



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Verkehr BAV
Programm Umsetzung der Energiestrategie 2050
im öffentlichen Verkehr (ESöV 2050)

132 Entwicklung und Betriebstest von Fahr- empfehlungen – eco2.0

Schlussbericht

Matthias Tuchschen, Schweizerische Bundesbahnen SBB

Industriestrasse 1, 3052 Zollikofen, matthias.tuchschen@sbb.ch, www.sbb.ch/energie

Kernteam

| | |
|---------------------------------|---|
| SBB Lokpersonal Personenverkehr | Stephan Gut, Markus Kröpfli, Andreas Müller, Marcel Tonini, Urs Zysset, Steve Nef |
| SBB Lokpersonal Güterverkehr | Dominik Baumberger |
| SBB Fahrplan & Betrieb | Thomas Graffagnino, Fabian Flück, Peter Thalmann, René Wechsler |
| SBB Informatik | Alex Helm, Martin Kyburz, |
| SBB Energie | Philipp Keiser, Roland Schäfer, Marco Weibel, Roland Schäfer, Roland Aeschbacher, Matthias Tuchschen |
| SBB Innovation | Charly von Grünigen |
| BLS Personenverkehr | Thomas Studer |

Impressum

Herausgeberin:

Bundesamt für Verkehr BAV

Programm Umsetzung der Energiestrategie 2050 im öffentlichen Verkehr (ESöV 2050)

CH-3003 Bern

Programmleiter

Tristan Chevroulet, BAV

Projektnummer: 132

Bezugsquelle

Kostenlos zu beziehen über das Internet

www.bav.admin.ch/energie2050

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor –in oder sind ausschliesslich die Autoren – innen dieses Berichts verantwortlich.

Bern, den 2.6.2021

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Zusammenfassung | 6 |
| Résumé | 11 |
| 1. Ausgangslage | 16 |
| 2. Projektziel | 20 |
| 3. Forschungsansatz und aktueller Wissensstand | 20 |
| 4. Ergebnisse | 24 |
| 4.1. Optimierte Geschwindigkeitsprofile vPRO | 25 |
| 4.1.1. Darstellung auf dem Endgerät | 25 |
| 4.1.2. Akzeptanz vom Lokpersonal | 26 |
| 4.1.3. Analyse der Fahrpräzision und Ankunftszeitgenauigkeit | 28 |
| 4.1.4. Veränderung des Energiebedarfs | 31 |
| 4.1.5. Berechnung von vPRO mit einzelnen Entwicklungsschritten | 34 |
| 4.1.6. Betriebstests optimiertes Fahrprofil vPRO | 38 |
| 4.1.7. Business Transformation | 42 |
| 4.2. Aktualisierte Fahrlage | 45 |
| 4.2.1. Bisherige Darstellung auf dem Endgerät | 46 |
| 4.2.2. Neue Darstellung auf dem Endgerät | 47 |
| 4.2.3. Technische Umsetzung | 48 |
| 4.2.4. Akzeptanz vom Lokpersonal | 49 |
| 4.2.5. Betriebstests Aktualisierte Fahrlage | 50 |
| 4.2.6. Energieeinsparung durch «Aktualisierung Fahrlage» | 51 |
| 5. Diskussion | 53 |
| 6. Schlussfolgerungen und Empfehlungen | 55 |
| 7. Abkürzungen | 56 |
| 8. Literaturverzeichnis | 58 |
| 9. Anhang | 59 |
| 9.1. Energiebedarfsreduktion aufgrund vPRO im Regionalverkehr | 59 |
| 9.2. Energiebedarfsreduktion aufgrund vPRO im Fernverkehr (Teil 2) | 61 |
| 9.3. Vergleich der Ankunftszeitgenauigkeit der S14 | 61 |
| 9.4. Beitrag für 8 th ICROMA-Conference in Norrköping: «Energy Savings with Enhanced Static Timetable Information for Train Drivers» | 62 |

Präzis und energiesparend unterwegs.

Im Projekt wurden zwei neue Funktionen entwickelt: Das optimierte Fahrprofil vPRO ist im Personenverkehr die Ergänzung zur adaptiven Lenkung ADL: Kurz vor Abfahrt wird mit den aktuell verfügbaren Daten ein energieoptimiertes und fahrdynamisch korrektes Fahrprofil gerechnet. Und die Güterverkehrszüge erhalten als Ergänzung zu den ADL-Meldungen quasi einen Liveblick in die Betriebszentrale: So erkennt das Lokpersonal sofort die Dispositionsentscheide und kann noch besser die reale Situation abschätzen. Mit diesen beiden Funktionen wird der Bahnverkehr noch pünktlicher und stabiler – und die Züge benötigen weniger Energie.

Für den pünktlich verkehrenden Regelbetrieb im Personenverkehr hat die SBB zum bisherigen System RCS-ADL nun die ergänzende Funktion vPRO entwickelt. Das optimierte Fahrprofil vPRO mit den präzisen, betrieblichen Zeiten schafft eine neue gemeinsame Basis in der Bahnproduktion. Erstmals verwenden Lokpersonal, Fahrplan und Betrieb die gleichen Informationen. Damit kann das Lokpersonal seine Handlungskompetenz voll ausspielen und situativ die optimale Fahrstrategie wählen.

Für den Güterverkehr wurde die Funktion «Aktualisierung Fahrlage» realisiert: Neu werden die aktuellen Prognosezeiten von RCS auf das LEA-Tablet vom Lokpersonal gespiegelt. So verfügen nun die Disponenten der Betriebszentrale und das Lokpersonal zeitgleich über die genau gleiche Prognose. Der Vorteil: Das Lokpersonal sieht nun direkt die aktuelle Betriebslage des Zuges und erkennt ohne Zeitverzögerung, was der Disponent in der Betriebszentrale plant.

Der durchaus erwünschte Nebeneffekt der beiden neuen Funktionen: Durch die angepassten Geschwindigkeiten und den flüssigeren Betrieb benötigen die Züge weniger Energie. Nach bisherigen Messungen reduziert sich der Energiebedarf im Regionalverkehr je nach Strecke und Rollmaterial um 2 % bis 4 %, im Fernverkehr zwischen 1% und 3%. Im Güterverkehr wird die Einsparung im Transitverkehr rund 4% betragen.

Seit Januar 2021 nutzen rund 3000 Lokführerinnen und Lokführer von SBB Personenverkehr und Güterverkehr die beiden Funktionen, zusätzlich wird vPRO von BLS, thurbo und transN eingesetzt. Die Daten stehen allen Eisenbahnverkehrsunternehmen im Normalspurnetz unentgeltlich über die ADL-Schnittstelle zur Verfügung. Für die Entwicklung der Algorithmen zur vPRO-Berechnung wurde die SBB mit einem Preis an der Konferenz «International Conference on Railway Operations Modelling and Analysis» ausgezeichnet.



Die Basis des optimierten Geschwindigkeitsprofils vPRO ist der Fahrplan. Ein Algorithmus bestimmt mit Hilfe der Zuglenkdaten für jeden einzelnen Zug täglich die betrieblich relevanten Fixpunkte und berechnet daraus das optimierte Geschwindigkeitsprofil vPRO.



Das Lokpersonal erhält bei jedem Zugauftrag die aktuellen vPRO-Informationen über den ADL-Kanal geliefert und auf dem Tablet dargestellt. Damit kann nun die optimale Fahrstrategie gewählt werden, so dass die Züge sicher, pünktlich und wirtschaftlich verkehren.

Précision et économie d'énergie sur la route.

Deux nouvelles fonctions ont été développées dans le cadre du projet : Le profil de conduite optimisé vPRO est le complément de la direction adaptative ADL dans le trafic de passagers: peu avant le départ, un profil de conduite optimisé en énergie et dynamiquement correct est calculé à l'aide des données actuellement disponibles. Et en complément des messages ADL, les trains de marchandises ont une vue quasi réelle sur le centre de contrôle des opérations : cela permet à l'équipe de la locomotive de reconnaître immédiatement les décisions de répartition et de mieux évaluer la situation réelle. Ces deux fonctions rendent le trafic ferroviaire encore plus ponctuel et stable - et les trains nécessitent moins d'énergie.

Les CFF ont maintenant développé la fonction vPRO pour compléter le système RCS-ADL existant pour le service régulier de passagers ponctuels. Le profil de voyage vPRO optimisé, avec ses horaires précis, crée une nouvelle base commune pour la production ferroviaire. Pour la première fois, le personnel des locomotives, l'horaire et l'exploitation utilisent les mêmes informations. Cela permet à l'équipage de la locomotive d'utiliser pleinement son autorité et de choisir la stratégie de conduite optimale pour la situation.

Pour le trafic de marchandises, la fonction "Actualiser la situation de conduite" a été mise en œuvre : Maintenant, les heures de prévisions actuelles du RCS sont reflétées sur la tablette LEA par le personnel de la locomotive. Cela signifie que les dispatchers du centre de contrôle des opérations et le personnel des locomotives ont maintenant exactement les mêmes prévisions au même moment. L'avantage : le personnel de la locomotive voit maintenant directement la situation opérationnelle actuelle du train et peut voir sans délai ce que le dispatcher du centre de contrôle des opérations prévoit.

C'est un effet secondaire bienvenu des deux nouvelles fonctions : Grâce aux vitesses adaptées et à une exploitation plus souple, les trains nécessitent moins d'énergie. Selon des mesures antérieures, les besoins en énergie du trafic régional sont réduits de 2 à 4 % selon la ligne et le matériel roulant, et de 1 à 3 % dans le trafic longue distance. Dans le trafic de marchandises, les économies réalisées dans le trafic de transit seront d'environ 4 %.

Depuis janvier 2021, près de 3000 conducteurs de locomotives des CFF trafic voyageurs et trafic marchandises utilisent les deux fonctions ; vPRO est également utilisé par le BLS, turbo et transN. Les données sont disponibles gratuitement pour toutes les entreprises ferroviaires du réseau à écartement normal via l'interface ADL. Les CFF ont été récompensés lors de la « International Conference on Railway Operations Modelling and Analysis » pour le développement des algorithmes de calcul de vPRO.



La base du profil de vitesse optimisé vPRO est le calendrier. Un algorithme détermine quotidiennement les points fixes pertinents pour l'exploitation de chaque train individuel à l'aide des données de guidage du train et calcule le profil de vitesse optimisé vPRO.



À chaque appel de train, l'équipage de la locomotive reçoit les informations vPRO actuelles via le canal ADL et affichées sur la tablette. Cela signifie que la stratégie de conduite optimale peut désormais être choisie de manière que les trains circulent en toute sécurité, avec ponctualité et de manière économique.

Precise and energy-saving on the move.

Two new functions were developed in the project: The optimised driving profile vPRO is the supplement to the adaptive steering ADL in passenger traffic: Shortly before departure, an energy-optimised and dynamically correct driving profile is calculated using the currently available data. And in addition to the ADL messages, the freight trains are given a quasi live view of the operations centre: this enables the locomotive crews to immediately recognise the dispatching decisions and can assess the real situation even better. These two functions make rail traffic even more punctual and stable - and the trains require less energy.

SBB has now developed the supplementary function vPRO to the previous RCS-ADL system for punctual regular passenger service. The optimised vPRO travel profile with its precise operating times creates a new common basis for rail production. For the first time, locomotive personnel, timetable and operations use the same information. This enables the locomotive crew to make full use of their skills and to select the optimum driving strategy for the situation.

For freight traffic, the function "Update driving situation" was implemented: Now the current forecast times of RCS are mirrored on the LEA tablet by the locomotive personnel. This means that the dispatchers in the control centre and the locomotive personnel now have exactly the same forecast at the same time. The advantage: The locomotive personnel now directly see the current operating situation of the train and can see without delay what the dispatcher in the operations centre is planning.

This is a welcome side effect of the two new functions: Due to the adapted speeds and the smoother operation, the trains need less energy. According to previous measurements, the energy requirement in regional traffic will be reduced by 2% to 4% depending on the line and rolling stock, and between 1% and 3% in long-distance traffic. In freight transport, the savings in transit traffic will be around 4%.

Since January 2021, around 3000 locomotive drivers from SBB Passenger Traffic and Freight Traffic have been using the two functions; vPRO is also used by BLS, thurbo and transN. The data is available free of charge to all railway undertakings on the standard network via the ADL interface. SBB was awarded a prize at the « International Conference on Railway Operations Modelling and Analysis » for the development of the algorithms for vPRO calculation.



The basis of the optimised speed profile vPRO is the timetable. An algorithm determines the operationally relevant fixed points for each individual train every day with the help of the train steering data and calculates the optimised speed profile vPRO from this.



With each train call, the locomotive crew receives the current vPRO information via the ADL channel and displayed on the tablet. This means that the optimum driving strategy can now be selected so that the trains run safely, punctually and economically.

Zusammenfassung

Ausgangslage und Zielsetzung

Für einen möglichst stabilen Bahnbetrieb ist ein gewisses Mass an Zeitreserven notwendig – Baureserven, Haltezeitreserven und allgemeine Fahrzeitreserven. Sie bilden zusammen mit den Fahrzeiten den sekundenscharfen betrieblichen Fahrplan der SBB. Das Lokpersonal kannte bisher weder die Verteilung der Zeitreserven noch die betrieblichen Zeiten. Die Lokführerinnen und Lokführer haben sich vielmehr am Kundenfahrplan orientiert, also den am Perron angeschriebenen minutengenauen Kundenzeiten. Diese unterschiedlichen Fahrpläne waren eine Ursache für die teils grosse Streuung der Fahrten und die Abweichung zwischen Soll und Ist. Zudem sorgte die Diskrepanz immer wieder für Fragen zwischen Lokpersonal und Betriebszentrale.

Im Güterverkehr ist die Situation für das Lokpersonal noch unübersichtlicher: Zwar sind die betrieblichen Zeiten aus dem Jahresfahrplan bekannt, tatsächlich fahren die Züge jedoch höchst selten auf dem geplanten Trasse. Vielmehr orientieren sich die Lokführer mehr oder weniger an den Signalen. Durch diese inkonsistenten Informationen resultiert eine relativ grosse Streuung bezüglich Fahrpräzision und Energiebedarf der verschiedenen Zugfahrten.

Fachübergreifendes Kernteam als Schlüssel für Erreichung der Projektziele

Das interdivisional zusammengesetzte Kernteam hat zwischen Januar 2018 und Oktober 2020 Lösungen für eine präzisere und energieeffizientere Bahnproduktion im Regelbetrieb entwickelt. Konkret sollten in dieser Zeit die folgenden drei Ziele erreicht werden:

- Machbarkeitsnachweis für Berechnung «optimiertes Geschwindigkeitsprofil vPRO»
- Betriebstest mit Verifizierung von Energiebedarf, Fahrvarianz und Pünktlichkeit
- Kommunikation und begleitende Aktivitäten für Rollout und Business Transformation

Durch die intensive und fachübergreifende Zusammenarbeit wurde von Beginn weg sicher gestellt, dass die zu entwickelnden Funktionen vollumfänglich den Anforderungen der verschiedenen Geschäftseinheiten entsprechen.

Realisierte Änderungen im Personenverkehr: vPRO und präzise Zeiten

Im Lokführertablet von Personenverkehr wurden zwei kleine, aber entscheidende Änderungen für den Regelbetrieb eingeführt:

- a) die präzisen, betrieblichen Zeiten und
- b) das optimierte Geschwindigkeitsprofil vPRO.

An der Funktion «ADL Konflikt» hat sich explizit nichts geändert, d.h. das Lokpersonal wird bei betrieblichen Abweichungen wie bisher über den ADL-Kanal informiert.

| 2 | | | | | | |
|----------------|----------|------|-----|-----------|---------|--|
| Beedorf | | R150 | PRO | An | Ab | 15:10:57 24.12.19 |
| Aawil | | 110 | 80 | | 15:14:2 | SBBP 999 ADL |
| Beedorf | 80 90 | 105 | 90 | (15:18:1) | | Block P161/Q261 Block P162/Q262 |
| Cébourg | | 110 | 90 | (15:22:4) | | 00:03:13 |
| Duffles | | 100 | 80 | 15:25:2 | 15:26:2 | Manövrieren |

① Präzise, betriebliche Zeiten

② Optimiertes Geschwindigkeitsprofil vPRO

Diese beiden neuen Informationen dienen einer optimierten Bahnproduktion:

- **Präzise, betriebliche Zeiten**

Als Standard werden neu die präzisen, betrieblichen Zeiten angezeigt, welche sowohl Fahrplan wie auch die Betriebszentrale verwendet. Mit einem Klick auf den Spaltenkopf sind immer auch die kommerziellen Zeiten sichtbar. Die betrieblichen Halte- und Durchfahrtszeiten werden in 10-Sekundenschritten angezeigt ($15:14:2 = 15:14 + 20$ Sekunden).

- **Optimiertes Geschwindigkeitsprofil vPRO**

Bei pünktlicher Abfahrt entsprechen die empfohlenen vPRO-Geschwindigkeiten der Durchschnittsgeschwindigkeit für eine pünktliche Ankunft. Der geplante Fahrweg, kurzfristige Langsamfahrstellen und fahrzeugspezifische Eigenschaften sind mit einberechnet.

Resultate von vPRO und den präzisen Zeiten im Personenverkehr

Die neuen Informationen führen zu einer gewünschten Anpassung im Regelbetrieb durch die Reduktion der Vorzeitigkeit. Dies führt einerseits zu einem entspannteren Fahren, andererseits zu einer präziseren Bahnproduktion mit weniger Fahrvarianz und drittens einem tieferen Energiebedarf.

Entspannteres Fahren dank vPRO und hohe Akzeptanz beim Lokpersonal

Die neuen Informationen wirken sich mehrfach positiv für das Lokpersonal aus. Dank der Transparenz der konfliktfrei geplanten Zeiten und der effektiven Fahrzeitreserven vermindert sich der Zeitdruck und das Lokpersonal ist insgesamt entspannter unterwegs. Dies bestätigten viele Rückmeldungen von Lokführerrinnen und Lokführer an das Kernteam. Durch den verbesserten Zugfluss reduzieren sich zudem die Konfliktsituationen mit Bremsungen auf Halt zeigende Signale, was zu mehr Sicherheit beiträgt.

