der Signalisierung am Konfliktpunkt kann als Folge einer Beeinflussung ein Signal mit reduzierter Geschwindigkeit oder ein geschlossenes Vorsignal passiert werden. Entsprechend hat die Art der Beeinflussung auch unterschiedliche Handlungen beim Lokführer zur Folge: Entweder muss der Zug auf die angezeigte Geschwindigkeit oder im Falle des geschlossenen Vorsignals auf maximal 40km/h abgebremst werden. Falls während der Annäherung an das Hauptsignal die Fahrstrasse eingestellt und freigegeben wird (Signal wechselt auf grün) kann der Zug entweder direkt beschleunigen (z.B. bei einer Signum-Zugsicherung oder bei ZUB mit zusätzlichen Schläufen) oder er muss mit einer gegebenen maximalen Geschwindigkeit (z.B. 40km/h) weiterfahren bis der Befreiungspunkt nach dem Hauptsignal passiert wurde. Das Zugsicherungssystem sowie die Ausgestaltung der Signalanlage haben folglich einen wesentlichen Einfluss auf die zusätzlich benötigte Energie sowie den Zeitverlust des betroffenen Zuges.

2.2 Mögliche Datenquellen zur Bestimmung von Zugsbeeinflussungen

Um die Häufigkeiten von Beeinflussungen und deren Auswirkungen zu identifizieren sind verschiedene Methoden möglich:

- Auswertung von Fahrtenschreiberstreifen von Triebfahrzeugen: Diese können ausschliesslich manuell erfolgen, sind nach Lokomotivtyp unterschiedlich, teilweise noch Papierstreifen und äusserst zeitaufwändig.
- Befragung von Fahrdienstleitern und Disponenten: Aufgrund der nur diskret verfügbaren Informationen können Fahrdienstleiter und Disponenten ungefähre Abschätzungen aber keine präzisen Aussagen zu Beeinflussungen machen.
- Auswertung von Infrastrukturdaten: Die exakten Vorbeifahrzeiten inklusive Zugnummer an den Erfassungspunkten können verwendet werden, um mögliche Konflikte zu identifizieren. Daten aus den Sicherungsanlagen oder dem Stellwerk sind jedoch nicht verfügbar.
- Befragung von Lokführern: Mittels strukturierter Interviews können Beeinflussungshäufigkeiten und zusätzlich die angewendete Massnahmen ermittelt werden.

Das Auswerten der Fahrtenschreiberstreifen ist zu zeitintensiv und zudem nicht für alle Züge/Lokomotiven möglich. Eine Befragung der Fahrdienstleiter und Disponenten ist zu ungenau. Daher wurden für eine erste Auswertung die Infrastrukturdaten analysiert und Lokführerinterviews durchgeführt um die Häufigkeiten von Zugsbeeinflussungen zu identifizieren.

2.3 Bestimmung von Zugsbeeinflussungen mittels Auswertung von Infrastrukturdaten

Um eine Beeinflussung eines Zuges aufgrund eines Konfliktes mit Infrastrukturdaten eindeutig bestimmen zu können, müssten folgende Daten verfügbar sein:

- Zeitpunkt, bei dem das Signal auf Fahrt gestellt oder die maximale Geschwindigkeit signalisiert wurde.
- Zeitpunkt, bei dem der Zug an einem Signal (Vor- und Hauptsignal) vorbei fuhr.

Archiviert wird bei den SBB jedoch nur der Zeitpunkt, wenn die Zugspitze einen Erfassungspunkt (meistens an einem Hauptsignal) passiert (sogenannte Kennzahlen Verkehrszeiten Züge KVZ-Daten). Zeitpunkte, wenn Fahrstrassen angestossen, reserviert und aufgelöst werden sind hingegen nicht verfügbar. Aufgrund variabler Zugslängen (insbesondere bei Güterzügen) und nicht einheitlicher Geschwindigkeiten kann aus dem Zeitpunkt zu dem ein Abschnitt befahren wird nicht direkt auf den Auflösungszeitpunkt geschlossen werden. Unterschiedliche Fahrweisen, insbesondere vor bekannten Konfliktpunkten, verhindern desweiteren eine eindeutige Erkennung eines Konflikts. Eine automatisierte Auswertung der KVZ-Daten zur Identifikation von Beeinflussungen ist daher nur bedingt möglich.

Um Konflikte basierend auf Infrastrukturdaten trotzdem mit sehr hoher Zuverlässigkeit zu identifizieren, kann ein manuelles Vorgehen angewendet werden:

1. Ausgabe eines Zeit-Weg-Diagramms für einen gegebenen Korridor.
2. Identifikation potentieller Beeinflussungen von Zügen falls die Fahrzeit auf einem Abschnitt zwischen zwei Erfassungspunkten oder auf mehreren nacheinander folgenden Abschnitten einen vordefinierten Wert gegenüber einer fixen Fahrzeit überschreitet.
3. Aufgrund der Kenntnisse über Topologie und planmässige Fahrwege kann ein potentieller Konflikt aufgrund der Lage gegenüber den anderen Zügen erhärtet oder verworfen werden.

Das manuelle Vorgehen hat jedoch folgende Nachteile zur Folge:

- Aufgrund des hohen manuellen Aufwandes kann die Auswertung von KVZ-Daten nur für ausgewählte Netzbereiche und über einen limitierten Zeitraum erfolgen.
- Trotz des aufwändigen Vorgehens besteht eine Unsicherheit, ob eine Beeinflussung korrekt erkannt wurde.
- Die Massnahme welche der Lokführer im Falle einer Beeinflussung getroffen hat (beispielsweise Halt oder mässige Geschwindigkeitsreduktion) kann nicht eindeutig bestimmt werden.
- Für Netzausschnitte mit vielen Konflikten, kurzen Zugfolzezeiten und tiefen Geschwindigkeiten (vielfach auf Zuläufen von Grossknoten) ist das Verfahren nur bedingt anwendbar oder kann sogar ungeeignet sein.