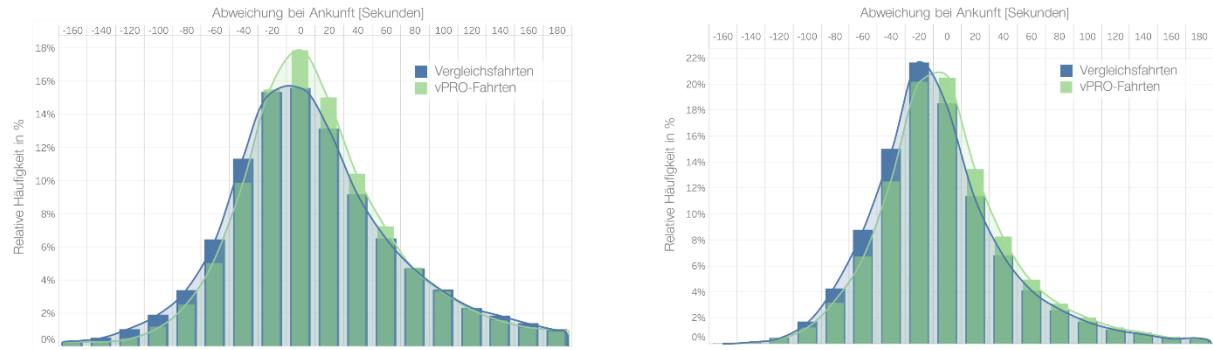
Reduktion von Fahrvarianz mit vPRO

In den Jahren 2018 bis 2020 wurden insgesamt 6 Betriebstests mit rund 73'000 Testfahrten und dem optimierten Geschwindigkeitsprofil vPRO durchgeführt, schrittweise wurde die Berechnung optimiert. Alle vPRO-Fahrten wurden mit den effektiven Zeiten aus dem RCS-Archiv analysiert und mit rund 82'000 Vergleichsfahrten verglichen.

Die nun aktuellen Daten vom 9. Juni bis am 6. Juli 2020 mit insgesamt 53'808 vPRO-Fahrten und 65'104 Vergleichsfahrten zeigen tatsächlich eine Erhöhung der Präzision, resp. eine Reduktion der Fahrvarianz. Die Daten wurden separat nach Fernverkehr und Regionalverkehr ausgewertet (siehe Abbildung 1):

- Im **Fernverkehr** ist bei den vPRO-Fahrten das Maximum deutlicher ausgeprägt und hat sich von einer leichten Vorzeitigkeit auf den Nullpunkt verschoben. Insgesamt zeigt sich eine leicht reduzierte Breite der Verteilung, resp. was einer Erhöhung der Präzision entspricht (Abnahme Fahrvarianz).
- Auch im **Regionalverkehr** hat sich das Maximum der vPRO-Fahrten leicht zum Nullpunkt bewegt, die Vorzeitigkeit konnte wie erwünscht reduziert werden. Insgesamt ist die Präzision (Breite der Verteilung) praktisch gleich wie bei den Vergleichsfahrten.

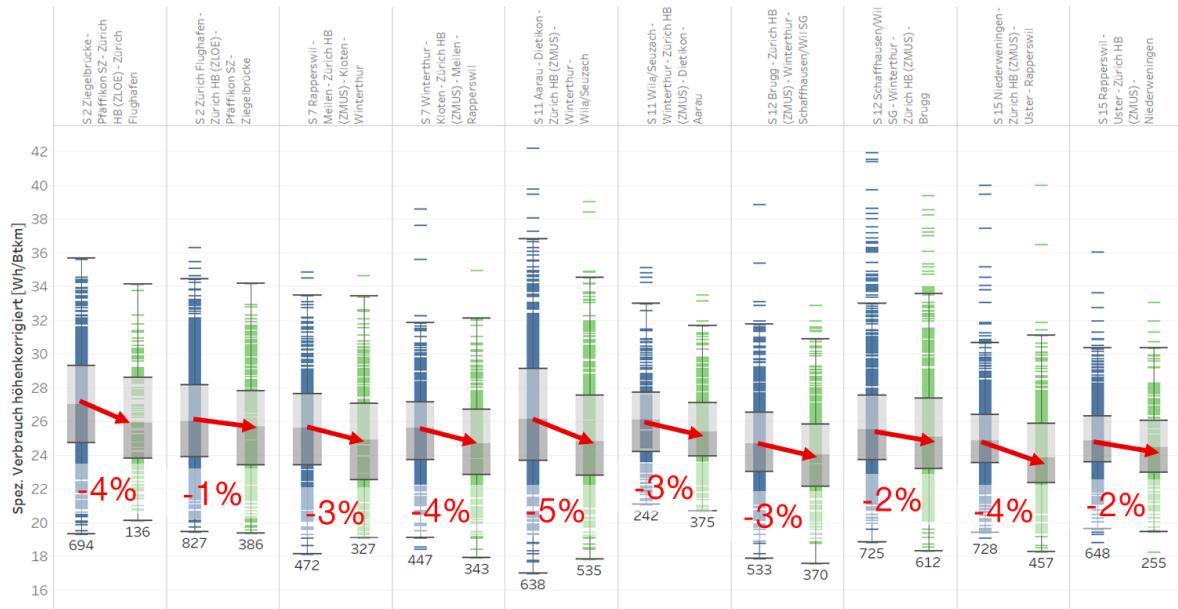
Abbildung 1: Vergleich der Ankunftspräzision im Fernverkehr (links) und Regionalverkehr (rechts)



Höhere Energieeffizienz mit vPRO

In den Betriebstests wurde sowohl von den vPRO- wie auch von den Vergleichsfahrten der spezifische Energiebedarf für jede Fahrt ermittelt, die Messung erfolgte mit den Energiemessgeräten zur Ist-Verrechnung. Da der Energiebedarf wesentlich von der Strecke, der Anzahl Halte, dem Fahrzeugtyp und den Fahrzeitreserven vom betrieblichen Fahrplan abhängt, wurde folgendes Vorgehen gewählt: Verglichen wurden jeweils nur Fahrten der gleichen Zugfamilie und auf gleicher Strecke (z.B. S12 von Brugg nach Winterthur). Es zeigt sich, dass der Energiebedarf praktisch auf allen Strecken vom Regionalverkehr um 2% bis 4% abnimmt, im Fernverkehr zwischen 1% und 3%. Umgerechnet auf den Gesamtenergiebedarf von SBB Personenverkehr ergibt sich daraus eine Einsparung von rund 35-45 GWh pro Jahr, resp. 4-5 Mio. CHF jährlich.

Abbildung 2: Energieabnahme durch vPRO in der Zürcher S-Bahn (Auswahl).



Zu beachten ist, dass aufgrund von Covid-19 während den letzten Betriebstests die Zugauslastung noch wesentlich tiefer als normal war und die Betriebslage als sehr ruhig zu bezeichnen war. Zu erwarten ist zudem, dass bestimmte systemische Effekte erst nach Freischaltung vom gesamten Lokpersonal zum Tragen kommen. Aufgrund der heutigen Datenbasis lässt sich noch keine dauerhaft belastbare Aussage zur effektiven Einsparung machen. Deshalb erfolgt ein ex-post Wirkungsnachweis im dritten Quartal 2021.

Änderung im Güterverkehr: Aktualisierte Fahrlage

Bereits aus den ersten Testfahrten im Sommer 2018 wurde klar, dass für den Güterverkehr das optimierte Geschwindigkeitsprofil vPRO nicht passt. Deshalb wurde die Funktion «Aktualisierung Fahrlage» geschaffen: Mit einem Klick im Tablet holt sich das Lokpersonal die aktuellen RCS-Prognosezeiten und kann so wesentlich besser die Betriebslage abschätzen.

The screenshot shows the RCS tablet interface with the 'Fahren' tab selected. The main area displays a table of train routes and their arrival times at various stations. A red box highlights the arrival time '14:34:5' for the stop 'Altdorf'. A red bracket labeled '1' points to this highlighted cell. A second red bracket labeled '2' points to the bottom right corner of the screen, where a clock icon is located, indicating the button to update the travel times.

- 1 Sobald aktuelle Prognosezeiten innerhalb von RCS vorliegen, erscheint der Button mit der Uhr. Ein Klick darauf aktualisiert die Zeiten der Fahrordnung.
- 2 Die aktuellen Durchfahrtszeiten gemäss Betrieb (RCS) werden inkl. Sekundenan-gabe angezeigt – die bisherigen Durchfahrtszeiten werden überschrieben.

Die Funktion «Aktualisierung Fahrlage» wurde auf den Produktivsystemen von RCS und dem Lokführertablet im November 2019 in 651 Fahrten getestet und für gut befunden. Seit Februar 2021 fährt das Lokpersonal von SBB Cargo und SBB Cargo International mit den neuen Informationen.

Hohe Akzeptanz vom Lokpersonal und Gefühl von besserer Informationslage

Mittels Fragebogen wurde während dem Betriebstest die Akzeptanz der Änderungen beim Lokpersonal erhoben. Die Rückmeldungen zeigen, dass rund 80% der Lokführer die Änderungen befürworten, 20% sind eher skeptisch eingestellt. Unisono erklärte das Lokpersonal allerdings, dass es sich durch die neue Funktion «aktualisierte Fahrlage» besser informiert fühlt.

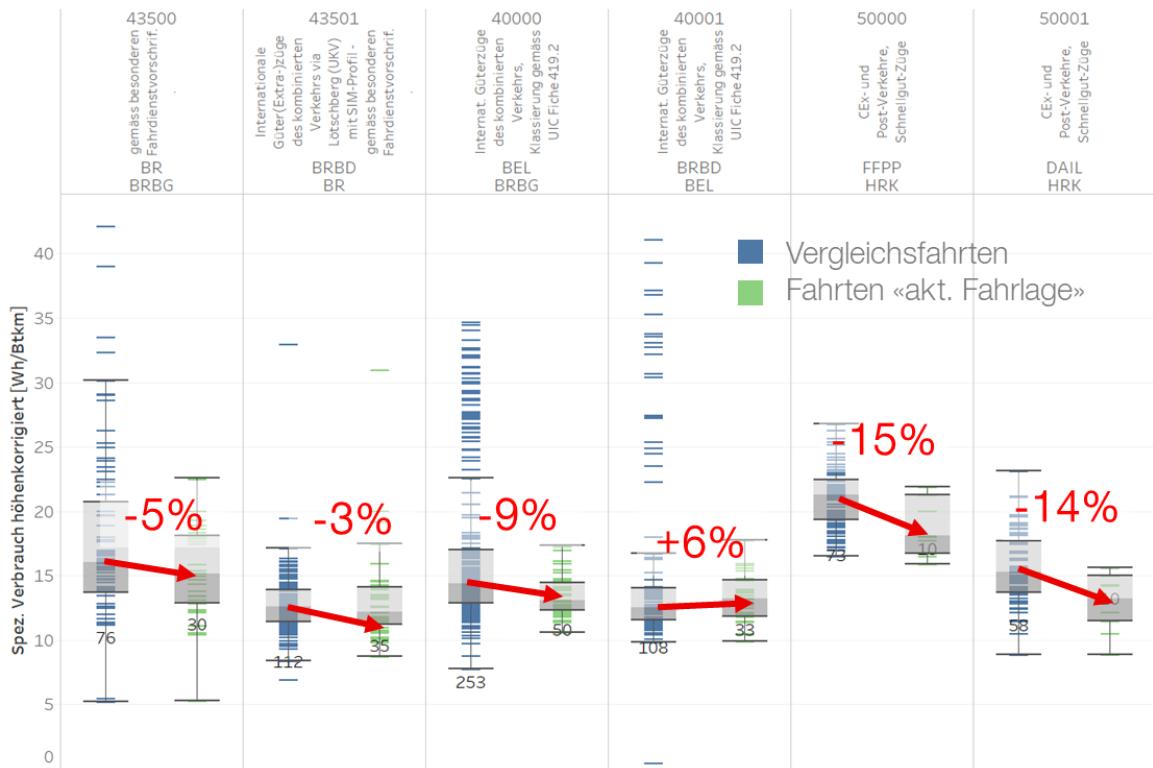
Reduktion des Energiebedarfs mit aktualisierter Fahrlage

Der Vergleich zwischen den Testfahrten mit der neuen Funktion «Aktualisierte Fahrlage» und den unbeeinflussten Vergleichsfahrten zeigt den Effekt durch die neue Funktion:

- Zwischen Basel und Brig wiesen die Testfahrten einen 3 % (Fahrtrichtung Basel – Brig), resp. einen 5 % (Brig – Basel) tieferen spezifischen Energiebedarf auf (Median).
- Auf der Transitlinie durch den Gotthard zwischen Basel und Bellinzona sind Einspa-rungen in der gleichen Größenordnung zu beobachten (Bellinzona – Basel: -9%, ein-zig auf der Strecke Basel – Bellinzona war der Energiebedarf mit +6% leicht höher).

Zudem zeigen sich Einsparungen von bis zu 15% im Postverkehr, resp. auf dem Expressnetz der Ost-Westachse. In allen untersuchten Fällen wurde die Varianz (Streuung) reduziert.

Abbildung 3: Vergleich des spezifischen Energiebedarfs der Testfahrten mit der Funktion «aktualisierte Fahrlage» zu den Vergleichsfahrten



Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Durch die iterative und fachübergreifende Zusammenarbeit konnte eine gute Lösung erarbeitet werden, welche dem Lokpersonal eine entspanntere Fahrweise ermöglicht, die Fahrvarianz verringert und die Energieeffizienz erhöht. Aus Gesamtsystemsicht wird ein präziserer und besser voraussagbarer Verkehr ermöglicht, was zu einem flüssigeren Betrieb führt. Dabei ergänzen sich die beiden Funktionen von Personenverkehr und Güterverkehr:

- Mit vPRO folgen die Züge etwas präziser dem betrieblichen Fahrplan, so dass der Disponent mit einer grösseren Wahrscheinlichkeit die meist schweren Güterzüge präzis lenken kann und die Güterzüge weniger halten müssen.
- Die aktualisierte Fahrlage führt dazu, dass das Lokpersonal der Güterzüge besser «sieht», was der Disponent mit dem Zug vorhat und sich entsprechend verhält. Dies wiederum führt dazu, dass die Personenzüge mit einer höheren Wahrscheinlichkeit ihrem geplanten Trasse folgen können.

Die Entwicklung einer energieeffizienten Bahnproduktion ist mit vPRO und der aktualisierten Fahrlage noch lange nicht abgeschlossen, als Weiterentwicklung in diesem Sinne wären folgende Schritte sinnvoll:

- Intensive Aus- und Weiterbildung des Lokpersonals für Anwendung von vPRO
- Evaluation einer Pünktlichkeitsanzeige als mögliches Element für eine noch präzisere Bahnproduktion
- Verbesserung der heutigen Datensysteme und Investieren in die notwendige Datenqualität
- Optimierung vom Fahrplan aus Sicht Fahrvarianz und Energieeffizienz.

Résumé

Situation initiale et objectifs

Une certaine quantité de réserves de temps - réserves de construction, réserves de temps d'arrêt et réserves générales de temps de voyage - est nécessaire pour une exploitation ferroviaire la plus stable possible. Avec les temps de parcours, ils forment l'horaire des CFF, qui est précis à la seconde près. Jusqu'à présent, les équipes des locomotives ne connaissaient pas la répartition des réserves de temps ni les horaires de fonctionnement. Les conducteurs de locomotives ont plutôt utilisé l'horaire des clients, c'est-à-dire les horaires des clients inscrits sur le quai à la minute près. Ces différences d'horaires expliquent en partie la dispersion parfois importante des trajets et l'écart entre les temps prévus et les temps réels. Cette divergence a également suscité à plusieurs reprises des questions entre l'équipe de la locomotive et le centre de contrôle des opérations.

En trafic marchandises, la situation est encore plus confuse pour les équipes de locomotives: bien que les heures d'exploitation soient connues grâce à l'horaire annuel, les trains circulent très rarement sur le trajet prévu. Au lieu de cela, les conducteurs de locomotives s'orientent plus ou moins en fonction des signaux. Ces informations incohérentes entraînent une dispersion relativement importante en ce qui concerne la précision de conduite et les besoins en énergie des différents mouvements de trains.

Une équipe interdisciplinaire comme clé pour atteindre les objectifs du projet

Entre janvier 2018 et octobre 2020, l'équipe interdivisionnaire a développé des solutions pour une production ferroviaire plus précise et plus efficace sur le plan énergétique dans les opérations régulières. Concrètement, les trois objectifs suivants devaient être atteints au cours de cette période :

- Preuve de faisabilité pour le calcul du "profil de vitesse optimisé vPRO"
- Test opérationnel avec vérification de la demande d'énergie, de l'écart de conduite et de la ponctualité
- Communication et activités d'accompagnement pour le déploiement et la transformation des entreprises

Grâce à une coopération intensive et interdisciplinaire, il a été garanti dès le départ que les fonctions à développer répondraient pleinement aux exigences des différentes unités d'affaires.

Changements réalisés dans le trafic de passagers : vPRO et horaires précis

Deux changements mineurs mais décisifs pour le fonctionnement régulier ont été introduits dans la tablette du conducteur pour le transport de passagers. La fonction "conflit ADL" n'a pas été explicitement modifiée, c'est-à-dire que le personnel de la locomotive est informé par le canal ADL en cas d'écart opérationnel comme auparavant.

| Beeldorf | | R150 | PRO | An | Ab | 15:10:57 24.12.19 |
|----------|-----------|------|-----|-----------|---------|---|
| Aawil | | 110 | 80 | | 15:14:2 | |
| Beeldorf | 80 90 | 105 | 90 | (15:18:1) | | SBBP 999 ADL  |
| Block | P161/Q261 | | | | 1 | |
| Block | P162/Q262 | | | | | |
| Cébourg | | 110 | 90 | (15:22:4) | | 00:03:13 |
| Duffles | | 100 | 80 | 15:25:2 | 15:26:2 | Manövrieren |

- 1 Des horaires précis et opérationnels
- 2 Profil de vitesse optimisé vPRO

Ces deux nouvelles informations servent à optimiser la production:

- **Des temps de fonctionnement précis**

En standard, les heures précises de fonctionnement sont maintenant affichées, qui sont utilisées à la fois par l'horaire et par le centre de contrôle des opérations. En cliquant sur l'en-tête de la colonne, les horaires commerciaux sont toujours visibles. Les temps d'arrêt et de passage opérationnels sont affichés par pas de 10 secondes ($15:14:2 = 15:14 + 20$ secondes).

- **Profil de vitesse optimisé vPRO**

Pour un départ ponctuel, les vitesses vPRO recommandées sont la vitesse moyenne pour une arrivée ponctuelle. L'itinéraire de conduite prévu, les points de ralentissement à court terme et les caractéristiques spécifiques du véhicule sont pris en compte.

Les résultats de la vPRO et les horaires précis du trafic de passagers

Les nouvelles informations conduisent à un ajustement souhaité du fonctionnement régulier en réduisant la prématureté. Cela conduit d'une part à une conduite plus détendue, d'autre part à une production ferroviaire plus précise avec moins d'écart de conduite et enfin à un besoin en énergie plus faible.

Une conduite plus détendue grâce à la vPRO et une grande acceptation parmi les équipes de locomotives

La nouvelle information a plusieurs effets positifs pour l'équipage de la locomotive. Grâce à la transparence des horaires planifiés sans conflit et aux réserves de temps de parcours efficaces, la pression du temps est réduite et le personnel de locomotive peut voyager plus détendu. Cela a été confirmé par de nombreuses réactions des conducteurs de locomotive à l'équipe de base. L'amélioration de la circulation des trains réduit également le nombre de situations de conflit avec des signaux indiquant un arrêt pendant le freinage, ce qui contribue à une plus grande sécurité.

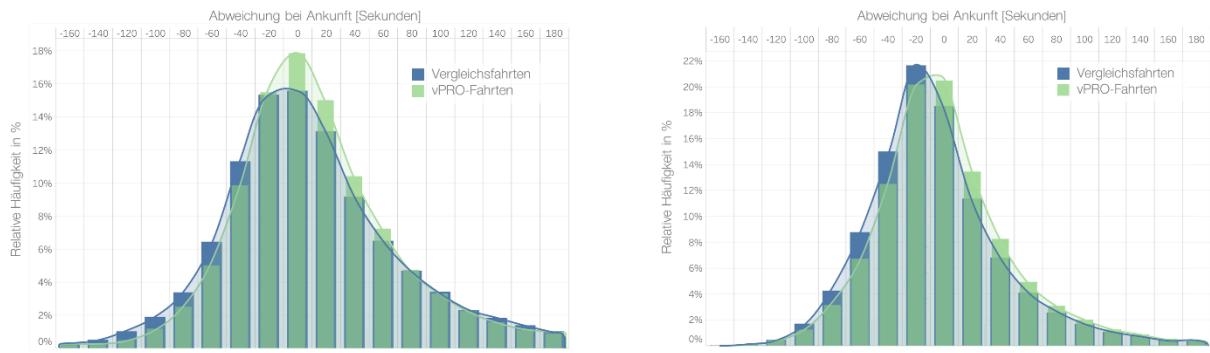
Réduction des écarts de conduite avec vPRO

Dans les années 2018 à 2020, un total de 6 tests opérationnels avec environ 73.000 essais de conduite ont été effectués avec le profil de vitesse optimisé vPRO, le calcul a été optimisé étape par étape. Tous les runs vPRO ont été analysés avec les temps effectifs des archives du RCS et comparés à environ 82'000 runs de comparaison.

Les données actuelles du 9 juin au 6 juillet 2020, avec un total de 53 808 passages vPRO et 65 104 passages de comparaison, montrent en fait une augmentation de la précision et une réduction de la variance de conduite. Les données ont été évaluées séparément pour le trafic longue distance et le trafic régional (voir figure 1):

- Dans le transport à longue distance, le maximum est plus prononcé dans les trajets vPRO et est passé d'une légère prématureté à zéro. Dans l'ensemble, la largeur de la distribution est légèrement réduite, ce qui correspond à une augmentation de la précision (diminution de la variance de conduite).
- Toujours dans le trafic régional, le nombre maximum de trajets vPRO a légèrement évolué vers zéro, la prématureté pourrait être réduite à souhait. Dans l'ensemble, la précision (largeur de la distribution) est pratiquement la même que pour les séries de comparaison.

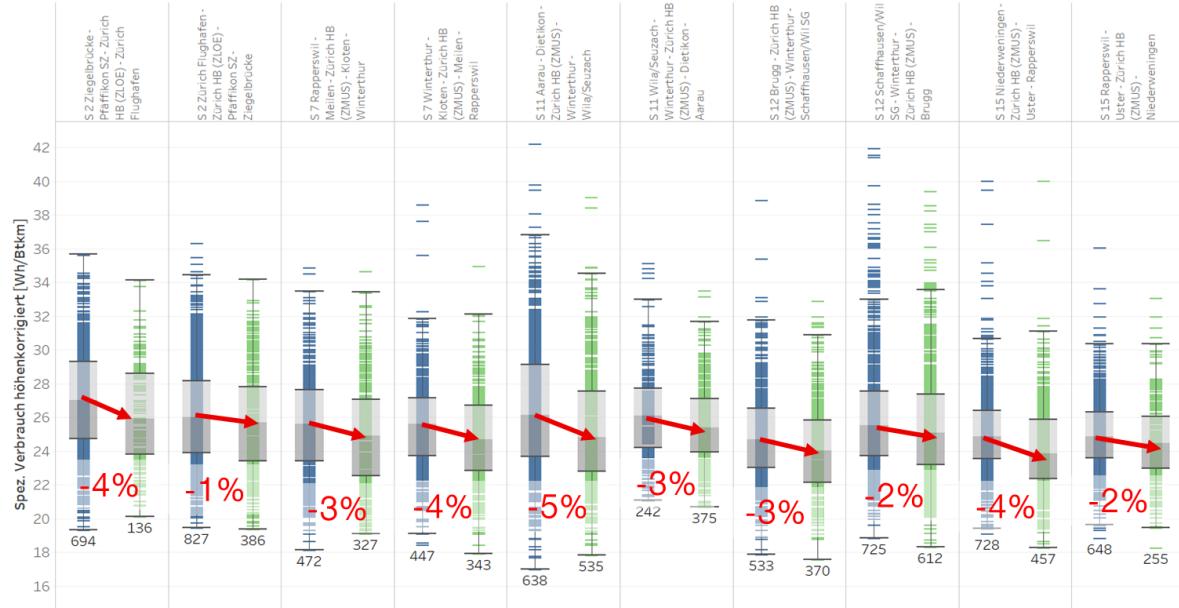
Figure 1: Comparaison de la ponctualité à l'arrivée dans le trafic longue distance (à gauche) et dans le trafic régional (à droite)



Efficacité énergétique accrue avec vPRO

Lors des tests opérationnels, les besoins énergétiques spécifiques de la vPRO et des cycles de comparaison ont été déterminés pour chaque cycle, et la mesure a été effectuée avec les compteurs d'énergie pour la facturation réelle. Comme le besoin en énergie dépend largement de l'itinéraire, du nombre d'arrêts, du type de véhicule et des réserves de temps de parcours de l'horaire opérationnel, la procédure suivante a été choisie : Seuls les trajets de la même famille de trains et sur le même itinéraire (par exemple, le S12 de Brugg à Winterthur) ont été comparés. Il a été constaté que la demande d'énergie diminue de 2 à 4 % sur toutes les lignes régionales, et de 1 à 3 % sur les lignes longue distance. Converti en besoins énergétiques totaux du trafic voyageurs des CFF, il en résulte une économie d'environ 35 à 45 GWh par an, soit 4 à 5 millions de francs par an.

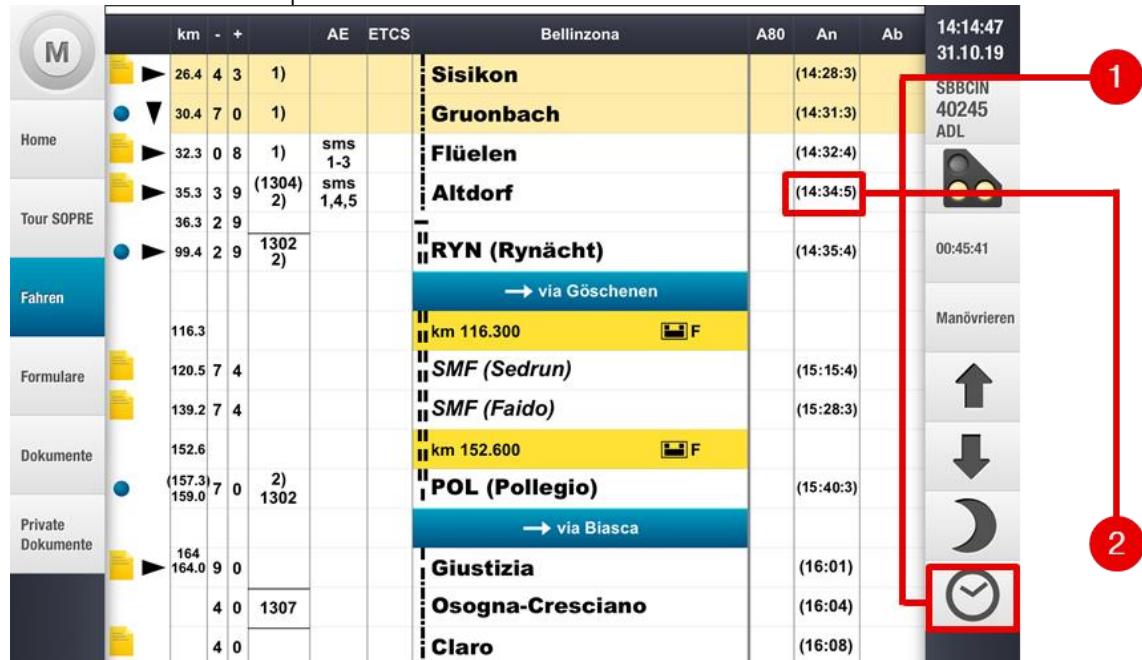
Figure 2: Consommation d'énergie par la vPRO dans le S-Bahn de Zurich (élection).



Il convient de noter qu'en raison du Covid-19 lors des derniers essais opérationnels, la charge du train était bien inférieure à la normale et la situation opérationnelle était très calme. Il faut également s'attendre à ce que certains effets systémiques ne soient perceptibles qu'après avoir été libérés par l'ensemble de l'équipage de la locomotive. Sur la base de la base de données actuelle, il n'est pas encore possible de faire une déclaration durable et fiable sur l'épargne effective. Par conséquent, une preuve ex-post de l'efficacité sera fournie au premier trimestre 2021.

Changement dans le transport de marchandises : mise à jour de la situation de conduite

Dès les premiers essais effectués en été 2018, il est apparu clairement que le profil de vitesse optimisé vPRO n'est pas adapté au trafic de marchandises. C'est pourquoi la fonction "Mise à jour du poste de conduite" a été créée: En un clic sur la tablette, l'équipage de la locomotive obtient les prévisions actuelles du RCS et peut ainsi estimer beaucoup mieux la situation d'exploitation.



1 Dès que les heures de prévisions actuelles sont disponibles dans le RCS, le bouton avec l'horloge apparaît. Un clic sur celui-ci met à jour les heures de l'ordre de conduite.

2 Les temps de passage actuels selon l'opération (RCS) sont affichés en secondes comprises - les temps de passage précédents sont écrasés.

La fonction "Mise à jour du poste de conduite" a été testée sur les systèmes productifs du RCS et de la tablette du conducteur en novembre 2019 en 651 essais et s'est avérée bonne. Depuis février 2021, le personnel de locomotive de CFF Cargo et de CFF Cargo International utilise ces nouvelles informations.

Forte acceptation par les équipes de locomotives et sentiment d'être mieux informé

Un questionnaire a été utilisé pendant le test opérationnel pour déterminer l'acceptation des changements parmi le personnel de la locomotive. Les réactions montrent qu'environ 80% des conducteurs de locomotives sont favorables aux changements, 20% sont plutôt sceptiques. Cependant, le personnel de la locomotive a expliqué à l'unisson qu'il se sentait mieux informé par la nouvelle fonction "situation de conduite actualisée".

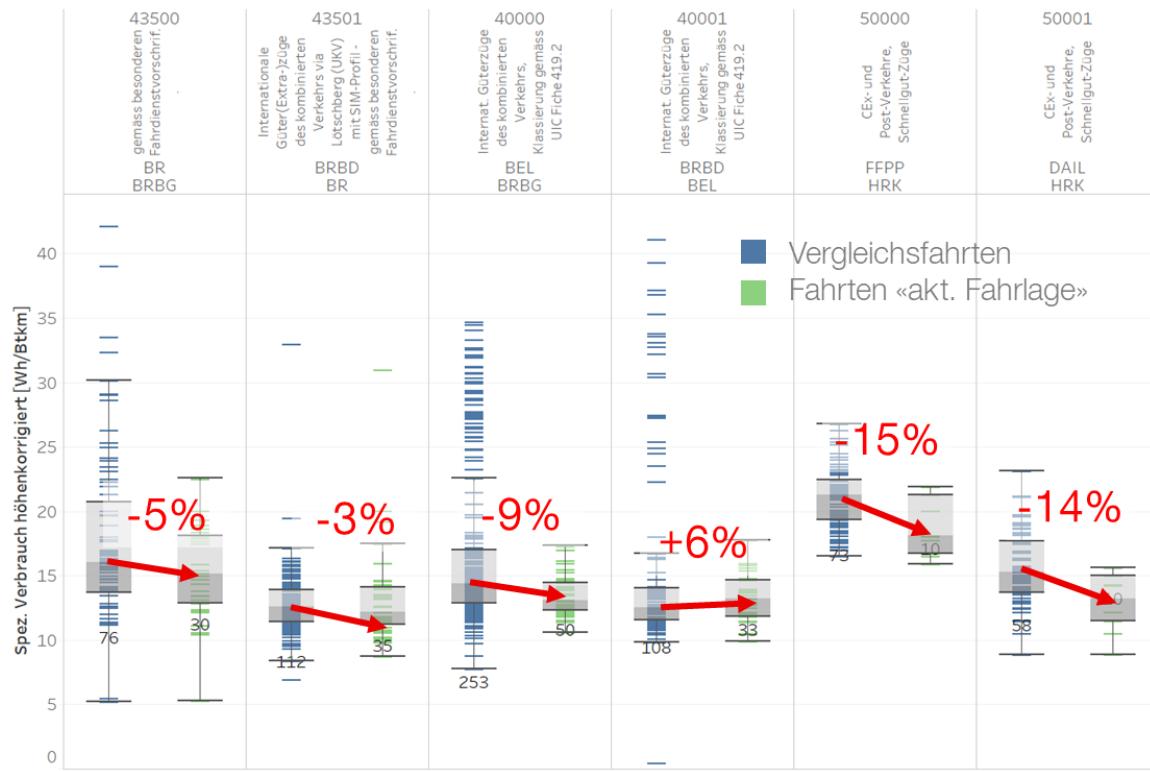
Réduction de la consommation d'énergie grâce à l'actualisation de la situation de conduite

La comparaison entre les essais de conduite avec la nouvelle fonction "Position de conduite actualisée" et les essais de comparaison non influencés montre l'effet de la nouvelle fonction:

- Entre Bâle et Brigue, les essais de conduite avaient un besoin énergétique spécifique (Median) inférieur de 3 % (direction Bâle - Brigue) et de 5 % (Brigue - Bâle).
- Sur l'axe de transit par le Saint-Gothard entre Bâle et Bellinzone, des économies du même ordre ont été observées (Bellinzone - Bâle : -9%, seul l'axe Bâle - Bellinzone a enregistré des besoins en énergie légèrement plus élevés avec +6%).

En outre, des économies allant jusqu'à 15 % ont été réalisées dans le trafic postal et sur le réseau express sur l'axe est-ouest. L'écart (dispersion) a été réduit dans tous les cas examinés.

Figure 3: Comparaison de la demande énergétique spécifique des essais de conduite avec la fonction "position de conduite actualisée" aux essais de comparaison



Conclusions et recommandations

Grâce à une coopération itérative et interdisciplinaire, une bonne solution a pu être mise au point, qui permet à l'équipage de la locomotive de conduire de manière plus détendue, de réduire les écarts de conduite et d'augmenter l'efficacité énergétique. Dans une perspective de système global, un trafic plus précis et plus prévisible est possible, ce qui conduit à un fonctionnement plus fluide. Les deux fonctions du transport de passagers et de marchandises se complètent :

- Avec vPRO, les trains suivent plus précisément l'horaire d'exploitation, de sorte que le dispatcher est plus à même de diriger avec précision les trains de marchandises les plus lourds et que les trains de marchandises doivent moins s'arrêter.
- Grâce à la mise à jour de la situation de conduite, le personnel de conduite des trains de marchandises peut mieux "voir" ce que le répartiteur a l'intention de faire avec le train et se comporter en conséquence. Cela signifie que les trains de passagers sont plus susceptibles de suivre l'itinéraire prévu.

Le développement d'une production ferroviaire économique en énergie est loin d'être achevé avec la vPRO et la mise à jour de la situation d'exploitation :

- Formation et perfectionnement intensifs du personnel de locomotive pour l'utilisation de vPRO
- Evaluation d'un affichage de la ponctualité comme élément possible pour une production ferroviaire encore plus précise
- Améliorer les systèmes de données actuels et investir dans la qualité des données nécessaires
- Optimisation de l'horaire du point de vue de la variance de conduite et de l'efficacité énergétique.

1. Ausgangslage

Die Bahnproduktion bezeichnet die Planung und die Ausführung der täglichen Züge, beteiligt sind mehrere verschiedene Personengruppen vom Fahrplaner bis zum Lokführer. Grundsätzlich wird der Fahrplan mit einem zeitlichen Vorlauf von mehreren Jahren bis Jahrzehnte geplant, auf der Basis vom Jahresfahrplan und den täglichen Änderungen entsteht der Tagesfahrplan. Für die rund 90% pünktlich verkehrenden Züge im Regelbetrieb bildet der Tagesfahrplan den Sollzustand. Wenn es nun aufgrund anderer Züge, vorhandenen Baustellen oder anderen Gründen zu einer Abweichung gegenüber dem Tagesfahrplan kommt, so wird der Betrieb aktiv: In den Betriebszentralen werden in diesen rund 10% der Fälle die Züge aktiv disponiert, beispielsweise mit Zugfolgeänderungen.

Adaptive Lenkung als verbindendes Element zwischen Lokpersonal und Betriebszentrale

Seit 2014 werden die Züge mit Hilfe der sogenannten „Adaptiven Lenkung (ADL)“ gesteuert. Die adaptive Lenkung (ADL) ist ein Modul vom Zugdispositionssystem RCS und vermeidet unnötige Signalhalte im Konfliktfall. Dazu analysiert RCS-ADL das gesamte Bahnnetz online und bewertet gleichzeitig die Fahrsituationen aller Züge im Netz. Bei einem möglichen Konflikt zwischen Zügen berechnet RCS-ADL die jeweils optimale Geschwindigkeit und sendet diese an das Tablet vom Lokpersonals.¹

Abbildung 4: Übersicht der Bahnproduktion mit Unterscheidung von Regelbetrieb und Konflikt



Neben der Konfliktoptimierung hat bisher die Funktion «ADL eco» im Regelbetrieb zusätzlich punktuelle Geschwindigkeitsempfehlungen an das Lokpersonal geschickt, wenn ein Zug mehr als 1 Minute vorzeitig ist. Durch diese restriktive Bedingung wurden bisher jedoch im Regionalverkehr äusserst selten Meldungen abgesetzt.

¹ ADL erhielt im Januar 2016 den Watt d'Or vom Bundesamt für Energie, weitere Informationen finden sich in [1].

Personenverkehr: Unvollständige Informationen im Regelbetrieb trotz ADL

Es zeigte sich, dass das Lokpersonal im Regelbetrieb trotz ADL nicht über sämtliche notwendigen Informationen verfügt, um eine aus Sicht Gesamtsystem ideale Fahrweise ableiten zu können. Konkret zeigten sich folgende Irritationen:

- Während der Fahrplan und der Betrieb (RCS) in Sekundenschritten plant, sind die Durchfahrtszeiten im Tablet vom Lokpersonal (LEA) auf die Minute abgerundet.
- Für das Lokpersonal sind nur die kommerziellen Zeiten ersichtlich, die Abfahrtszeiten unterscheiden sich um bis zu 3 Minuten vom betrieblichen Fahrplan (siehe Abbildung 5). Die Folge: Der Zug erreicht das Ziel relativ häufig vorzeitig gegenüber dem betrieblichen Fahrplan. Zudem sind die kommerziellen Zeiten je nach Strecke auch mit Maximalgeschwindigkeit nicht erreichbar.
- Weiter ist für das Lokpersonal nicht erkennbar, wie die zeitlichen Reserven auf der Strecke verteilt sind und bei welchen Stationen aus betrieblichen Gründen eine besonders hohe Pünktlichkeit gewünscht wäre.