Aus diesen Gründen wurde das manuelle Vorgehen nur für einen Teil der Studie verwendet.

2.4 Bestimmung von Zugsbeeinflussungen mittels Befragung von Lokführern

Die Lokführer sind diejenigen Akteure im Produktionsprozess, welche die präzisesten Angaben zu Beeinflussungen von Zügen machen können. Bekannte Konfliktpunkte, Häufigkeit von Beeinflussungen und die dabei ausgeführten Reaktionsmassnahmen können mittels der Protokolle von einzelnen Fahrten oder Befragungen erhoben werden. Erfahrungen mit Protokollen zeigen, dass Rücklaufquoten vielfach unbefriedigend sind. Zudem werden die Zugläufe mit besonderen Vorkommnissen (Beeinflussungen) häufiger ausgefüllt als Fahrten ohne Konflikt. Des Weiteren ist der Aufwand für Erstellung, Koordination und Auswertung von Protokollen unverhältnismässig höher als von Interviews. Bei Interviews ist es kritisch, dass subjektive Eindrücke zur Beeinflussungshäufigkeit abweichend von der Realität sein können, Konfliktpunkte vergessen werden, Strecken und Züge zu selten befahren werden, die Stichproben der Befragten nicht dem allgemeinen Durchschnitt aller Lokführer entsprechen oder falsche Angaben gemacht werden.

Um die Ungenauigkeit zu reduzieren und eine repräsentative Auswahl zu haben, kann die Anzahl der befragten Lokführer erhöht werden. Bei der Auswahl der Lokführer muss zudem darauf geachtet werden, dass Lokführer mit unterschiedlicher Erfahrung sowie aus verschiedenen Gruppen und Depots befragt werden.

Zur Bestimmung der Häufigkeit von Beeinflussungen wurde eine strukturierte Befragung für die Lokführer erstellt. Für sämtliche Strecken und Zugsgruppen in ausgewählten Perimetern wurden die Lokführer befragt, wo und wie häufig im Durchschnitt (relativ in Prozent) sie eine Beeinflussung haben. Zudem mussten die Lokführer angeben, welche Handlung (resultierende tiefste Geschwindigkeit) sie bei einer Beeinflussung an den jeweiligen Punkten ausführen. Durch Aggregation der Befragungsresultate werden die durchschnittlichen Beeinflussungen dann anschliessend ermittelt.

3 Vorgehen zur Bestimmung der Beeinflussungshäufigkeiten

3.1 Arbeitsschritte

Zur Bestimmung der Häufigkeit der Beeinflussungen wurde ein sequentielles Vorgehen bestimmt:

1. Auswahl eines geeigneten Testperimeters zur Bestimmung der Beeinflussungshäufigkeiten.
2. Bestimmung der Beeinflussungshäufigkeiten im Testperimeter mittels Auswertung vorhandener Infrastrukturdaten und durch Lokführerbefragung.
3. Vergleich der Resultate von Lokführerbefragung und Infrastrukturdaten für den Testperimeter sowie allfällige Anpassungen aufgrund der Rückmeldungen und Auswertungen.
4. Bestimmung zusätzlicher Perimeter für die Identifikation der Beeinflussungshäufigkeiten.
5. Ermittlung der Beeinflussungshäufigkeiten in den zusätzlichen Perimetern mittels Lokführerbefragung.

3.2 Ausgewählte Perimeter

Für die Analyse wurden Perimeter bestimmt welche aufgrund der Beeinflussungen, der Infrastrukturauslastung und des Zugsmixes das Gesamtnetz der SBB möglichst repräsentativ wiedergeben. Für eine Auswertung der Beeinflussungshäufigkeit im Personenverkehr wurden die Perimeter Luzern und Baden/Brugg sowie für den Güterverkehr der Abschnitt Bözberg-Freiamt-Arth/Goldau (inklusive Anbindung an den RBL) ausgewählt (siehe Abbildung 2 und **Tabelle 1**). Der Perimeter Luzern wurde als Testperimeter ausgewählt, da für diesen Bereich im Rahmen früherer Projekte Infrastrukturdaten in ausreichender Menge verfügbar waren.

Perimeter	Netzeigenschaften	Befragungen	Infrastrukturdaten	Bekannte Konfliktpunkte
Luzern (P)	Hohe Auslastung im Gütsch Einspurabschnitte auf den meisten Zulaufstrecken Grosse Anzahl an EVUs Güterverkehr hauptsächlich tangential (via Rotkreuz)	Depot Luzern: 16 (Mai 2009)	Teilweise vorhanden	Gütsch Rotsee Gexi Hübeli Sursee
Baden/Brugg (P)	Die meisten IC/IR geplant als Bündel mit kurzen Zugfolgezeiten Hauptverkehrsachsen mit hohem Vernetzungsgrad und höchster Priorität für den Fernverkehr	Depot Zürich: 5 Depot Basel: 7 Depot Brugg: 3 (Juni/Juli 2009)	Nicht vorhanden	Killwangen Brugg Gexi – Lenzburg Rapperswil – Aarau
Arth/Goldau Freiamt Bözberg (C)	Anteil Personenverkehr (ausser RBL – Brugg) gering, Dominanz des Güterverkehrs Anzahl Ausweichstellen gering Bereich RBL – Othmarsingen/Brugg enge Verknüpfung von Güter- und Personenverkehr	Depot Basel: 9 Depot Erstfeld: 8 (September 2009)	Nicht vorhanden	Brugg / Brugg VL Hendschiken – Othmarsingen – Mägenwil Rotkreuz Arth/Goldau