Die Kombination aus inkonsistenten Zeiten und Unkenntnis der Reserven führt beim Lokpersonal von Personenverkehr zu einem Zeitdruck, da meist eine Verspätungslage angenommen wurde obwohl gegenüber dem betrieblichen Fahrplan eigentlich noch eine Reserve bestanden hätte.

Zudem führen die unvollständigen und inkonsistenten Informationen zu unterschiedlichen Fahrstrategien - das Lokpersonal interpretierte die Angaben individuell. Auf Seiten Betrieb ist die Bahnproduktion somit schlechter vorhersehbar und durch die relativ häufige Vorzeitigkeit gegenüber dem betrieblichen Fahrplan resultieren viele unnötige Konflikte.

Abbildung 5: Unterschiedliche Sichtweisen zwischen Lokpersonal (links) und Disponent (rechts)



Personenverkehr: Grosse Streuung von Zeit- und Energiebedarf

Durch diese inkonsistenten Informationen und die unterschiedliche Erfahrung des Lokpersonals ergeben sich unterschiedliche Fahrstrategien. Deutlich wird diese Disparität der effektiv durchgeföhrten Fahrten in den beiden untenstehenden Abbildungen:

- Abbildung 6 zeigt den Verlauf der Fernverkehrszüge zwischen Zürich HB und Mägenwil, auf der y-Achse ist die Geschwindigkeit in km/h und auf der x-Achse die Strecke in km angegeben. Die grüne Linie zeigt den betrieblich geplanten Verlauf, die farbigen Linien entsprechen den real durchgeföhrten Fahrten im Zeitraum zwischen 2.-20. März 2020. Die Farbe charakterisiert dabei die zeitliche Abweichung am entsprechenden Ort zum Plan: blau sind pünktlich und vorzeitige Fahrten, gelb und braun sind entsprechend verspätete Fahrten.
- In Abbildung 7 ist der Energie- und Zeitbedarf von insgesamt 371 ICN-Fahrten zwischen Zürich und Genf zwischen Dezember 2015 und August 2016 abgebildet. Es zeigt sich, dass sich der Energiebedarf bei gleichen Fahrzeiten, gleichen Strecken und gleichen Fahrzeugen um bis zu 40% unterscheidet. Zudem zeigt sich praktisch

keine Abhängigkeit zwischen Fahrzeit und Energiebedarf – eigentlich wäre eine negative Korrelation zu erwarten gewesen (je länger die Fahrzeit, desto tiefer der Energiebedarf).

Die unterschiedlichen Fahrpläne sind eine Ursache für die teils grosse Streuung der Fahrten und der Abweichung zwischen Soll und Ist.

Abbildung 6: Abfahrten aus Zürich nach Mellingen: Grosse Streuung der Fahrstrategien, da jeder Zug mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten fährt. Vorzeitig verkehrende Züge laufen oft in Warnung, und verspäteten sich dadurch. Dies hat Konsequenzen für die nachfolgenden Züge (Handorgelgeleffekt).

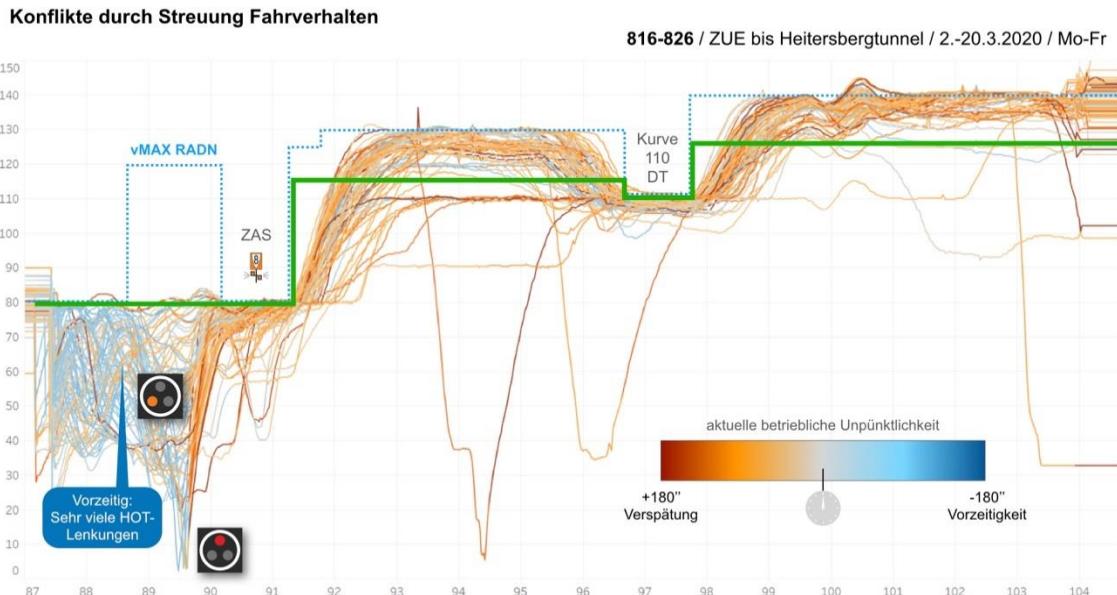
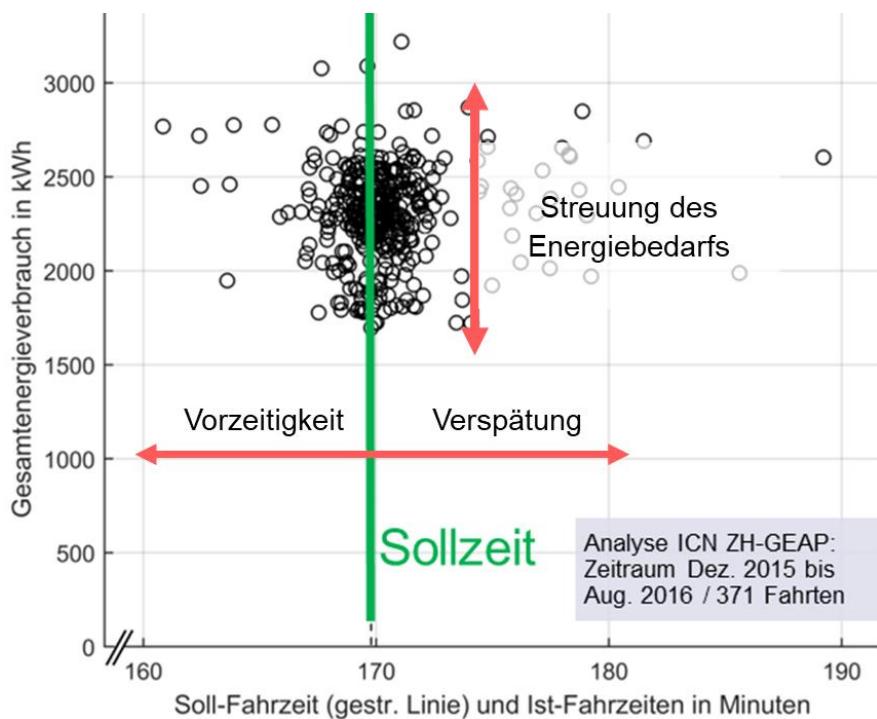


Abbildung 7: Streuung vom Energiebedarf bei identischer Fahrzeit, Vergleich von 371 Fahrten auf gleicher Strecke mit gleichem Rollmaterial



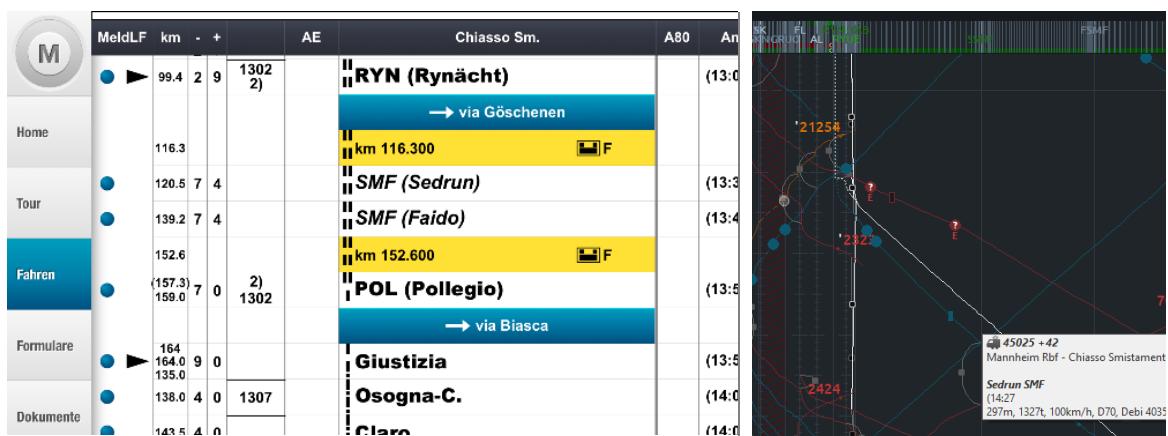
Güterverkehr: Grosse Abweichung zwischen Planung und Realität

Für das Lokpersonal im Güterverkehr sind nur die Informationen aus dem ursprünglich geplanten Zuglauf verfügbar. Diese (geplanten) Zeiten der Fahrordnung entsprechen aber meist nicht der Realität und können nur selten verwendet werden. In sehr vielen Fällen ist der Zug ausserhalb des geplanten Trasses, also entweder vorzeitig oder verspätet unterwegs. In all diesen Fällen sind die im Tablet ersichtlichen Zeiten praktisch ohne Nutzen. Dies führt dazu, dass das Lokpersonal in der Praxis praktisch «blind» von Signal zu Signal fährt.

Für das Lokpersonal ist nicht ersichtlich, mit welchen effektiven Durchfahrtszeiten der Disponent den Zug eingeplant hat und an welchen Standorten es zu Halten kommt. In RCS wären zwar alle Durchfahrtszeiten als Prognose vorhanden, die ADL-Meldung wird aber nur auf einen Betriebspunkt hin optimiert.

Diese unvollständigen Informationen führten dazu, dass jeder Lokführer und jede Lokführerin im Güterverkehr eine eigene Fahrstrategie – geprägt von den Signalstellungen, nach bestem Wissen wählt. Im Idealfall wird die energiesparende Fahrweise (ESF) angewendet, meist jedoch wird die Strategie vMAX gewählt. Eine Ausnahme bilden einzig diejenigen Situationen, wo das Lokpersonal eine ADL-Meldung erhält.

Abbildung 8: Diskrepanz zwischen Planung (13.31 Uhr) und Realität (14.27 Uhr) – das Lokpersonal verfügt trotz ADL im Vergleich zur Betriebszentrale nur über eine sehr eingeschränkte Sichtweise auf den Bahnbetrieb.



Schlechte Akzeptanz beim Lokpersonal für bisherige ECO-Funktion

Weiter wurde in der ADL-Anwenderumfrage im Jahr 2016 die Weiterentwicklung des heutigen ADL-Eco als eines der Haupthandlungsfelder definiert. Gründe dafür sind, dass die bisherige Funktion «ADL-Eco» weder auf die Topographie, den Ausbildungs- und Erfahrungsstand des Lokpersonals noch die Fahrzeugeigenschaften oder etwaige Probleme am Fahrzeug Rücksicht nimmt.

2. Projektziel

Das Projektziel bestand in der Entwicklung und dem Test von Fahrempfehlungen für eine optimierte Bahnproduktion und daraus resultierenden Energieeinsparungen, was drei verschiedenen Teile umfasste:

- Entwicklung der Berechnung von optimierten Geschwindigkeitsprofilen

Für einen produktiven Einsatz ist eine End-zu-End-Lösung erforderlich, welche aus den Quellsystemen innerhalb des Rail Control Systems (RCS) ein optimiertes Geschwindigkeitsprofil (=Fahrempfehlung) berechnet und auf das Lokführer-Tablet überträgt. Die folgende Abbildung zeigt den Wissensstand und die grundlegende Idee zu Beginn vom Projekt.

Abbildung 9: Zielzustand für Berechnung von einem optimierten Fahrprofil



- Entwicklung der Berechnung von optimierten Geschwindigkeitsprofilen

In den Betriebstests wird das berechnete optimierte Geschwindigkeitsprofil im Praxisbetrieb getestet und daraus die notwendigen Verbesserungen identifiziert. Eine wichtige Grundlage zur Beurteilung der Praxistauglichkeit ist die systematische Auswertung der Energiemessdaten und der Ankunftszeitgenauigkeit.

- Entwicklung der Berechnung von optimierten Geschwindigkeitsprofilen
- Betriebstests mit Verifizierung von Energiebedarf, Fahrvarianz und Pünktlichkeit

Für die Realisierung und den Rollout des optimierten Geschwindigkeitsprofil ist eine entsprechende Kommunikation mit begleitenden Aktivitäten für die Business Transformation notwendig. Nur mit entsprechender Verankerung werden die neuen Elemente im täglichen Betrieb akzeptiert und das optimierte Geschwindigkeitsprofil wird durch das Lokpersonal in der Praxis auch effektiv angewendet.

3. Forschungsansatz und aktueller Wissensstand

Zu Beginn des Projektes Anfang 2018 gab es verschiedene interne und externe Studien sowie Pilotversuche zu Fahrempfehlungen.

Beta-Trasse als fahrbares Geschwindigkeitsprofil

Bereits in den Jahren 2006 – 2008 wurde im Rahmen vom Projekt «On the Wave» das sogenannte Betaprofil entwickelt und in der sogenannten Zuglaufrechnung (ZLR) integriert.

Pilotversuch der BLS zeigt Potential einer statischen Geschwindigkeitsempfehlung

Im Frühjahr 2017 haben die BLS und SBB Infrastruktur im Rahmen des EsöV-Projektes Nr. 47 gemeinsam drei verschiedene Fahrassistentenzsysteme im täglichen Betrieb getestet. Abbildung 10 gibt einen Überblick über die getesteten Fahrempfehlungssysteme, weitere Details sind in [2] und [3] enthalten.

Abbildung 10: Verschiedene Fahrempfehlungssysteme im Praxisbetrieb



Papier-Fahrordnung

- ✓ Reduzierte konstante Geschwindigkeiten, ohne Ausrollen
- ✓ Statisch (gemäss Fahrplan, bei pünktlichem Betrieb)

Energymiser (TTG) und GreenSpeed (Cubris)

- ✓ reduzierte Geschwindigkeiten, mit Ausrollen
- ✓ dynamisch, GPS-basiert, mit real-time Berechnungen
- ✓ Ausgabe auf Tablet

Im Schlussbericht [3] werden folgende Schlussfolgerungen gezogen:

- ✓ Im S-Bahn-Verkehr können durch Fahrempfehlungen Energieeinsparungen beim Gesamtverbrauch von bis zu 10-15 Prozent erwartet werden.
- ✓ Einsparungen in dieser Höhe sind nur möglich, wenn die Flexibilitäten zwischen den Fixpunkten des betrieblichen Fahrplans voll genutzt werden.
- ✓ Fahrempfehlungen tragen dazu, die Streuung der Fahrweisen zu reduzieren.
- ✓ Fahrempfehlungen können eine hohe Pünktlichkeit gewährleisten. Das Pilotprojekt zeigte, dass dabei die Datenqualität und -Verfügbarkeit eine wichtige Rolle spielt und bei der Verteilung der Zeitreserven behutsam vorgegangen werden muss.
- ✓ Auch mit statischen Fahrempfehlungen können hohe Energieeinsparungen erzielt werden. In diesem Fall ist die Beobachtung der Pünktlichkeitsentwicklung speziell wichtig, da die Lokführer den Zeitabgleich jeweils „manuell“ machen müssen.
- ✓ Die Wirkung eines Fahrempfehlungssystems in der Praxis hängt weniger von der Güte der Fahrprofil-Modellierung ab, als vielmehr von der Art und Weise, wie die Informationen und Empfehlungen angezeigt und letztendlich vom Lokpersonal umgesetzt werden.
- ✓ Die Art der Empfehlungen, die Systemparametrisierung (wie oft werden Fahrempfehlungen neu berechnet und neu ausgegeben) und die Gestaltung der Anzeige haben einen grossen Einfluss auf die Akzeptanz beim Lokpersonal und damit auch den Umsetzungsgrad der Fahr-empfehlungen.
- ✓ Bei der Einführung von Fahrempfehlungen muss darauf geachtet werden, dass keine gefährlichen Widersprüche zwischen den Empfehlungen und geschlossenen (Vor-)Signalen auftreten. Das heisst, die Fahrempfehlungen sollten mit ADL bzw. RCS verknüpft werden.
- ✓ Insgesamt bestätigte das Pilotprojekt klar, dass ein Fahrempfehlungssystem ins Gesamtsystem eingebettet werden muss und in enger Abstimmung aller involvierten Akteure (EVU, Fahrplanplanung und Infrastruktur Betrieb) erfolgen sollte.

Studie «Weiterentwicklung ADL-Eco»

Am 31. Oktober 2016 hat der ADL-Begleitausschuss den Auftrag für die Studie «Weiterentwicklung ADL-Eco» gegeben. Das Ziel bestand in der divisionsübergreifenden Identifizierung und Evaluation von möglichen Massnahmen für die bisherige Funktion «ADL-Eco». In diesem Rahmen haben sich die Vertreter der Divisionen an insgesamt 6 Workshoptagen zwischen April und September 2017 getroffen und gemeinsam das Zielbild einer energieeffizienten Bahnproduktion entworfen (siehe Abbildung 11).

Abbildung 11: Zielbild «Fahrempfehlung» für eine energieeffiziente Bahnproduktion



Im Rahmen des Konkretisierungsworkshops am 9. September 2017 hat Stephan Gut (Lokführer SBB Personenverkehr) erstmals eine mögliche Integration in das Lokführertablet skizziert (siehe Abbildung 12): Dem Lokpersonal soll im Tablet eine zusätzliche Geschwindigkeitsspalte angezeigt werden, welche die für eine pünktliche Ankunft notwendige Streckengeschwindigkeit enthält.