Tabelle 1: Eigenschaften der betrachteten Perimeter

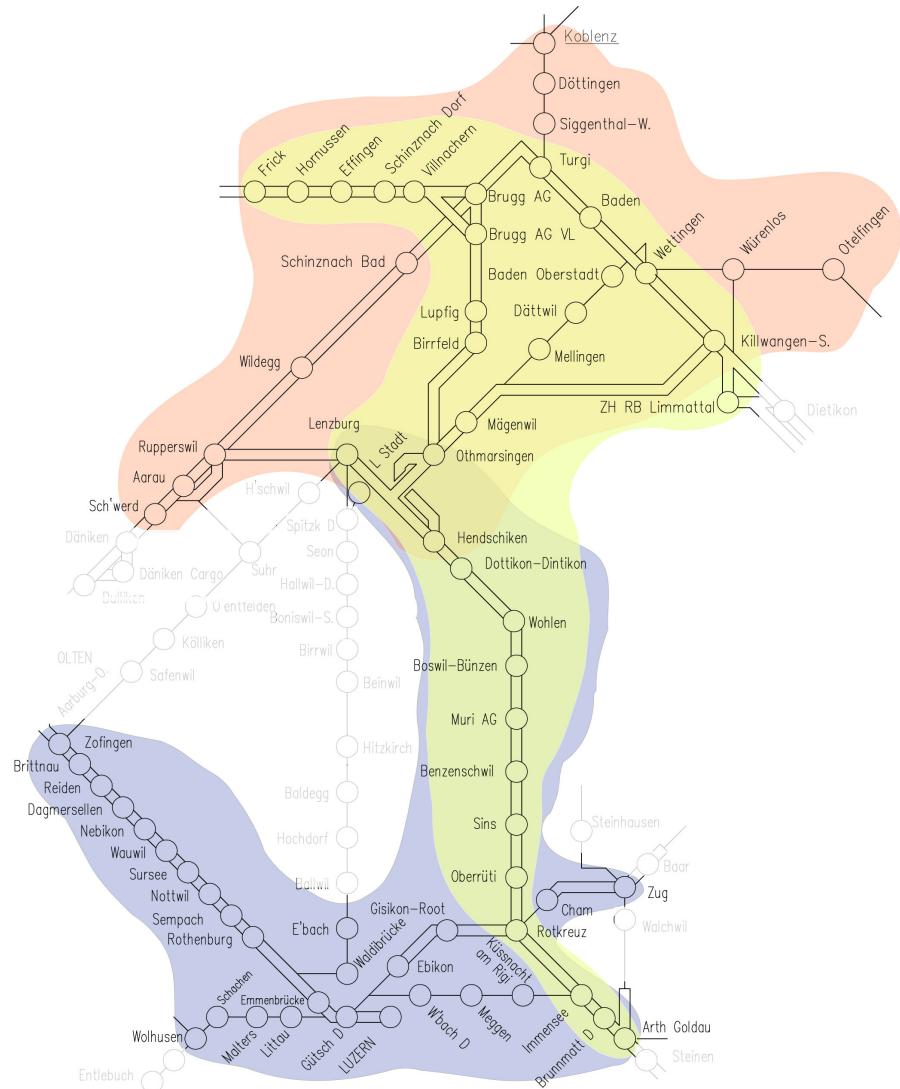


Abbildung 2: Fahrzeitverteilung Perimeter mit durchgeführten Lokführerbefragungen (blau: Luzern, rot: Baden/Brugg, gelb: Bözberg-Freiamt-Arth/Goldau) (Basierend auf der Netzkarte Normalspur SBB vom 10.7.2008)

4 Resultate Beeinflussungshäufigkeiten

4.1 Bestimmung der Beeinflussungshäufigkeiten

Zur Bestimmung der durchschnittlichen Anzahl Beeinflussungen pro Zugnummerngruppe und Konfliktpunkt wurde das arithmetische Mittel von allen gültigen Befragungen gebildet. Für die massgebende reduzierte Geschwindigkeit wurde der Medianwert ausgewählt. Der Anteil vermeidbarer Beeinflussungen beim Perimeter Bözberg – Freiamt – Arth/Goldau (C) wurde ebenfalls durch das arithmetische Mittel gebildet, wobei die angegebene Beeinflussungshäufigkeit als zusätzlicher Gewichtungsfaktor miteinbezogen wurde.

Eine Beeinflussung ist dabei nur ausgewiesen, falls mehr als ein Lokführer für eine gegebene Stelle und mit gleicher Zugnummerngruppe eine Beeinflussung angegeben hatte. Die Aussagen der befragten Lokführer wurden desweiteren nur verwendet, falls diese mit den betroffenen Zugsgruppen in den ausgewählten Perimetern ausreichend häufig in den zurückliegenden Monaten gefahren sind.

Bei der Befragung von Personenverkehrslokomotivführern wurden sämtliche Tageszeiten (Haupt-, Neben- und Randverkehrszeiten) zusammengefasst. Die Befragung der Cargo-Lokführer konzentrierte sich in erster Linie auf die Zeitspanne von 5:00 – 23:00 Uhr wenn der Personenverkehr den Güterverkehr massgeblich beeinträchtigt.

Bei mehreren Zügen pro Stunde haben diese unterschiedliche Fahrplanlagen und Abhängigkeiten. Trotzdem wurden in den allermeisten Fällen von den befragten Lokführern keine Unterschiede angegeben sodass die Züge in die gemeinsamen Zugnummerngruppen zusammengefasst wurden.

Für Güterzüge wurden ausschliesslich Cargo-Lokführer der Kategorie D befragt. Diese sind vielfach nicht mit Nahgüterzügen unterwegs und Post- oder Cargo-Expresszüge werden nur sehr unregelmässig von ihnen gefahren. Deshalb kann zu diesen Zugskategorien keine gültige Aussage erzielt werden. Generell gilt, dass für alle anderen Güterverkehrszüge unabhängig von Gattung, Last oder Maximalgeschwindigkeit die Beeinflussungshäufigkeiten in etwa gleich sind.

Zusatzzüge im Personenverkehr zu den Hauptverkehrszeiten (z.B. Interregio Luzern – Zürich via Enge oder Regionalzug Arth/Goldau – Freiamt – Zürich) werden durch das Lokpersonal zu selten gefahren um gültige Aussagen machen zu können. Diese Züge haben jedoch tendenziell mehr Beeinflussungen und lösen auch mehr Konflikte aus, wobei dies generell für die Hauptverkehrszeiten gilt.

Die befragten Lokführer mussten zudem angeben, ob in dem betrachteten Perimeter überdurchschnittlich oder unterdurchschnittlich viele Beeinflussungen im Vergleich zu dem restlichen Netz bestehen. Cargo-Lokführer mussten des weiteren Angaben zu Beeinflussungen während der Nacht angeben.

Die Befragungen wurden ausschliesslich mit SBB-Lokführern durchgeführt. Es wird davon ausgegangen, dass die Züge anderer EVUs gleich häufig beeinflusst werden wie diejenigen der SBB.

4.2 Perimeter Luzern (Personenverkehr)

4.2.1 Resultate Lokführerbefragung

Tabelle 2 listet die Resultate der Lokführerbefragungen inklusive Beeinflussungshäufigkeit und massgebende reduzierte Geschwindigkeit aufgrund der Bremsaktion für den Perimeter Luzern auf. Mit Ausnahme der Zugnummerngruppe 228xx (Regionalzüge Olten – Zofingen – Sursee) sowie 221xx (S-Bahn Zug – Rotkreuz) wurden für alle Zugnummerngruppen je mindestens eine Beeinflussung identifiziert.

Bezüglich der Beeinflussungshäufigkeiten wurden folgende Aussagen gemacht:

- 12 von 14 Lokführern haben angegeben, dass im Engpassbereich Gütsch – Bahnhof Luzern im Gegensatz zum restlichen Netz der SBB überdurchschnittlich viele Beeinflussungen vorkommen würden.
- Für den Perimeter Luzern außerhalb des Bereichs Gütsch – Bahnhof Luzern wurden durch die befragten Lokführer folgende Angaben gemacht:
 - o Weniger Beeinflussungen als im restlichen Netz: 5 Lokführer
 - o Ungefähr gleich viele Beeinflussungen wie im restlichen Netz: 7 Lokführer
 - o Beeinflussungen sind häufiger als im restlichen Netz: 1 Lokführer

Strecke	Punkt der Beeinflussung	Zugnummerngruppe	Mittlere relative Häufigkeit von Beeinflussungen [%]	Massgebende reduzierte Geschwindigkeit [km/h]	Maximale Streckengeschwindigkeit [km/h]
Rotkreuz - Luzern	Rotsee	6xx/21xx	5	40	90
		23xx	33	0	90
		211xx	11	0/40	90
	Gütsch	6xx/21xx	11	40	80
		23xx	9	0/40	80
		29xx	20	40	80
		211xx	28	0	80
		6xx/21xx	7	40	80
Luzern - Rotkreuz	Gütsch	23xx	5	0/40	80
		211xx	6	40	80
		6xx/21xx	7	40	80
Zofingen - Luzern	Nebikon - Sursee	6xx/21xx	6	40	125
		24xx_2	10	40	125
	Hübeli	219xx	24	0	90
		6xx/21xx	24	40	80
	Gütsch	24xx_2	26	40	80
		25xx	46	40	80
		35xx	28	40	80
		218xx	14	0/40	80
		219xx	19	40	80
		24xx_2	4	40	80
Luzern - Zofingen	Gütsch	25xx	9	40	80
		35xx	24	40	80
		219xx	6	40	80
		35xx	22	40	80
	Nottwil-Sursee	25xx	9	40	160
Arth/Goldau - Luzern	Gütsch	24xx_1	17	40	80
		213xx	14	0	80
Wolhusen - Luzern	Gütsch	33xx	20	0/40	80
		216xx	9	0/40	80
	Malters	216xx	21	40	125
Luzern - Wolhusen	Gütsch	33xx	30	0/40	80
Rotkreuz - Lenzburg	Gexi	70xx	46	0	125
Lenzburg - Rotkreuz	Hendschiken	70xx/73xx	5	0/60	90

Tabelle 2: Aus Lokführerbefragung ermittelte durchschnittliche Beeinflussungshäufigkeiten im Perimeter Luzern (Quelle für Maximale Geschwindigkeit: SBB RADN 10.5.2009)

4.2.2 Resultate Infrastrukturdatenauswertung

Daten von Vorbeifahrten der Züge an den Erfassungspunkten werden von den SBB nur für ausgewählte Punkte archiviert. Eine präzise Auswertung der Infrastrukturdaten bezüglich Beeinflussungen konnte daher nur für die beiden Abschnitte Gisikon – Ebikon – Rotsee – Gütsch sowie Rothenburg – Emmenbrücke – Gütsch erstellt werden. Datengrundlage waren Messungen von Mai – Juni 2007. Für den Abschnitt Gütsch – Luzern bestanden Erfassungsdaten, ohne zusätzliche Informationen zum Fahrverhalten oder den Signalzuständen können jedoch keine eindeutigen Aussagen zur Beeinflussung der Züge gemacht werden.

Eine Übersicht der ermittelten Beeinflussungshäufigkeiten aus den Infrastrukturdaten ist in Tabelle 3 gegeben. Zusätzliche Auswertung am Rotsee der Zugnummerngruppe 23xx von 2008 zeigten trotz des dichteren Zugsverkehrs übereinstimmende Resultate (34% Beeinflussungen) [4].