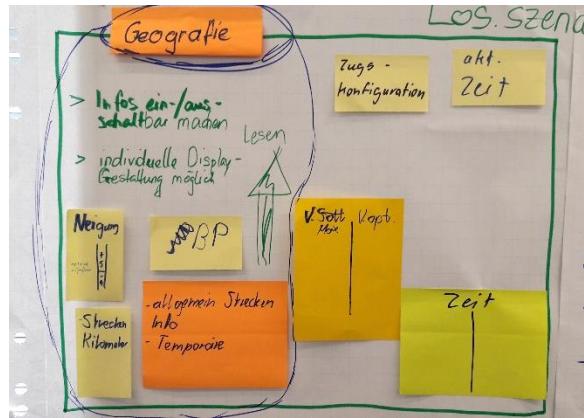
Abbildung 12: Erstmalige Darstellung einer möglichen Anzeige des optimierten Geschwindigkeitsprofils.

| | 4.5 | - | + | Profil | Hardbrücke | R135 | V _{eco} | an | ab | 15:15:59 30.08.17 |
|-----------|-------|------|----|--------|--------------------------|-------------|------------------|-----|-------|----------------------|
| Home | 4.7 | 12 | 2 | | Oerlikon | 80-75 80 | 120 | 95 | 15:14 | 15:15 |
| | 3.5 | | | | Block | S752/852 | | | | Zug 18957 |
| | 2.2 | | | | Block | S752/852 | | | | ADL 18957 |
| Dienst | 1.2 | 12 | 0 | 4.7 | Q > Zürich via Weinberg | | | | | |
| Fahren | 0.7 | | | | Hard | 95 | 95 | 90 | --- | |
| | 1.9 | 0 | 3 | | Block | S752/852 | | | | Filter |
| | 0.0 | 99.7 | 0 | 17 | Hardbrücke | 95 80 | 80 | 80 | H | |
| | 100.5 | | | | Zürich HB | | 80 | 80 | 15:23 | 15:28 |
| | 101.6 | 11 | 13 | 1.7 | † A 30/40 Museumsstrasse | | | | | |
| Formulare | 104.0 | | | | Block | S752/852 | | | | |
| | | | | | Stadelhofen | | 120 | 110 | 15:30 | 15:31 |
| | | | | | Block | S752/852 | | | | +00:08 |

In der Studie konnte die technische Machbarkeit im Grundprinzip bestätigt werden, so dass mit Abschluss der Studie am 17. November 2017 der Studiengruppe der Auftrag für einen PoC (Proof of concept) gegeben wurde. Eine wichtige Motivation für den Entscheid war auch das gute Kosten-Nutzenverhältnis der Massnahme, die SBB-internen Studien haben eine anznehmende Einsparung von 4-5% ausgewiesen.



Interdisziplinärer Workshop mit den Beteiligten von allen Fachbereichen



Neue Ansätze für eine optimierte Bahnproduktion aus der Studie «ADL eco»

Ähnliche Einsparpotential in Literatur

Das Potential von 4-5% befindet sich eher am unteren Ende der möglichen Einsparungen einer Meta-Studie [4] aus Deutschland, welche die effektiven Einsparungen von insgesamt 15 Fahrempfehlungssystemen untersucht hat (mittlere Einsparungen von 6-15 %). Allerdings muss beachtet werden, dass eine Übertragbarkeit vom Regionalverkehr auf den Fernverkehr nur bedingt gegeben ist, resp. sich aufgrund unterschiedlicher Energiesysteme (Diesel vs. Bahnstrom) und Vorschriften (maximale Bremskraft für Rekuperation bei lokbespannten Zügen) die Rahmenbedingungen in Deutschland und der Schweiz unterscheiden. Weiter schätzt einer Studie der ETH Zürich [5] die möglichen Einsparungen durch entsprechende Fahrempfehlungen auf 6% - 15%, eine SBB-interne Studie auf der Grundlage von 371 Fahrten mit dem ICN (RABe500) zwischen Zürich und Genf Flughafen auf rund 10%.

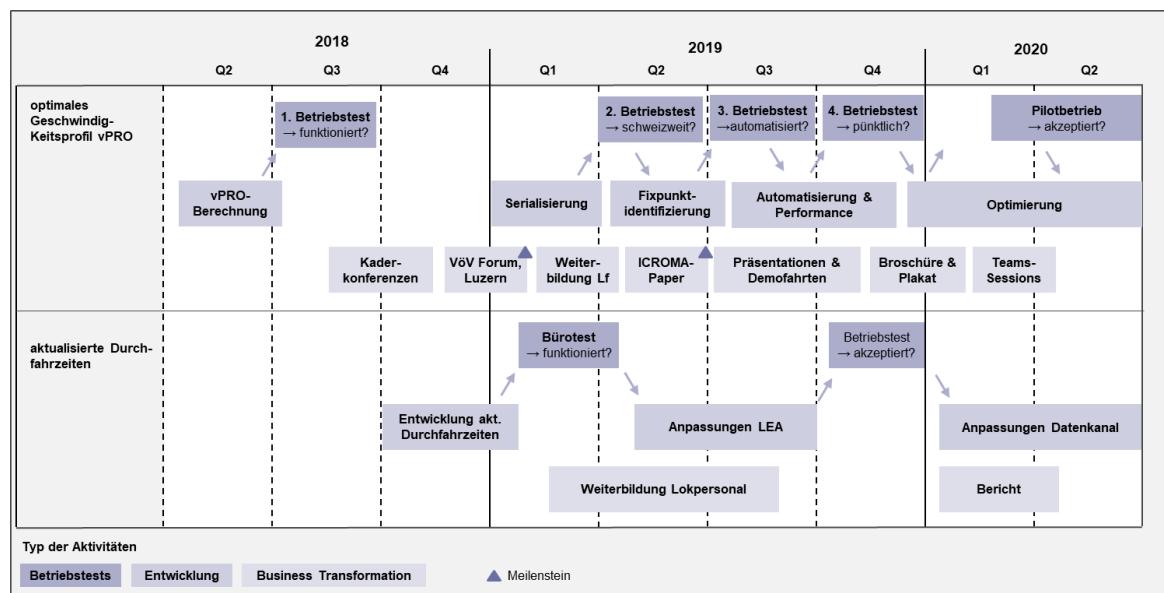
4. Ergebnisse

Im ersten Teil dieses Kapitels wird das entwickelte optimierte Geschwindigkeitsprofil vPRO beschrieben und ein Überblick über die relevanten Aktivitäten in den Bereichen «Entwicklung», «Betriebstests» und «Business Transformation» gegeben. Schon im August 2018 war aufgrund der negativen Testresultate für die begleiteten Züge im Güterverkehr klar, dass das optimierte Geschwindigkeitsprofil im Güterverkehr nicht anwendbar ist (die Fahrcharakteristik ist zu dynamisch, die Züge befinden sich nur selten auf dem trassierten Fahrplan). Deshalb wurde die Funktion «aktualisierte Fahrlage» für den Güterverkehr entwickelt, welche im November 2019 ebenfalls getestet wurde. In einem eigenen Unterkapitel sind deshalb die Aktivitäten zur Entwicklung der Funktion «Aktualisierung Fahrlage» beschrieben.

Iterative Entwicklung mit regelmässigen Betriebstests

Beide Funktionen wurden in mehreren Etappen schrittweise und iterativ entwickelt. Nach jeder Etappe wurde die entwickelte Software in den Betriebstest auf Praxistauglichkeit untersucht. Die Erkenntnisse aus den Tests sind so jeweils wieder in die Entwicklung eingeflossen. Die folgende Abbildung zeigt die wesentlichen Aktivitäten im zeitlichen Ablauf.

Abbildung 13: zeitliche Abfolge der Hauptaktivitäten zu Entwicklung der beiden Funktionen mit Unterscheidung von Betriebstest, Entwicklung und Business Transformation.



Interdivisional zusammengesetztes Kernteam als Garant für Praxistauglichkeit

Beide Funktionen wurden durch ein heterogen zusammengesetztes Kernteam mit Fachexperten von Fahrplan, Betrieb, IT, Lokpersonal und Energie skizziert, verfeinert und schliesslich mit Unterstützung von SBB IT umgesetzt.

- Personenverkehr SBB: S. Gut, M. Kröpfli, A. Müller, M. Tonini, U. Zysset, S. Nef
- Güterverkehr: D. Baumberger
- Infrastruktur Fahrplan & Betrieb: T. Graffagnino, F. Flück, P. Thalmann, R. Wechsler
- Infrastruktur Energie: P. Keiser, M. Tuchschmid, R. Schäfer, M. Weibel, R. Aeschbacher
- Informatik: A. Helm, M. Kyburz
- Innovation: C. von Grünigen, Personenverkehr BLS: T. Studer

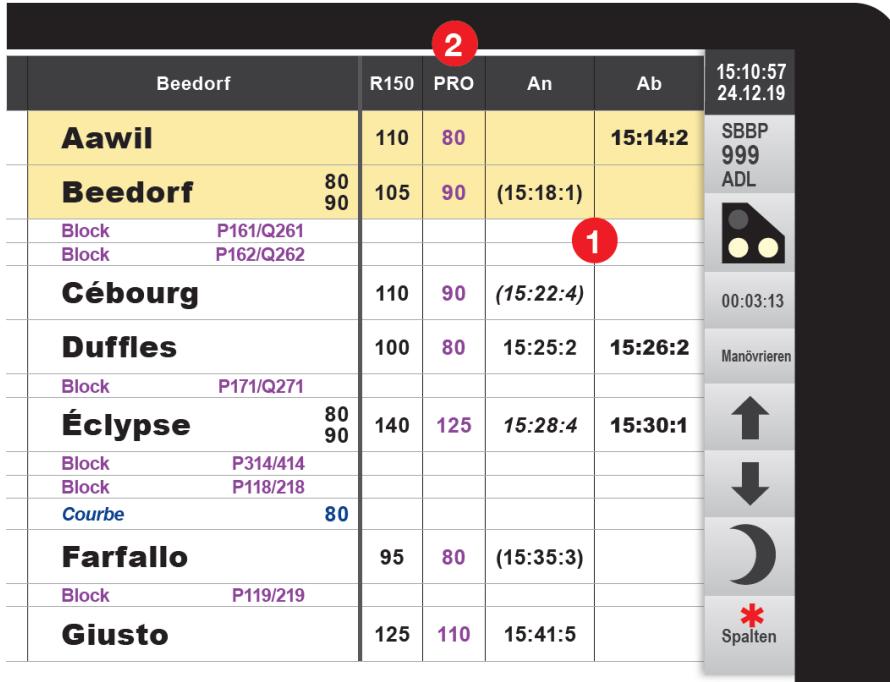
Durch dieses interdisziplinäre Vorgehen war sichergestellt, dass die zu entwickelnden Funktionen vollumfänglich den Anforderungen der verschiedenen Geschäftseinheiten entsprachen – die entsprechenden Diskussionen im Kernteam waren zwar teils aufreibend, aber immer auch sehr lehrreich. Pro Monat fand ein Kernteam-Meeting von einem Tag statt, zusätzlich wurden individuelle regelmässige Meetings durchgeführt.

4.1. Optimiertes Geschwindigkeitsprofil vPRO

4.1.1. Darstellung auf dem Endgerät

Die Darstellung des optimierten Geschwindigkeitsprofils ist in Abbildung 14 gegeben. Gegenüber der bisherigen Ansicht kommen zwei wesentliche Elemente neu dazu.

Abbildung 14: Integration des optimierten Fahrprofils vPRO in das LEA-Tablet vom Lokpersonal



1 Präzise, betriebliche Zeiten

Bisher wurden dem Lokpersonal ausschliesslich die kommerziellen Zeiten angezeigt, welche auch am Perronanzeiger für die Kunden angeschrieben sind. Neu werden zusätzlich die präzisen, betrieblichen Zeiten angezeigt, welche sowohl Fahrplan wie auch die Betriebszentrale² verwendet. Es gibt folgende Präzisierungen:

- Es gibt eine Unterscheidung zwischen Fixpunkten (z.B. Kreuzungen, Überholungen, Anschlüsse etc.) und den zeitlich irrelevanten Punkten (kursiv). Die Zeiten der Fixpunkte (frühere Bezeichnung: Zeitvergleichsstationen) sollen so genau als möglich eingehalten werden, um einen flüssigen Betrieb zu ermöglichen.
- Neu werden dem Lokpersonal die betrieblichen Halte- und Durchfahrtszeiten in 10-Sekundenschritten angezeigt ($15:14:2 = 15:14 + 20$ Sekunden).
- Alle betrieblichen Zeiten sind eine präzise Referenz für die Pünktlichkeit im Regelbetrieb, sie sind mit den vPRO Geschwindigkeiten kompatibel.
-

2 vPRO-Spalte

Bei pünktlicher Abfahrt entsprechen die empfohlenen vPRO-Geschwindigkeiten der Durchschnittsgeschwindigkeit für eine pünktliche Ankunft. Für die Berechnungen werden eine zügige Beschleunigung und elektrisches Bremsen auf den Haltepunkt angenommen. vPRO ist auf die betrieblichen Zeiten der Fixpunkte abgestimmt. Kurzfristige Langsamfahrstellen und fahrzeugspezifische Eigenschaften sind mit einberechnet.

² Die Differenz zwischen betrieblichen und kommerziellen Zeiten dienen unter anderem der Pünktlichkeit und damit der Fahrplanstabilität, z.B. bei kurzfristigen Zugfolgeänderungen. Im Detail betrachtet sind es nicht die betrieblichen Zeiten vom Fahrplan, sondern die zu den vPRO-Geschwindigkeiten passenden Zeiten in Sekundenauflösung.

4.1.2. Akzeptanz vom Lokpersonal

Die Akzeptanz beim Lokpersonal stellt einen Schlüsselfaktor zur effektiven Anwendung darstellt. Deshalb wurden gezielt mehrere Massnahmen entwickelt und entsprechende Aktivitäten umgesetzt.

Vom Lokpersonal für das Lokpersonal

Von Seiten Lokpersonal haben Markus Kröpfli (Lokführer seit 36 Jahren, Leitung Personalkommission von Zugführung bis Ende 2019), Stephan Gut (Lokführer seit 30 Jahren, Sektionspräsident VSLF) und Urs Zysset (Lokführer seit 28 Jahren, Prüfungsexperte BAV) die Funktion von Beginn weg im Frühling 2017 mitgestaltet.

Im Februar 2018 wurde mit dem MTO-Tool «Arbig-MMS-Lf» der FHNW der Einfluss der geplanten Änderungen auf das Lokpersonal evaluiert. Aus den Workshops und dem Tool wurden geeignete Massnahmen abgeleitet, was einen positiven Einfluss auf die Akzeptanz beim Lokpersonal beim ersten Betriebstest hatte.

Rückmeldungen vom Lokpersonal zu erstem Betriebstest

Während dem ersten Betriebstest im Sommer 2018 wurde das begleitete Lokpersonal befragt, die Fragebogen wurden extern durch Dr. Gilles Chatelain ausgewertet [6]. Insgesamt gingen 242 Antworten ein, das durchschnittliche Dienstalter betrug 17.5 Jahre. Die Mehrheit des befragten Lokpersonals begrüssten die Änderungen ausdrücklich. Dies zeigt sich auch an den Kommentaren, nachfolgend eine Auswahl:

- « *Entspricht einer vorausschauenden Fahrweise* »
- « *Cool. Ich will diese Darstellung so schnell es geht.* »
- « *Es hat gute Ansätze für Geschwindigkeiten. Für junge oder bei Fahrt auf seltener Strecke sicher von Vorteil.* »
- « *L'idée d'introduire de nouvelle vitesse vPRO directement dans l'appli LEA est une bonne initiative.* »
- « *Als Lf mit 39 Jahren habe gelernt eco-mässig zu fahren. Also nichts neues. Für junge Lf's sicher nötig und eine grosse Hilfe.* »
- « *War vorher eher skeptisch eingestellt (zu viele Informationen). Nun positiv überrascht. Gutes Hilfsmittel zur Zugführung, Geschwindigkeiten stimmen sehr genau.* »

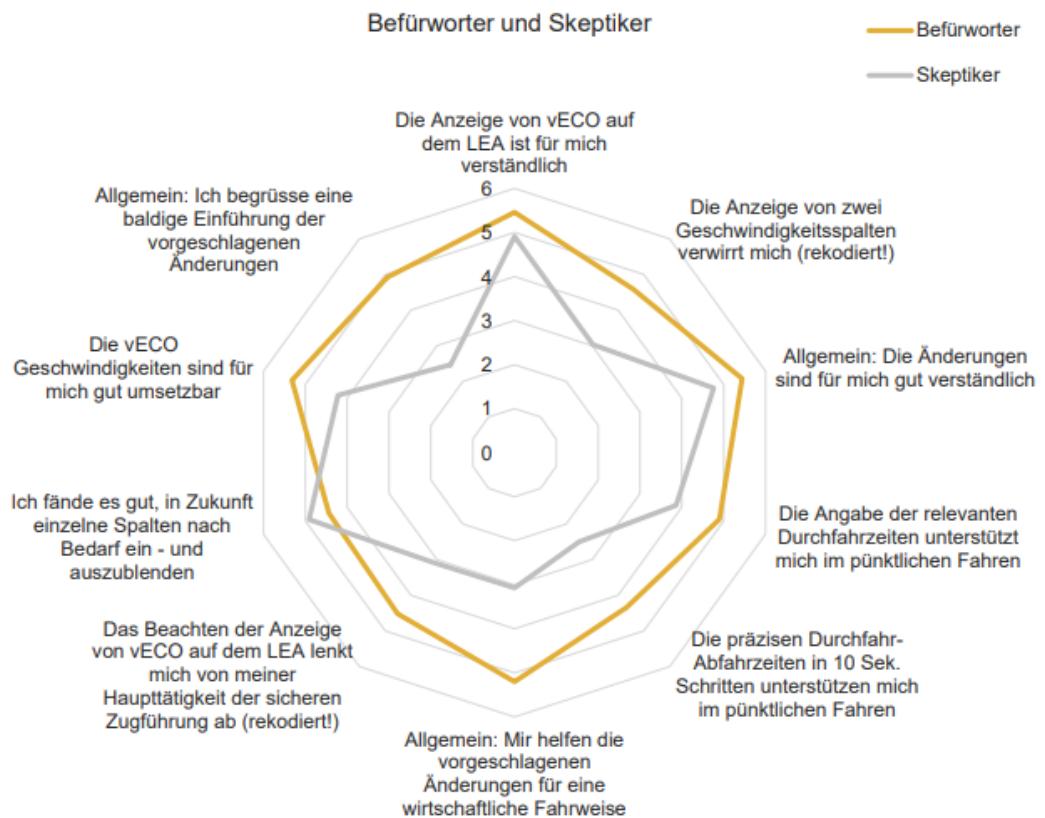
Bemängelt wurde vor allem:

- « *texte et chiffres trop petite, distrait le mécano, les travaux sur la ligne pas pris en compte.* »
- « *Berücksichtigung von längeren Aufenthaltszeiten bei Halten mit grossem Frequenzwechsel bei Stosszeiten und Gruppen oder Rollstuhleinlad wäre notwendig.* »
- « *Sichtbarkeit im Nachtmodus ist ungünstig.* »
- « *je pense, qu'avec le système vPRO il y a un risque de surcharge d'information.* »
- « *Meiner Meinung nach sind die Zeiten verwirrend, jedoch die vPRO finde ich hilfreich.* »

Gesamtbild zur Lokpersonalakzeptanz beim ersten Betriebstest im Sommer 2018

Um ein Gesamtbild zu erhalten, wurde mit Hilfe einer Clusteranalyse ähnliche Lokführer einer Gruppe, bzw. einem Cluster zugeordnet. Die erste Gruppe der „Befürworter“ umfasst rund 70% des befragten Lokpersonals, insgesamt befürwortet diese Gruppe in fast allen Aspekten die getesteten Änderungen mit relativ hohen Werten. Die zweite Gruppe der „Skeptiker“ weist bei den meisten Fragen mittlere Zustimmungswerte auf, die Zustimmung ist insbesondere in Bezug auf den Nutzen aber deutlich geringer. Von den 242 befragten Lokführern sind 167 (70%) der ersten Gruppe der „Befürworter“ zuzuordnen, 58 Lokführer zählen zur Gruppe der „Skeptiker“.