Konfliktpunkt	Fahrtrichtung	Zugnummerngruppe	Mittlere relative Häufigkeit von Beeinflussungen aus Infrastrukturdaten [%]	Mittlere relative Häufigkeit von Beeinflussungen aus Lokführerbefragung [%]
Rotsee	Luzern	6xx	15	5
		21xx	20	5
		23xx	38	33
		29xx	30	0
		211xx	0	11
Hübeli – Emmenbrücke – Gütsch	Luzern	6xx	60	24
		25xx	9	46

Tabelle 3: Aus Infrastrukturdaten ermittelte Beeinflussungshäufigkeiten

Der Vergleich der Resultate zwischen der Auswertung der Infrastrukturdaten und der Lokführerbefragung zeigt, dass die Befragung gegenüber den Infrastrukturdaten Abweichungen aufweisen. Die Abweichungen sind dabei grösser je weniger Befragungsresultate verfügbar waren (beispielsweise grosse Abweichung für die Züge 29xx mit nur 2 Lokführern und kleine Differenz für die Züge 23xx mit 16 gültigen Aussage). Falls mehrere Züge desselben Typs (z.B. Interregio) den gleichen Abschnitt befahren (beispielsweise 6xx und 25xx), kann es im Einzelnen zu grösseren Abweichungen führen. Im Gesamtdurchschnitt sind die Unterschiede zwischen Infrastrukturdaten und Befragung gering und können somit für die Abschätzung verwendet werden

4.3 Perimeter Baden/Brugg (Personenverkehr)

Die ermittelten durchschnittlichen relativen Beeinflussungshäufigkeiten sowie die jeweils aus den Bremshandlungen resultierende reduzierte Geschwindigkeit für den Perimeter Baden/Brugg sind in Tabelle 4 zusammengefasst. Keine Beeinflussungen wurden im gegebenen Perimeter für die Zugnummerngruppen 37xx (RE Zürich – Lenzburg – Aarau), 84xx/85xx (S27 Baden – Koblenz), 73xx (S26: Othmarsingen – Rotkreuz) und 186xx (S6 Baden – Otelfingen – Zürich) angegeben.

Das Lokpersonal bezeichnete den Perimeter Baden/Brugg als einen Netzausschnitt der SBB in welchem durchschnittlich viele Beeinflussungen stattfinden (wobei neben 6 Aussagen, das Gebiet habe mittlere Anzahl Beeinflussungen jeweils 3 Lokführer das Gebiet entweder als überdurchschnittlich oder unterdurchschnittlich betreffend Beeinflussungshäufigkeiten einschätzten).

Die Befragungen zeigten, dass trotz Informationen aus der Betriebsleitzentrale an die Lokführer (insbesondere für ICE und TGV Richtung Killwangen – Zürich) Züge beeinflusst werden. Die Zuglaufoptimierung in Killwangen reduziert zwar die Anzahl der Stillstände von Zügen, frühzeitige Informationen um ein unnötiges Abbremsen zu vermeiden können damit jedoch auch nicht übermittelt werden. Somit wird trotz Zuglaufoptimierung und mündlicher Information unnötige Energie verbraucht.

Strecke	Punkt der Beeinflussung	Zug-nummern-gruppe	Mittlere relative Häufigkeit von Beeinflussungen [%]	Massgebende reduzierte Geschwindigkeit [km/h]	Maximale Streckengeschwindigkeit [km/h]
Killwangen - Lenzburg - Schönenwerd	Killwangen	183xx	38	0	140
	Othmarsingen	17xx	5	90	130
		5xx	5	90	130
	Gexi	20xx BN	20	40	125
		8xx	9	40/90	125
		17xx	10	40/80	125
		21xx	9	40	125
		7xx	8	40/90	125
		5xx	6	40	125
	Lenzburg	15xx	13	80	125
		17xx	9	60/80	125
		21xx	6	80	125
		5xx	4	60	125
	Rapperswil	20xx BN	9	100	140
		8xx	9	100	140
		7xx TGV, ICE	15	100	140
		15xx	12	80	140
		17xx	4	90	140
		21xx	9	90	140
		7xx	8	90	140
		5xx	9	90	140
		20xx BN	17	100	160
	Aarau	8xx	13	100	160
		17xx	14	60	160
		21xx	9	100	160
		7xx	11	100	160
		5xx	16	100	160
		20xx BN	17	100	160
Schönenwerd - Lenzburg - Killwangen	Schönenwerd	17xx	7	60/80	125
		15xx	11	40	125
		8xx	8	40	125
		20xx BN	8	40	125
		5xx	5	40	125
		7xx	11	40	125
		21xx	6	40	125
	Aarau	17xx	14	100	140
		15xx	25	100	140
		8xx	30	100	140
		7xx TGV, ICE	35	100	140
		20xx BN	22	120	140
		5xx	18	100	140
		7xx	29	100	140
		21xx	19	120	140
	Lenzburg	17xx	20	60	140
		15xx	24	60	140
		8xx	9	60	140
		7xx TGV, ICE	14	60	140
		20xx BN	10	60	140
		5xx	30	0/60	140
		7xx	4	60	140
	Killwangen	21xx	19	60	140
		17xx	38	90	140
		15xx	38	90	140
		8xx	33	90	140
		7xx TGV, ICE	53	90	140
		20xx BN	23	90	140
		5xx	40	90	140
		7xx	24	90	140

		21xx	27	90	140
Killwangen - Brugg - Frick/ Schönenwerd	Baden	20xx BS	12	40	90
		19xx BS	16	40	90
	Turgi	20xx BS	8	0/40	110
		20xx BS	33	40	80
		19xx BS	17	40	80
	Aarau	66xx	6	40	140
Schönenwerd/Frick - Brugg - Killwangen	Schönenwerd	36xx	19	40	125
		20xx BS	15	40	110
	Turgi	19xx BS	10	40	110
		192xx	9	40	110
		20xx BS	10	60	70
	Baden	19xx BS	8	60	70
		20xx BS	7	90	140
		19xx BS	7	90	140
	Killwangen	19xx BN	13	90	140
		20xx BS	23	40	125
		70xx	33	40	125
Hendschicken - Aarau	Gexi	70xx	22	0/40	125
Aarau - Hendschicken	Lenzburg	70xx	26	40	110
Baden - Lupfig - Schönenwerd	Othmarsingen				

Tabelle 4: Aus Lokführerbefragung ermittelte durchschnittliche Beeinflussungshäufigkeiten im Perimeter Brugg/Baden (Quelle Maximale Geschwindigkeit: SBB RADN 10.5.2009)

4.4 Bözberg – Freiamt – Arth/Goldau (Cargo)

Bei der Befragung der Cargo-Lokführer wurden folgende Unterteilungen durchgeführt:

- Tageszeit:
 - o Während des Tages: 05:00 – 23:00 Uhr
 - o Während der Nacht: 23:00 – 05:00 Uhr
- Zugkategorie:
 - o Nahgüterzüge
 - o Postzüge und Cargo-Express Züge
 - o Übrige Ferngüterzüge

Die Interviews zeigten (4 gültige Aussagen), dass die Cargo-Express und Post-Züge auf dem Abschnitt Arth/Goldau – Lenzburg keine Beeinflussungen erleiden.

In der Nacht entstehen Beeinflussungen fast ausschliesslich durch Bau- oder Unterhaltsarbeiten welche immer wieder an anderen Punkten im Netz sind. Auch Nacht-S-Bahnen während des Wochenendes können zu Beeinflussungen führen. Einzig bei Brugg VL kommt es regelmässig (in rund 5% aller Fahrten während der Nacht) zu einer Beeinflussung zwischen Güterzügen.

Die meisten Lokführer haben angegeben, dass bei den übrigen Ferngüterzügen keine Unterschiede bei den Beeinflussungshäufigkeiten bestehen und somit unabhängig von maximal erlaubter Geschwindigkeit, Zugsgewicht oder Produktionsart vorkommen würden. Ausnahme sind sehr schwere Güterzüge an Punkten mit Steigung (z.B. am Bözberg). Diese werden dort weniger beeinflusst, auch weil eine Weiterfahrt sonst verunmöglich werden kann. Die Beeinflussungshäufigkeiten wurden daher für sämtliche übrigen Ferngüterzüge zusammengefasst. Die Resultate der Befragung für den Tagesverkehr sind in Tabelle 5 aufgelistet.

Bei Personenverkehrszügen bestimmt fast ausschliesslich der Zeitpunkt eines Ereignisses welches eine Beeinflussung zur Folge hat sowie der mögliche Handlungsspielraum ob eine Beeinflussung vermeidbar ist. Bei Güterverkehrszügen ist dies nicht der Fall. Aufgrund der Fahrplanlage gegenüber anderen Zügen und Überholungen ist eine Beeinflussung von Güterzügen nicht generell vermeidbar. Ausgehend von der Haltedauer bei einer Beeinflussung sowie der jeweiligen Situationen mussten die Lokführer zusätzlich zur Häufigkeit den Anteil der vermeidbaren Beeinflussungen angeben (siehe Tabelle 5). Die Geschwindigkeit vor der Beeinflussung variiert zwischen den Zügen und hängt daher nicht nur von der Strecke sondern auch vom Zug direkt ab (Bremsverhältnis).

Strecke	Punkt der Beeinflussung	Mittlere relative Häufigkeit von Beeinflussungen [%]	Maximale Vermeidbarkeit der Beeinflussungen [%]	Massgebende reduzierte Geschwindigkeit [km/h]
Arth/Goldau - Wohlen	Rotkreuz	17	81	60
	Benzenschwil	8	100	40
	Muri AG	9	98	40
Wohlen - Villnachern	Hendschiken	9	100	40
	Othmarsingen	18	89	40
	Brugg VL	28	48	0
Wohlen- RBL	Dottikon-D.	8	10	0
	Hendschiken	7	52	0/40
	Othmarsingen	29	14	0
	Mägenwil	21	8	0
	Killwangen-S.	5	76	40
Wohlen - Lenzburg	Lenzburg	42	22	0/40
RBL - Villnachern	RBL/Killwangen-S.	36	22	0
	Wettingen	12	100	0/40
	Baden	26	90	40
	Turgi	8	100	0/40
	Brugg	28	69	40
Villnachern - Frick	Frick	12	83	40
Frick - Villnachern	Effingen	9	0	0
Villnachern - RBL	Brugg	67	19	0
	Turgi	17	83	40
	Baden	19	88	40
	Killwangen-S.	6	83	40
Villnachern - Wohlen	Brugg VL	18	86	0/40
	Othmarsingen	33	56	0/40
	Hendschiken	14	87	40
	Dottikon-D.	4	93	40
RBL - Wohlen	RBL/Killwangen-S.	26	12	0
	Mägenwil	9	14	0
	Othmarsingen	11	65	0/40
	Hendschiken	4	50	0/40
Lenzburg - Wohlen	Lenzburg	5	97	40
	Hendschiken	8	38	0/40
Wohlen - Arth/Goldau	Boswil-B.	4	96	40
	Benzenschwil	6	100	40
	Rotkreuz	7	100	40
	Immensee	5	100	40
	Arth/Goldau	13	45	0/40

Tabelle 5: Aus Lokführerbefragung ermittelte durchschnittliche Beeinflussungshäufigkeiten für den Güterverkehr von 05:00 – 23:00 Uhr im Perimeter Bözberg – Freiamt – Arth/Goldau inklusive RBL

Der ausgewählte Perimeter Bözberg – Freiamt – Arth/Goldau mit der Anbindung zum RBL ist aus Sicht der befragten Lokführer ein Bereich mit leicht überdurchschnittlicher Anzahl von Beeinflussungen. 4 Lokführer haben angegeben, dass mehr Beeinflussungen stattfinden würden als im Rest des Netzes und 10 Lokführer sagten, dass im ausgewählten Bereich in etwa gleich viele Beeinflussungen stattfinden würden wie im gesamten Netz.