Abbildung 15: Clusteranalyse bezüglich Akzeptanz beim Lokpersonal: Von den 242 befragten Lokführern sind 167 (70%) der ersten Gruppe der „Befürworter“ zuzuordnen, 58 Lokführer zählen zur Gruppe der „Skeptiker“.



Zu erwähnen ist, dass es durchaus auch kritische Stimmen gab, welche die Änderungen generell nicht befürworteten und das Risiko einer Überfrachtung an Informationen sahen. Auf Grund dieser Rückmeldungen wurden vier Empfehlungen abgeleitet:

- a. Die Darstellung der relevanten Durchfahrzeiten sollte lesbarer gemacht werden. Insbesondere muss die Schrift grösser und weniger hell sein. → Anpassung der vPRO-Darstellung
- b. Einzelne Spalten ausblenden stellte sich sowohl bei den Befürwortern als auch bei den Skeptikern des eco2.0-Projektes als Bedürfnis dar. → Anpassung der Spalten-Darstellung
- c. Die Bedeutung der 10 Sek. Schritte sollte genau erklärt werden. Das heisst, es muss klar kommuniziert werden, dass die präzisen Zeiten rein der Orientierung dienen („dies entspricht dem Fahrplan“) und nicht exakt eingehalten werden müssen. → Berücksichtigung in Aus- und Weiterbildung.
- d. Es sollte die hohe Akzeptanz während der Testphase bei der Einführung kommuniziert werden (80% der Lokführer finden die vorgeschlagenen Änderungen für eine wirtschaftliche Fahrweise hilfreich, 75% der Lokführer begrüssen eine baldige Einführung der vorgeschlagenen Änderungen.) → Berücksichtigung in Aus- und Weiterbildung.

Alle diese Massnahmen wurden im weiteren Projektverlauf umgesetzt.

4.1.3. Analyse der Fahrpräzision und Ankunfts pünktlichkeit

Zur Beurteilung der Fahrvarianz und der Präzision werden die effektiv erfolgten An- und Abfahrtsdaten an den jeweiligen Betriebspunkten gegenüber dem Sollfahrplan an den betrieblichen Fixpunkten verglichen. Als Vergleichsgröße dient die Ankunftspräzision der Vergleichsfahrten.

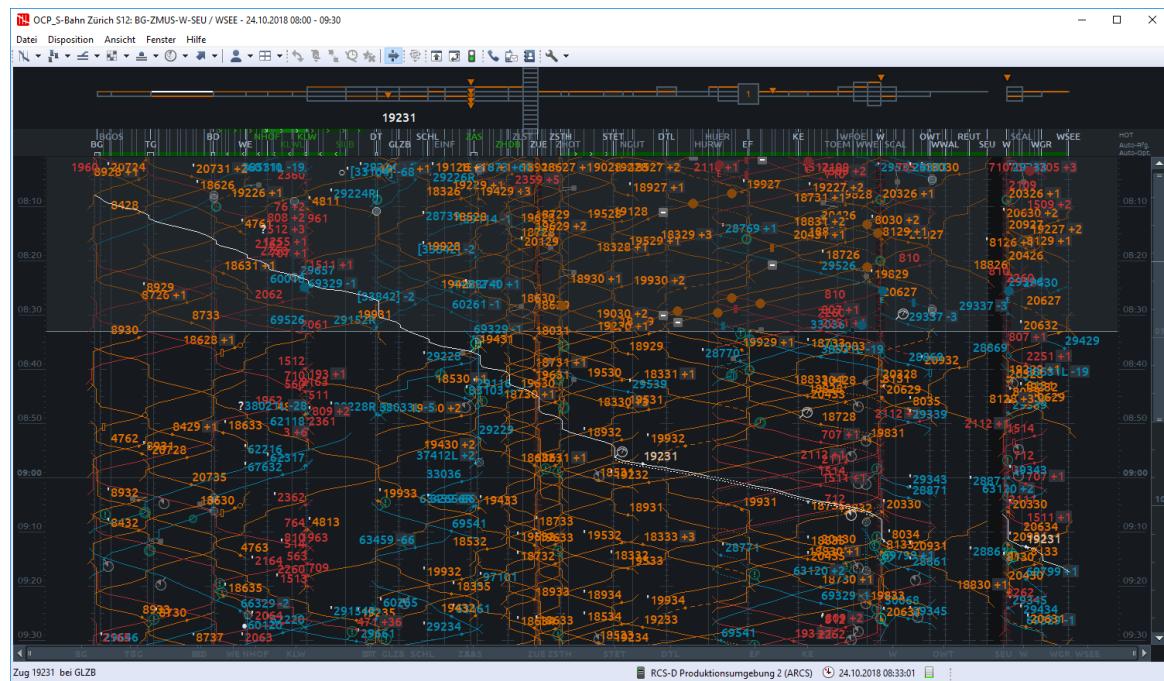
Unterschied zwischen Ankunfts pünktlichkeit und Pünktlichkeit aus Kundensicht

Bei der SBB wird im Jahr 2020 die (kundenbezogene) Pünktlichkeit bezüglich der Ankunftszeit in 53 Schlüsselknoten gemessen, ab 3 Minuten gilt eine Ankunft als verspätet. Mit anderen Worten: Während eine Ankunft mit 179 Sekunden Verspätung immer noch als pünktlich gilt; wird erst ab 180 Sekunden Verspätung diese Zugankunft als nicht mehr pünktlich bezeichnet. Würde nun alleinig diese Definition der Pünktlichkeit verwendet, so könnte aufgrund der zu kleinen Datenmenge kein Vergleich zwischen den vPRO- und Baseline-Fahrten vorgenommen werden. Aus diesem Grund wird die effektive Ankunfts pünktlichkeit an den betrieblichen Fixpunkten gegenüber der Sollzeit (betrieblicher NeTS-Fahrplan) in Sekunden gemessen.

RCS-Daten zur Beurteilung von Fahrvarianz und Präzision

Die Verkehrsdaten stammen aus dem System RCS/KVZ (Rail Control System), es erfolgt ein Vergleich der Soll-Zeiten aus dem betrieblichen Fahrplan und den effektiven Ist-Zeiten an jedem betrieblichen Fixpunkt. Aus der Abweichung wird die Verspätung oder Vorzeitigkeit berechnet. Die nachfolgende Abbildung zeigt den RCS-Bedienbildschirm, wo die S12 mit Zugnummer 19231 zwischen Brugg und Winterthur unterwegs ist (weisser Strich).

Abbildung 16: Bedienoberfläche vom Zugssteuerungssystem RCS (Rail Control System), diese Daten werden zur Beurteilung der Fahrvarianz und dem präzisen Bahnbetrieb verwendet.



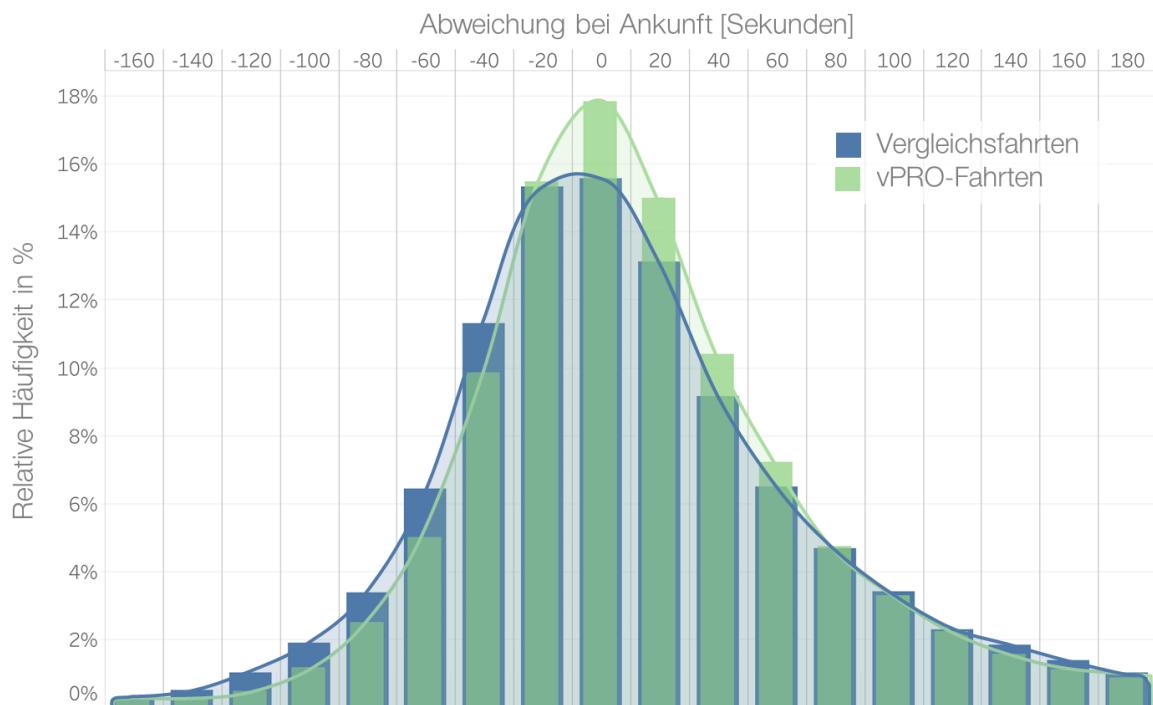
Übersicht der Daten vom Betriebstest im Sommer 2020

Für den Zeitraum vom 9.6.2020-6.7.2020 wurden aus RCS grundsätzlich alle Fahrten vom Regionalverkehr und Fernverkehr berücksichtigt, insgesamt resultierten 53'808 vPRO-Fahrten (41'879 RV, 11'929 FV) und 65'196 Vergleichsfahrten (48'998 RV, 16'198 FV). Davon wurden diejenigen Fahrten ausgeschlossen, deren Abgangsverspätung am Startbahnhof mehr als 60 s (Regionalverkehr), bzw. 180s (Fernverkehr) betragen hatte. In einem nächsten Schritt wurden die effektiven Ankunftszeiten an Haltestellen, die auch Fixpunkte waren, mit den betrieblichen Sollzeiten verglichen und die Differenz gebildet.

Ankunftspünktlichkeit der vPRO-Fahrten im Fernverkehr

Abbildung 17 zeigt den Vergleich der Häufigkeitsverteilungen im Fernverkehr an den betrieblichen Fixpunkten: Bei den vPRO-Fahrten ist das Maximum deutlicher ausgeprägt und hat sich von einer leichten Vorzeitigkeit auf den Nullpunkt verschoben. Erwünscht ist die Reduktion der Vorzeitigkeit und insbesondere die Reduktion der Verspätungen (ab 70 Sekunden Verspätung). Insgesamt zeigt sich eine leicht reduzierte Breite der Verteilung, resp. eine Erhöhung der Präzision.

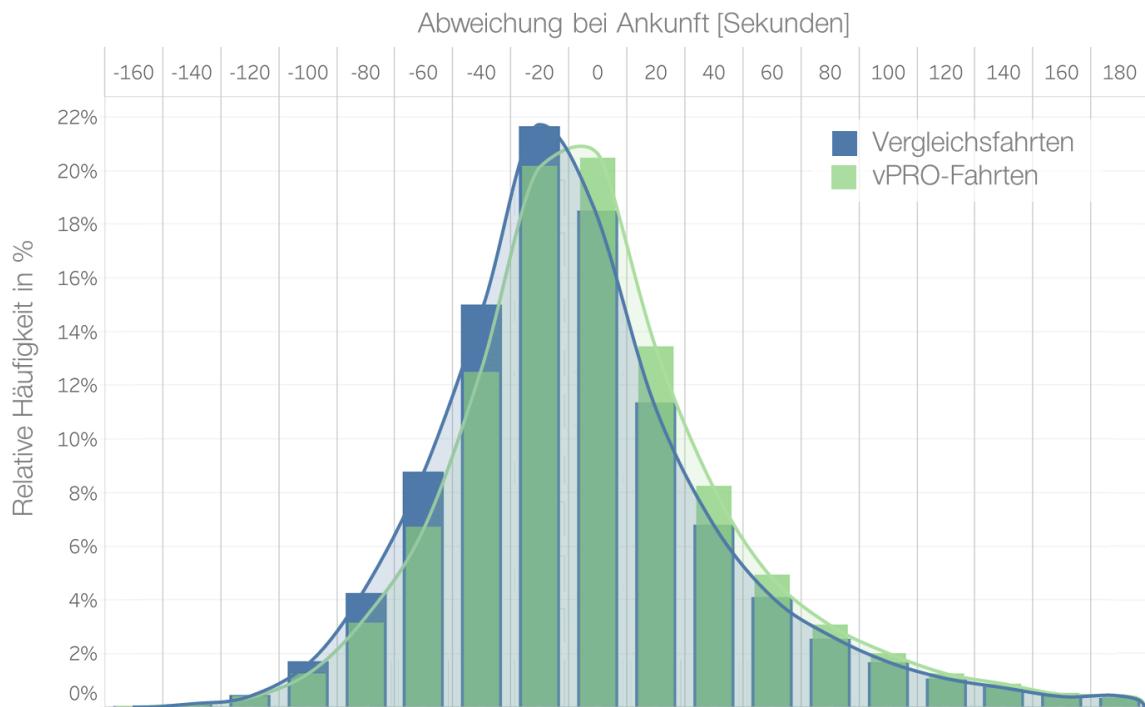
Abbildung 17: Vergleich der Ankunftspünktlichkeit an betrieblichen Fixpunkten im Regionalverkehr



Ankunftspünktlichkeit der vPRO-Fahrten im Regionalverkehr

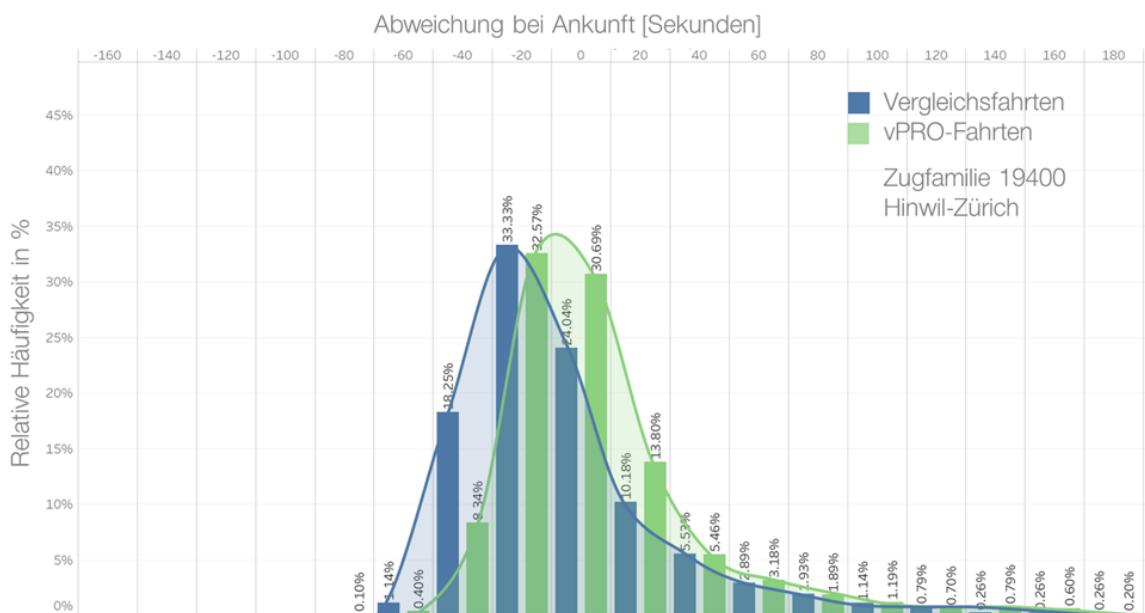
In Abbildung 18 ist die relative Häufigkeitsverteilung zwischen den Vergleichsfahrten ('Baseline') und den vPRO-Fahrten im Vergleich dargestellt. Wie bei den Vergleichsfahrten befindet sich das Maximum der vPRO-Fahrten zwischen -10 Sekunden und 0 Sekunden, die Vorzeitigkeit konnte wie erwünscht reduziert werden. Insgesamt ist die Präzision (Breite der Verteilung) gleich wie bei den Vergleichsfahrten.

Abbildung 18: Vergleich der Ankunftspünktlichkeit an betrieblichen Fixpunkten im Regionalverkehr auf Basis von 41'879 vPRO-Fahrten und 48'998 Vergleichsfahrten



Eine solche Auswertung lässt sich für jede einzelne Zugfamilie durchführen: Abbildung 19 zeigt die Ankunftspünktlichkeit der S14 (Hinwil-Zürich, Zugfamilie 19400): Auch auf diese Einzelstrecke bezogen lässt sich in den allermeisten Fällen der Effekt von vPRO beobachten: Eine Reduktion der Vorzeitigkeit und eine (leichte) Erhöhung der Präzision.

Abbildung 19: Vergleich der Ankunftspünktlichkeit bei der S14 zwischen Hinwil und Zürich



4.1.4. Veränderung des Energiebedarfs

In allen Betriebstests wurden der Energiebedarf der vPRO-Fahrten und der zeitgleich verkehrenden Vergleichsfahrten gemessen. Im Sinne eines Abschlussberichts werden hier allerdings nur die jüngsten Resultate vom Sommer 2020 (Zeitraum 9.6.2020-6.7.2020) kurz beleuchtet.

Messgeräte für verursachergerechte Verrechnung Bahnstrom als Datenquelle

Die meisten Fahrzeuge von SBB Personenverkehr sind bereits mit Energiemessgeräten ausgerüstet, diese werden für die Ist-Verrechnung des Energiebedarfs genutzt. Diese Energiezähler messen minutenscharf den Energiefloss sowohl für Bezug wie Rekuperation und generieren damit eine Energiedaten-Zeitreihe pro Fahrzeug. Mit den An- und Abfahrtszeiten kann deshalb aus dieser Zeitreihe der Energiebedarf für eine einzelne Fahrt extrahiert werden – dies erfolgt automatisch im Trassenabrechnungstool I-Prix. Per Ende Q2/2020 sind auf 61% der Regionalverkehrsfahrzeuge solche Energiezähler installiert, im Fernverkehr beträgt die Quote 64%.

Aus dem Personalplanungssystem SOPRE stammt die Information, ob auf einer Zugfahrt vPRO verfügbar war (und damit als Testfahrt zählte) oder nicht (und damit automatisch zu den Vergleichsfahrten gezählt wird). Da sowohl die Testfahrten vPRO wie auch die Vergleichsfahrten aus dem gleichen Zeitraum stammen, herrschten in der betrachteten Zeit auch die identischen klimatischen und betrieblichen Bedingungen. Alle Energieverbräuche wurden auf den spez. Energiebedarf in Wh/Btkm umgerechnet und höhenkorrigiert (Kompensation vom Unterschied der potenziellen Energie).

Übersicht der Daten vom Betriebstest im Sommer 2020

Vom Zeitraum 9.6.2020-6.7.2020 standen aus dem Trassenabrechnungssystem Energieverbrauchsdaten über insgesamt 62'569 Fahrten beim Regionalverkehr³ und 18'234 Fahrten beim Fernverkehr zur Verfügung. Grundsätzlich lässt sich sagen, dass der Energieverbrauch wesentlich von der Strecke, der Anzahl Halte, und vom Fahrzeugtyp abhängt. Zusätzlich ist das Einsparpotential stark abhängig von den Fahrzeitreserven im betrieblichen Fahrplan.

Zur besseren Vergleichbarkeit wurde für jede Fahrt der absolute Energiewert einer Fahrt [kWh] in einen höhenkorrigierten, spezifischen Energiebedarf umgerechnet, die dazu notwendigen Inputgrößen sind das Gewicht des Fahrzeugs und die zurückgelegte Distanz (Bruttotonnenkilometer) und der Unterschied in der Höhenlage zur Ermittlung der potentiellen Energie. Der höhenkorrigierte, spezifische Energiebedarf hat die Einheit [Wh/Btkm].

Tabelle 1: Beispieleberechnung für die Ermittlung des höhenkorrigierten spezifischen Energiebedarfes, vom Zug 19247 vom 30.8.2018 von Brugg nach Winterthur

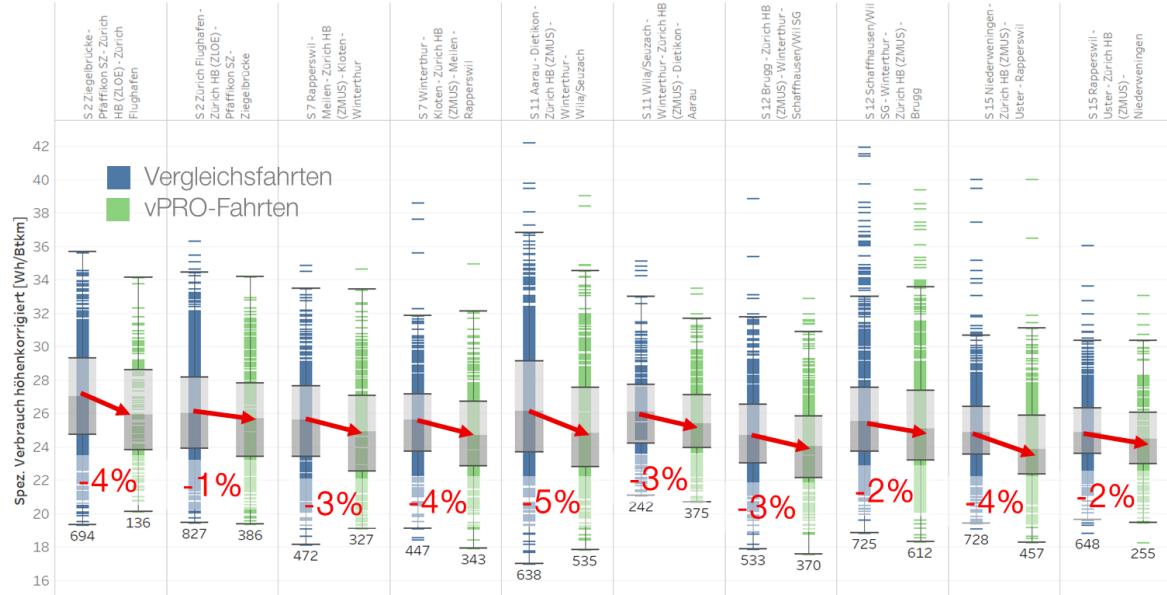
| | |
|--|---|
| Brutto Energiebezug [kWh] | 702 kWh |
| Rekuperation [kWh] | 248 kWh (35.3%) |
| Netto Energiebezug | 454 kWh |
| Unterschied in der potentiellen Energie (Brugg liegt 87m tiefer als Winterthur) | 72.5 kWh |
| Energiebezug, höhenkorrigiert | 381.5 kWh |
| Distanz | 56.6 km |
| Gewicht Fahrzeug | 306.8 t (Hinweis: Gewicht der Kunden wird nicht berücksichtigt) |
| Bruttotonnenkilometer | 17365 Btkm |
| spezifischer Energiebedarf, höhenkorrigiert | 21.97 Wh/Btkm |

³ Regionalverkehr: 31'955 vPRO-Fahrten, 30'614 Vergleichsfahrten, insgesamt 62'569 Fahrten
Fernverkehr: 8'001 vPRO-Fahrten, 10'233 Vergleichsfahrten, insgesamt 18'234 Fahrten

Einsparungen pro Fahrzeugtyp im Regionalverkehr

Dieser spezifische Energiebedarf wird nun einerseits nach Zugfamilie, andererseits nach Fahrzeugtyp ausgewertet. Es zeigt sich das folgende Bild: Egal welche Strecke untersucht wird, der Energiebedarf sinkt mit vPRO im Regionalverkehr zwischen 2% und 4 % (siehe Abbildung 20). In Anhang 9.1 ist eine wesentlich umfangreichere Liste nach einzelnen Zugsfamilien im Regionalverkehr enthalten.

Abbildung 20: Vergleich des spezifischen Energiebedarfes auf Strecken der Zürcher S-Bahn (Auswahl), weitere Auswertungen sind im Anhang 8.1 aufgeführt.



Auch bei der Analyse pro Fahrzeug sinkt der Energiebedarf im Schnitt zwischen 2% und 4%. Einzig beim GTW (RABe526) stieg der Energiebedarf um 4% an. Der genaue Grund für diesen Anstieg wird noch detaillierter untersucht, allerdings zeigt sich folgendes:

- Die Fahrten stammen von den Strecken Biel-Moutier-Biel, Biel-La Chaux-de-fonds-Biel, Solothurn – Moutier – Solothurn und Chur-Sargans-Chur. Auf allen Strecken ist der Energiebedarf der vPRO-Fahrten kleiner als die Vergleichsfahrten, die Ausnahme bildet die Strecke Chur-Sargans.
- Gerade auf dieser Strecke gibt deutlich mehr vPRO-Fahrten (506 Fahrten) als Vergleichsfahrten (42 Fahrten, entspricht Faktor 12), weshalb in der weiteren Analyse gut auf die Begleitumstände geachtet werden muss. Ein möglicher Grund könnte eine systematische Abweichung vom Anteil HVZ zu NVZ-Fahrten sein.

Die Nicht-Abnahme beim Domino (RABe560) ist ebenfalls noch unklar. Vermutet wird das mit streckenspezifischen Berechnungsproblemen im Jura.

Zu beachten ist allerdings folgendes: Aufgrund von Covid-19 war die Zugsauslastung zwischen dem 9.6.2020 und dem 6.7.2020 noch wesentlich tiefer als normal - die Betriebslage war als sehr ruhig zu bezeichnen. Zu erwarten ist zudem, dass bestimmte systemische Effekte erst nach Freischaltung vom gesamten Lokpersonal zum Tragen kommen. Aufgrund der heutigen Datenbasis lässt sich deshalb noch keine dauerhaft belastbare Aussage zur effektiven Einsparung machen. Deshalb wird der finale Wirkungsnachweis (ex-post Vergleich) erst nach dem Rollout auf alle Lokführer Depots und der Normalisierung der Zugsauslastung (Covid-19) voraussichtlich ab Frühjahr 2021 durchgeführt.

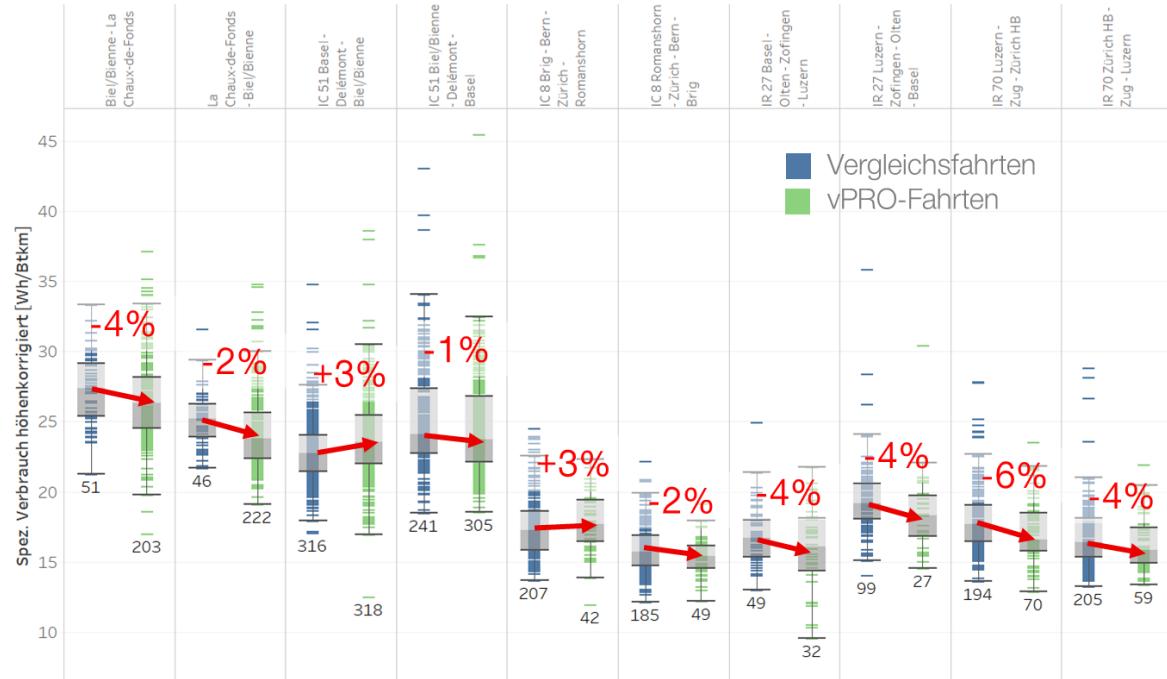
Abbildung 21: Vergleich des spezifischen Energiebedarfes pro Fahrzeugtyp (ungeachtet der Strecken) im Regionalverkehr.



Einsparungen pro Fahrzeugtyp im Fernverkehr

Das Bild im Fernverkehr ähnelt demjenigen vom Regionalverkehr: In den meisten Fällen weisen die Fahrten mit vPRO einen tieferen spezifischen Energiebedarf auf. Abbildung 22 zeigt eine Auswahl von einigen Strecken, im Anhang 9.2 findet sich eine weitere Auswahl von Strecken. Die Reduktion beträgt zwischen 1% und 3%, von den insgesamt 20 ausgewerteten Linien ist der Energiebedarf nur auf 2 Strecken leicht höher (je +3% beim IC51 von Basel nach Biel und beim IC8 von Brig nach Romanshorn).

Abbildung 22: Vergleich des spezifischen Energiebedarfes auf Strecken im Fernverkehr



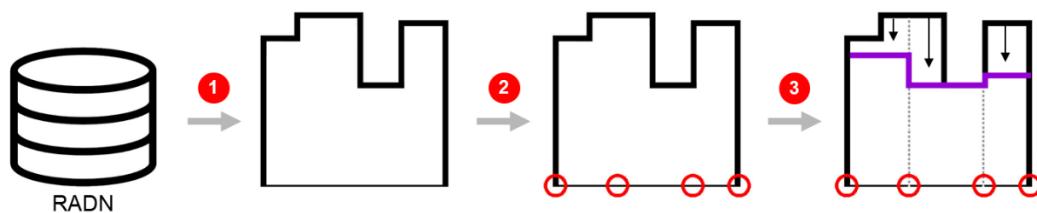
4.1.5. Berechnung von vPRO mit einzelnen Entwicklungsschritten

Der bisherige betriebliche Fahrplan vom System NeTS basiert auf der technischen Fahrzeit (RADN) und einem Zuschlag von mindestens 7 %, meist sind die Reserven vor grösseren Knoten eingeplant. Auf dieser Basis werden dann die kommerziellen Zeiten abgeleitet; diese können bis zu 3 Minuten von den betrieblichen Zeiten abweichen. Dies führt dazu, dass das Fahrprofil von NeTS heute nicht 1:1 fahrbar ist.

Grundprinzip optimiertes Geschwindigkeitsprofil vPRO

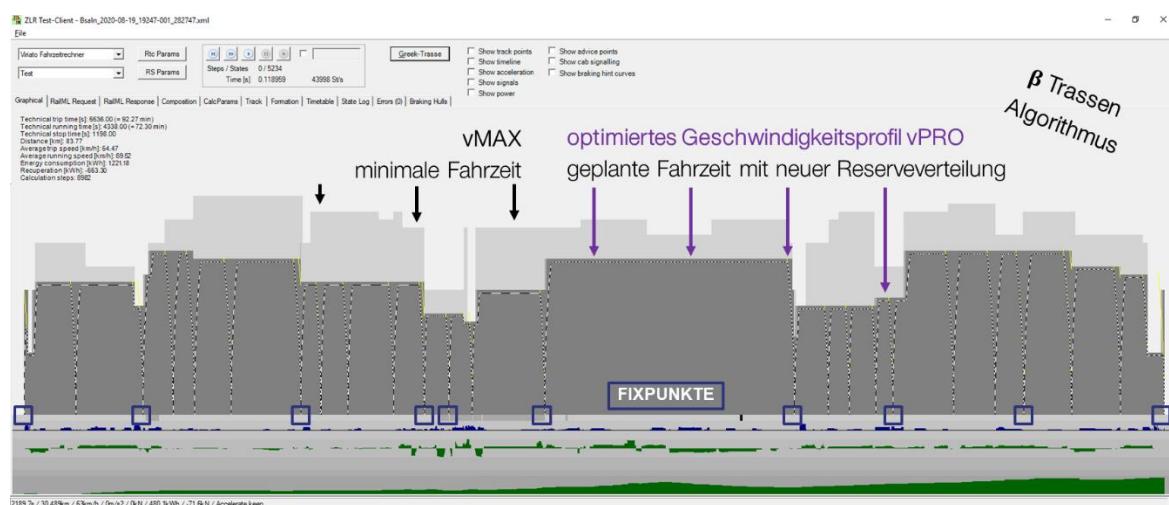
Dank der vPRO-Berechnung erhält das Lokpersonal nun erstmals ein fahrbares Profil. Dazu erzeugt im RCS-System ein automatisierter Algorithmus zwischen zwei Fixpunkten jeweils ein optimiertes Geschwindigkeitsprofil (vPRO). Abbildung 23 zeigt schematisch die Berechnung von vPRO, darunter sind die realen Daten von einem Zug der S12 dargestellt.

Abbildung 23: Prinzipschema für die Berechnung des optimierten Geschwindigkeitsprofils vPRO



- 1 Die Basis bilden die elektronisch abgebildeten RADN-Daten im System RCS bezüglich dem geplanten Rollmaterial mit der entsprechenden Bremsreihe.
- 2 Dieses RADN-Profil wird nun ergänzt mit den bekannten Langsamfahrstellen und den betrieblichen Fixpunkten⁴.
- 3 Der sogenannte Betatrassen-Algorithmus der Zuglaufrechnung senkt nun zwischen den Blöcken die Geschwindigkeit soweit ab, bis eine pünktliche Fahrt zwischen den Fixpunkten resultiert.

Abbildung 24: optimiertes Geschwindigkeitsprofil vPRO für Zug 19247 am 19.8.2020 von Brugg nach Winterthur



⁴ Damit vPRO berechnet werden kann, werden sogenannte Fixpunkte benötigt. Damit werden Betriebspunkte bezeichnet, bei denen die Zeiten (Abfahrt, Ankunft, Durchfahrt) aus fahrplantechnischer Sicht möglichst genau eingehalten sind. Diese werden mit einem Set an mathematischen Regeln und aus dem betrieblichen Sollfahrplan NeTS und den Zuglenkdaten für jeden Zug täglich neu bestimmt. Da der Fahrplan und die Zuglenkdaten täglich geringfügig anders sein können, können sich die Fixpunkte von Tag zu Tag unterscheiden.

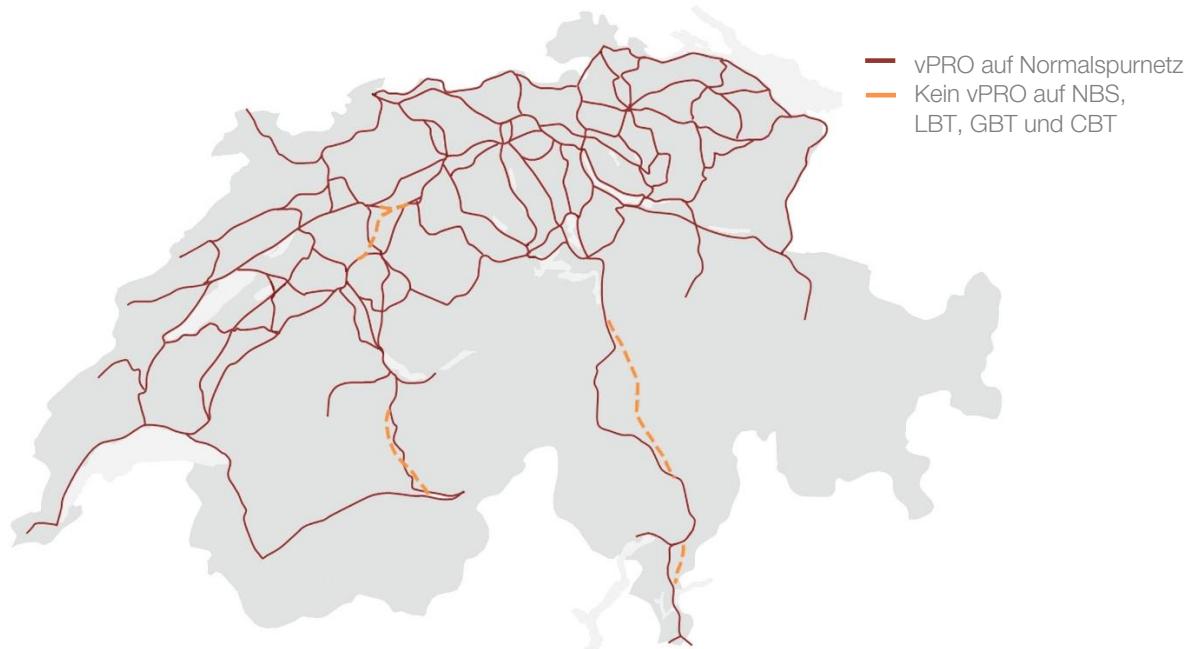
Berücksichtigte Randbedingungen und Annahmen in der vPRO-Rechnung

- Mit dem bekannten Fahrweg, dem geplanten Rollmaterial und den Langsamfahrstellen wird erst die Mindestfahrzeit berechnet.
- Danach glättet der Algorithmus die Geschwindigkeiten soweit als möglich, dass die Fixpunkte pünktlich (nicht zu früh oder zu spät) durchfahren werden können. Dabei werden hohe Geschwindigkeiten mit erster Priorität reduziert, da hier das Verhältnis von zurückgelegter Strecke und Energiebedarf am ungünstigsten ist.
- Es wird eine zügige Beschleunigung und der Einsatz der elektrischen Bremse angenommen, zudem wird mit einer mittleren Adhäsion gerechnet. Nicht berücksichtigt sind Bremsprobe auf Wirkung, Schutzstrecken und kurzfristig geändertes Rollmaterial oder andere Fahrwege.