Die Lokführer haben zusätzlich angegeben, dass der zuständige Fahrdienstleider einen grossen Einfluss auf die Beeinflussungshäufigkeit einer einzelnen Fahrt habe. Werden den Lokführern Informationen übermittelt, können diese damit gezielt Beeinflussungen vermeiden. Mündliche Übermittlungen werden zwar laut Aussage der Lokführer seltener, für den Güterverkehr sind diese jedoch häufiger als für den Personenverkehr.

Die Pünktlichkeit gegenüber einer Plantrasse ist ein weiterer wichtiger Einflussfaktor auf die Beeinflussungshäufigkeit von Güterzügen. Züge die planmäßig verkehren haben deutlich weniger Beeinflussungen als vorzeitig oder verspätet verkehrende Züge. Um jedoch auf einzelnen Abschnitten die Auslastung zu steigern und weil an Grenzpunkten oder bei Rangierbahnhöfen die Züge teilweise nicht fahrplanmäßig bereit stehen, können Güterzüge manchmal nicht auf deren planmässiger Trasse verkehren.

5 Zusammenfassung Beeinflussungshäufigkeiten

5.1 Mittlere Beeinflussungshäufigkeiten im Personenverkehr

Die Beeinflussungshäufigkeiten der einzelnen Zugnummerngruppen können für den Personenverkehr in Zuggattungen sowie pro Zeit und Weg zusammengefasst werden. Die mittlere Beeinflussungshäufigkeit je Zuggattung und Perimeter wird bestimmt indem das arithmetische Mittel der Beeinflussungshäufigkeit der einzelnen Zugnummern gewichtet wird mit der jeweils täglichen Anzahl Zugfahrten sowie der Reisezeit oder Reisedistanz im gewählten Netzausschnitt. Fahrplanmässige Aufenthaltszeiten in Bahnhöfen die deutlich länger als der Fahrgastwechsel sind (z.B. Richtungswechsel der Intercity-Züge von Basel ins Tessin im Bahnhof Luzern) wurden bei den Reisezeitanalysen herausgefiltert, die normalen Aufenthaltszeiten sind jedoch in der Reisezeit enthalten. Die gesamte durchschnittliche Beeinflussungshäufigkeit wurde aus dem Mittel der beiden gewählten Perimeter bestimmt. Die Resultate der berechneten Beeinflussungshäufigkeiten sind Tabelle 6 zusammengefasst.

Zug-gattung	Luzern		Baden/Brugg		Gesamt	
	Beein-flussungen pro 100 km	Beein-flussungen pro 1h Reisezeit	Beein-flussungen pro 100 km	Beein-flussungen pro 1h Reisezeit	Beein-flussungen pro 100 km	Beein-flussungen pro 1h Reisezeit
IC	0.32	0.28	1.92	2.34	1.12	1.31
IR	0.65	0.56	1.23	1.01	0.94	0.78
RX	0.77	0.49	0.16	0.11	0.46	0.30
Regio	0.39	0.25	0.48	0.27	0.44	0.26
S-Bahn	0.57	0.30	0.41	0.22	0.49	0.26

Tabelle 6: Mittlere Beeinflussungshäufigkeiten im Personenverkehr

Obwohl die Lokführer den Bereich Luzern eher als überdurchschnittlich und Baden/Brugg als mittelmässig bezüglich der Beeinflussungshäufigkeiten beurteilten, finden im Perimeter Baden/Brugg für Intercity- und Interregio-Züge deutlich mehr Beeinflussungen statt. Der Engpass Gütsch im Perimeter Luzern, welcher insbesondere bei einfahrenden Zügen Beeinflussungen auslöst, wird daher wohl überschätzt. Im Mittel werden Intercity und Interregio etwa 1 Mal pro 100 Kilometer beeinflusst, während Regio-Express, Regionalzüge und S-Bahnen etwa 1 Mal alle 200 Kilometer beeinflusst werden. Während die Fernverkehrszüge vielfach auf der Strecke beeinflusst werden und daher eine Bremshandlung von den Lokführern vorgenommen werden muss, so hat ein Konflikt bei den Zuggattungen des Nahverkehrs meistens eine verzögerte Abfahrt zur Folge, was nicht mit unnötigem Energieverlust verbunden ist und somit nicht als Beeinflussung gewertet wird. Zudem laufen die langsam fahrenden Nahverkehrszüge deutlich weniger auf andere Züge auf als die schnelleren

Fernverkehrszüge. Aufgrund dieser beiden Faktoren ist die etwa doppelt so grosse Beeinflussungshäufigkeit pro 100 Kilometer bei den Fernverkehrszügen gegenüber den Nahverkehrszügen plausibel.

Die Aufteilung der Beeinflussungen nach Zuggattung und der resultierenden Geschwindigkeit für den Personenverkehr, aufgelistet in Tabelle 7, zeigt deutlich, dass die Fernverkehrszüge aufgrund eines Konfliktes selten vollständig zum stehen kommen wohingegen Nahverkehrszüge vermehrt halten müssen. Dies widerspiegelt die höhere Priorität der Fernverkehrszüge in der Disposition. Der grosse Unterschied in den resultierenden reduzierten Geschwindigkeiten zwischen den Perimetern Luzern und Baden/Brugg für Regionalzüge ist auf die tiefe Anzahl der Züge dieser Gattung zurückzuführen.

Zuggattung	Luzern		Baden/Brugg		
	Anteil reduzierte Geschwindigkeit 0 km/h [%]	Anteil reduzierte Geschwindigkeit 40 km/h [%]	Anteil reduzierte Geschwindigkeit 0 km/h [%]	Anteil reduzierte Geschwindigkeit 40 km/h [%]	Anteil reduzierte Geschwindigkeit 80 - 120 km/h [%]
IC	0	100	3	13	83
IR	23	77	1	36	63
RX	18	82	0	100	0
Regio	95	5	0	10	90
S-Bahn	55	45	81	19	0

Tabelle 7: Mittlere Beeinflussungshäufigkeiten im Personenverkehr

Nicht betrachtet wurden bei der Analyse Züge welche nicht im Takt fahren (beispielsweise während den Randverkehrszeiten oder Zusatzzüge zu den Hauptverkehrszeiten) sowie spezielle Züge wie der CityNightLine. Rund 10% aller täglichen Personenzüge (gesamthaft 826 Züge in Luzern und 963 Züge in Baden/Brugg) wurden daher in den beiden Perimetern nicht erfasst.

5.2 Mittlere Beeinflussungshäufigkeiten im Güterverkehr

Die mittlere Beeinflussungshäufigkeit der Ferngüterzüge, bestimmt aus den Angaben der Lokführer für den Perimeter Bözberg – Arth/Goldau, beträgt im Mittel 1.76 pro 100 Kilometer (siehe Tabelle 8). Davon können im Durchschnitt 57% vermieden werden. Cargo-Express und Postzüge werden sehr selten beeinflusst (Aussage von 4 Lokführern für den Korridor Arth/Goldau – Lenzburg). Für Nahgüterzüge konnten keine Zahlen erhoben werden. Zudem zeigte die Analyse, dass die Anteile von Beeinflussungen mit und ohne Halt in etwa gleich gross sind.

Korridor	Beeinflussungen pro 100 km	Vermeidbarkeit der Beeinflussung [%]	Anteil reduzierte Geschwindigkeit 0 km/h [%]	Anteil reduzierte Geschwindigkeit 40 km/h [%]
Frick - Arth/Goldau	1.36	68	36	64
Arth/Goldau - Frick	1.24	78	28	72
Frick - RBL	3.30	41	64	36
RBL - Frick	3.41	66	38	62
RBL - Arth/Goldau	1.32	48	58	42
Arth/Goldau - RBL	1.64	42	59	41
Durchschnittliche Beeinflussungshäufigkeit	1.76	57	47	53

Tabelle 8: Mittlere Beeinflussungshäufigkeiten von Ferngüterverkehrszügen auf ausgewählten Korridoren

Die Auswertung zeigt, dass auf dem Korridor Frick – RBL in beide Richtungen der Ferngüterverkehr deutlich mehr beeinflusst wird als auf den anderen Strecken. Der dichte Fahrplan sowie die Vielzahl von Konfliktpunkten auf kurzem Abschnitt führen zu dem vergleichsweise hohen Wert.

5.3 Gesamtzahl vermeidbarer Beeinflussungen auf dem Netz der SBB

Die in der vorliegenden Studie ermittelte, durchschnittliche Konflikthäufigkeit basiert hauptsächlich auf Interviews mit Lokführern. Die Genauigkeit könnte noch verbessert werden, wenn die bestehenden Daten aus den Sicherungsanlagen (Zeitpunkt der Fahrstrasseneinstellung) verwendet werden könnten. Damit könnte zusätzlich eine ortsgenaue Abschätzung erfolgen. Des Weiteren lassen sich Engstellen im Netz sowie verspätungsanfällige Orte und Züge noch präziser als bisher identifiziert. Auch Gesetzmäßigkeiten der Konflikte bezüglich Tageszeit oder Wochentage könnten mittels automatischer Datenanalyse ermittelt werden.

Die Vermeidbarkeit eines Konfliktes nur aufgrund der Betriebsdaten zu bestimmen wäre schwierig. Die Aussagen der Lokführer sind daher eine wichtige Grundlage für die Ermittlung der potentiellen Energieeinsparung. Für die nicht-vermeidbaren Konflikte kann angenommen werden, dass den Lokführer in den meisten Fällen rechtzeitig eine entsprechende Information angezeigt werden kann. Die Lokführer können so zwar den Konflikt nicht vermeiden, jedoch das Fahrverhalten anpassen sodass der Einsatz der mechanischen Bremse minimiert werden kann.

Literatur

- [1] M. Meyer, S. Menth, M. Lerjen: Verifizierung der Stromeinsparung durch ein effizientes Zugsmanagement: Schlussbericht zur BFE Studie. *emkamatik*-Dokument 09-0313 vom 21.11.2009.
- [2] M. Meyer, S. Menth, M. Lerjen: Potentialermittlung Energieeffizienz Traktion bei den SBB: Schlussbericht zum BFE-Projekt 101826 / 152247, 13.12.2007.
- [3] F. Laube, S. Roos, R. Wüst, M. Lüthi, U. Weidmann: PULS90 - Ein systemumfassender Ansatz zur Leistungssteigerung von Eisenbahnnetzen: ETR Eisenbahntechnische Rundschau, 56, Ausgabe 3/2007, pp. 104 - 107.
- [4] M. Lüthi: Improving the Efficiency of Heavily Used Railway Networks through Integrated Real-Time Rescheduling, Dissertation, IVT, ETH Zürich, 2009.
- [5] R. Chaumet, K. Axhausen, M. Bernard, P. Locher, M. Lüthi, D. Imhof: Verfahren zur Berücksichtigung der Zuverlässigkeit in Evaluationen: Schlussbericht zur Forschungsarbeit SVI 2002/002, 28.2.2007.
- [6] M. Meyer, M. Roth, B. Schaller: Einfluss der Fahrweise und der Betriebssituation auf den Energieverbrauch von Reisezügen. Schweizerische Eisenbahn-Revue 8-9/2000 pp. 360 - 365.

0	9.9.2009	ML	---
1	26.11.2009	ML	Ergänzungen nach Review durch <i>emkamatik</i>