Optimierte Geschwindigkeitsprofil vPRO für alle EVU auf dem Normalspurnetz der Schweiz

Diese erweiterten Trassen-Informationen werden täglich 2 Stunden vor Abfahrt im Zugausgangsbahnhof berechnet und über den ADL-Kommunikationskanal dem Lokpersonal zur Verfügung gestellt. Berechnet werden die Züge von SBB Personenverkehr, BLS Personenverkehr, turbo, tilo, SOB, tpf und transN auf dem Normalspurnetz der Schweiz. Mangels verfügbaren Topologiedaten werden Zugstrecken im Ausland nicht berechnet (beispielsweise die TILO-Züge ab Chiasso bis Milano). Ebenfalls nicht berechnet werden die Abschnitte auf der Neubaustrecke (NBS), dem Lötschbergtunnel (LBT) und den beiden NEAT-Tunnel Gotthard (GBT) und Ceneri (CBT). Auf diesen Abschnitten ist die korrekte Berechnung noch anspruchsvoller, es gibt kaum Betriebspunkte zur Kommunikation von Geschwindigkeitsschwellen und teils örtliche Tunnelüberwachungsanlagen.

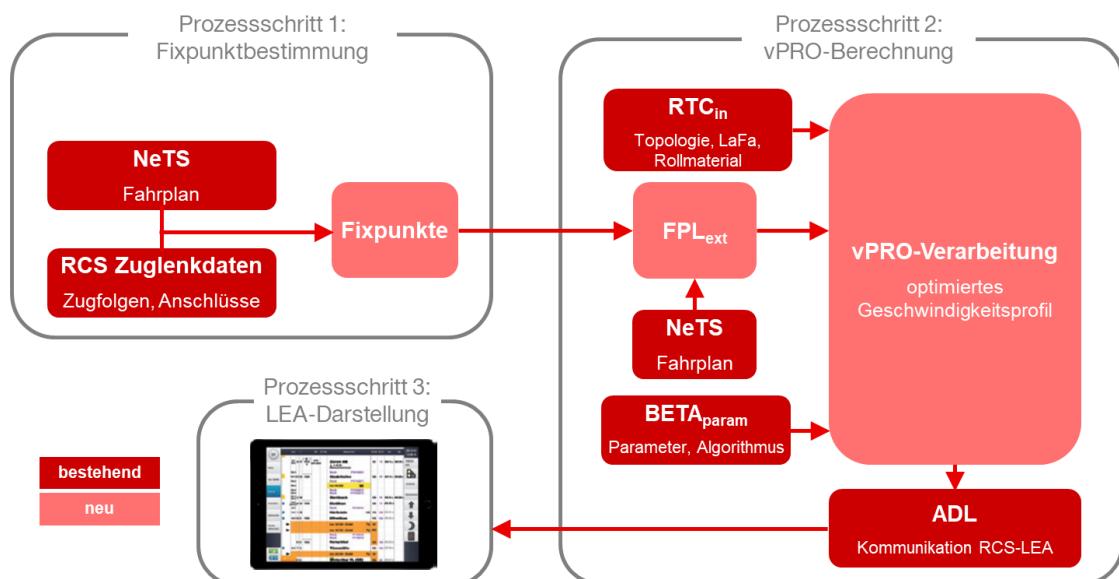
Abbildung 25: optimiertes Geschwindigkeitsprofil auf dem Normalspurnetz der Schweiz



Berechnung von vPRO im RCS-System

Die gesamte Berechnung des optimierten Geschwindigkeitsprofils vPRO erfolgt im System RCS, die untenstehende Abbildung zeigt schematisch die drei realisierten Hauptberechnungsschritte «Fixpunktbestimmung», «vPRO-Berechnung» und «LEA-Darstellung».

Abbildung 26: Schematischer Überblick der vPRO-Berechnung



Die Entwicklung erfolgte intern durch zwei Teams von SBB IT, beide Teams hatten bereits Erfahrung in der Programmierung im RCS-Umfeld. Innerhalb einer Entwicklungsphase arbeiteten die Teams nach der agilen Methode, d.h. in sogenannten Sprints wurden die Ziele und vorgesehenen Tätigkeiten für die nächsten zwei Wochen festgelegt.



Planung der schrittweisen Entwicklung



Teambdiskussion innerhalb des Softwareentwicklungsteams

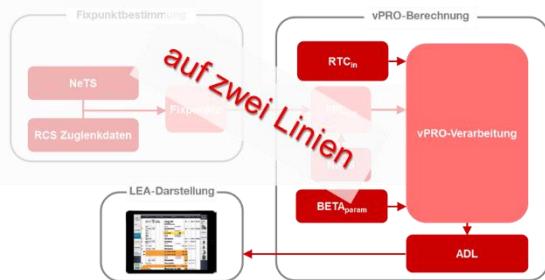
Iterative Entwicklung des optimierten Geschwindigkeitsprofils vPRO

Die Entwicklung von vPRO erfolgte iterativ in 5 verschiedenen Phasen:

Proof of Concept auf zwei Linien

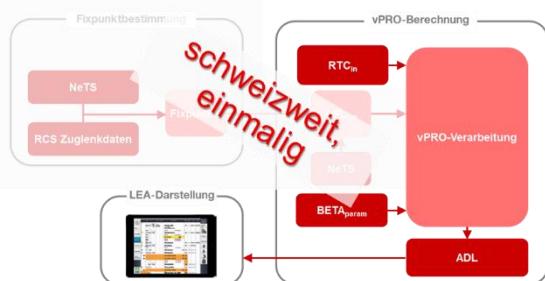
(Juni - August 2018)

In einem ersten Schritt wurde in RCS die vPRO-Berechnung und die Übertragung aufs Endgerät (Juni - August 2018) entwickelt. Die vPRO-Berechnung beinhaltet die Liveanbindung an die Datenquellen des jeweils eingesetzte Rollmaterial, der Langsamfahrstellen und des Fahrwegs. Die Berechnung griff dabei auf den manuell erstellten erweiterten Fahrplan zurück.



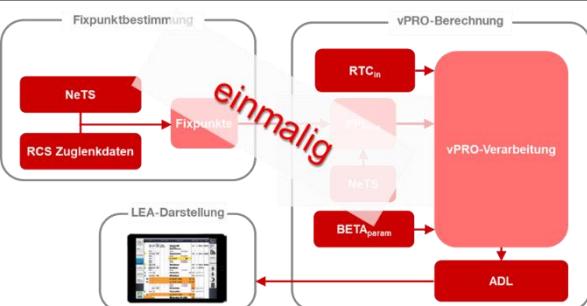
einmalige, netzweite Berechnung
(März - April 2019)

In einem nächsten Schritt wurde eine einmalige, schweizweite Berechnung von vPRO durchgeführt, die Dateien des manuell erstellten erweiterten Fahrplans dienten als Grundlage. Herausfordernd waren vor allem die vielen Spezialfälle und die Optimierung der Berechnungsgeschwindigkeit (Performance).



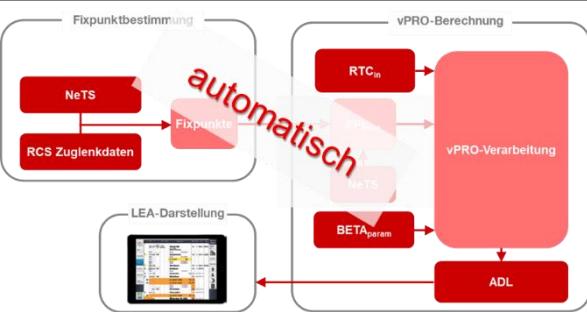
netzweite Berechnung mit Fixpunkten
(Mai – Juni 2019)

Im dritten Schritt wurde die automatische Identifizierung der Fixpunkte und die automatische Erstellung des erweiterten Fahrplans entwickelt. Der dazu verwendete Algorithmus wurde in MATLAB spezifiziert. Vor allem die heterogenen Situationen und individuellen Abbildungen vom Fahrplan waren Knacknäuse.



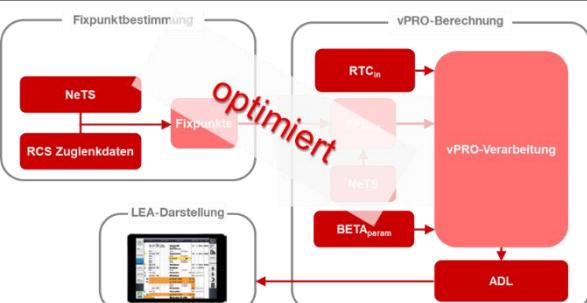
automatische Berechnung (Juli – Sept 2019)

Der grösste Aufwand von allen Entwicklungsphasen entstand in Phase 4 für eine laufende, automatische Berechnung von allen Zügen im Produktivsystem. In dieser Zeit tauchten immer wieder neue Schwierigkeiten bezüglich Datenverfügbarkeit, Dateninkonsistenz und Spezialfällen auf. Vor allem die korrekte Behandlung der grenzüberschreitenden Züge war relativ aufwendig.



Berechnung mit Optimierung
(Nov 2019 – Feb. 2020)

In der letzten Phase wurde die Berechnung verschiedentlich optimiert. Wichtig für den Fernverkehr ist die Berücksichtigung der signalisierten Fahrstrassen, im Regionalverkehr konnte der Fixpunktalgorithmus nochmals etwas verbessert werden.



4.1.6. Betriebstests optimiertes Fahrprofil vPRO

Während dem Projekt erfolgten insgesamt 4 Betriebstests und zwei Tests im Rahmen des Pilotbetriebes mit einem eingeschränkten Benutzerkreis. Über die gesamte Projektlaufzeit wurden rund 73'000 Fahrten mit dem optimierten Fahrprofil vPRO durchgeführt, die Ergebnisse bezüglich Pünktlichkeit und Energiebedarf wurden mit rund 82'000 Vergleichsfahrten verglichen (gleiche Strecken und Fahrzeuge im gleichen Zeitraum, aber ohne vPRO). Durch die iterative Arbeitsweise waren die Rahmenbedingungen, die verfügbaren Fahrprofile und die wesentlichen Erkenntnisse aus den Tests unterschiedlich. Auf den folgenden beiden Seiten werden die absolvierten Betriebstests und die entsprechenden Erkenntnisse charakterisiert.

Betriebstest August 2018

| | |
|---------------|--|
| Zeitdauer | 20. August – 22. September 2018 |
| Fragestellung | Wird das optimierte Geschwindigkeitsprofil vPRO durch das Lokpersonal akzeptiert und führt die Anwendung zu einer Reduktion des Energiebedarfs? |
| Abdeckung | S12 (Brugg – Winterthur), 117 vPRO-Fahrten, 159 Vergleichsfahrten IC5 (Zürich – Genf Flughafen), 327 vPRO-Fahrten, 1079 Vergleichsfahrten |
| Lokpersonal | Zufällig ausgewählte, pensionierte Lokführer begleiten die Titularlokomotoren und geben ihnen für die Fahrt ein LEA (Lokführertablet) mit einer Spezialversion. Anschliessend wird Lokpersonal zu Akzeptanz befragt, der Energiebedarf wird auf der S12 manuell erfasst |
| Datenqualität | Täglich neu gerechnete Fahrprofile für die beiden Strecken, dadurch tagsaktuelle Berücksichtigung von Langsamfahrstellen. Die Fixpunkte wurden für die Linien manuell definiert. |
| Erkenntnisse | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Im Personenverkehr funktioniert ein optimiertes Geschwindigkeitsprofil mit der zusätzlichen Spalte, im Güterverkehr nicht (aufgrund der anderen Verkehrscharakteristik) ✓ Die Akzeptanz beim Lokpersonal ist hoch, das Lokpersonal schätzt die Handlungskompetenz aufgrund der zusätzlichen Informationen. ✓ Wenn die Fahrprofile in einer hohen Qualität vorliegen, so ist eine Erhöhung einer präzisen Bahnproduktion möglich. ✓ Mit den neuen Informationen benötigten die Züge auf der S12 7.6%, resp. 13.3% weniger Bahnstrom, beim IC5 sind es 2% - 4%. |

Der Betriebstest im August 2018 wurde in einem umfangreichen Bericht dokumentiert [7], dieser ist bei Bedarf beim Autor erhältlich.



Erklärungen für die Testbegleiter (pensionierte Lokführer)



Kurzerklärung im Führerstand eines ICN



Begleiter im Führerstand eines RABe511 auf der S12



Aufmerksames Beobachten der berechneten Zeiten im Führerstand eines Regio-Dostos

Betriebstest Mai 2019

| | |
|---------------|--|
| Zeitdauer | 4. Mai bis 12. Juni 2019 |
| Fragestellung | Welche Spezialfälle sind in der Berechnung und der Darstellung zu berücksichtigen? |
| Abdeckung | Schweizweit, insgesamt rund 1900 Fahrten |
| Lokpersonal | Insgesamt waren rund 40 LEA-Feldtester mit einer Spezialversion unterwegs. |
| Datenqualität | einmalige Berechnung der schweizweiten Fahrprofile auf Basis des Fahrplans eines einzelnen Stichtages (keine Berücksichtigung von tagesscharfen Langsamfahrstellen), die Fixpunkte wurden semimanuell definiert und in die vPRO-Berechnung eingespielen. Hinweis: Aufgrund der Zugersee-Sperre wurde der Test am 12. Juni vorzeitig beendet, da zu viele Fahrplandaten nicht mehr mit der Realität übereinstimmten. |
| Erkenntnisse | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Insgesamt wurden 38 Fehler erfasst, welche in die Weiterentwicklung der Fahrprofile und der Oberflächenanzeige eingeflossen sind. ✓ Von Bedeutung ist vor allem die Berechnung und die Darstellung von Zügen mit Spitzkehren in Kopfbahnhöfen unter gleicher Zugnummer (beispielsweise Zug 21148 mit Wende in Luzern oder Zug 971 mit Wende in Bern) |

Betriebstest Juli 2019

| | |
|---------------|---|
| Zeitdauer | 1. Juli bis 11. August 2019: |
| Fragestellung | Welche Anpassungen sind am gewählten Algorithmus für die Identifizierung der Fixpunkte notwendig? |
| Abdeckung | schweizweit, insgesamt 6525 vPRO-Fahrten. |
| Lokpersonal | Im Test waren insgesamt 116 Personen mit einer Spezialversion unterwegs: 40 LEA-Feldtester, 9 Prüfungsexperten, 22 Ausbildungsleiter und 45 Lokführerinnen und Lokführer mit einer Spezialversion unterwegs |
| Datenqualität | Die Fahrplandaten für die Fahrprofile stammten von einem Stichtag im Juni 2019, die Fahrprofile wurden mit dem in RCS implementierten Algorithmus zur Generierung der Fixpunkte einmalig berechnet (keine Berücksichtigung von tagesscharfen Langsamfahrstellen). |
| Erkenntnisse | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Es konnten wiederum 37 Fehler identifiziert (und mehrheitlich gelöst) werden. ✓ Parallel zu diesem Test präzisierte SBB-IT die automatische Identifizierung der Fixpunkte. |

Betriebstest Okt 2019

| | |
|---------------|---|
| Zeitdauer | 14. Oktober bis 17. November 2019 |
| Fragestellung | Funktioniert die automatische vPRO-Berechnung in genügender Qualität und mit der geforderten Performance? |
| Abdeckung | schweizweit, insgesamt rund 5000 vPRO-Fahrten. |
| Lokpersonal | In diesem Betriebstest waren insgesamt 140 Lokfahrerinnen und Lokführer mit den erweiterten vPRO-Informationen unterwegs. |
| Datenqualität | Erstmals wurden sowohl die Fahrprofile wie auch die Fixpunkte automatisch berechnet und dem Lokpersonal in den Führerstand übermittelt. Die meisten Langsamfahrstellen konnten tagesscharf berücksichtigt werden. |
| Erkenntnisse | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Die Berechnung von allen Zügen, welche in der nächsten Stunde abfahren, dauert auf dem RCS-System gerade mal einige Sekunden. ✓ Die Qualität im Regionalverkehr ist auf einem akzeptablen Niveau (von einigen Spezialfällen abgesehen). ✓ Zur Sicherstellung der Qualität wird eine Prüfung implementiert (ok, wenn Abweichung zu betrieblichem Fahrplan < 90 Sekunden) ✓ Es werden rund 90% der RV-Züge berechnet, der Code kann Züge nicht verarbeiten, welche im Ausland starten oder enden. |



Unterwegs im ICN von Zürich nach Genf im September 2019



Pünktliche Ankunft in St.Gallen trotz etwas schlechterer Adhäsionswerte



Ein Fokus in den Betriebstest lag auf der korrekten Berücksichtigung der verschiedenen Fahrzeuge – hier ein FLIRT (RABe523)



Diskussion während der Auswertung

Pilotbetrieb Februar / April 2020

| | |
|---------------|---|
| Zeitdauer | Ab 14. April bis 10. Mai 2019 |
| Fragestellung | Funktioniert die automatische vPRO-Berechnung in genügender Qualität im Livebetrieb? Wie muss die Kommunikation gestaltet werden, damit von Seite Lokpersonal die Akzeptanz möglichst hoch ist? |
| Abdeckung | Zürcher S-Bahn (5'299 vPRO-Fahrten, 15'308 Vergleichsfahrten) |
| Lokpersonal | Bereits am 20. Februar 2020 startete der Pilotbetrieb im Depot Brugg AG. Der eigentliche Probefahrt mit Datenerfassung wurde anschliessend mit dem Lokpersonal von Brugg AG (96 Lf), dem Depot Altstetten (60 Lf) und dem Depot Rapperswil (46 Lf) durchgeführt. Aufgrund von Covid-19 konnte sich das Lokpersonal von Rapperswil und Altstetten vom Pilotbetrieb abmelden. |
| Datenqualität | Alle Regionalzüge werden live vom Produktivsystem RCS in der Produktivversion von LEA angezeigt – alle Langsamfahrstellen, das effektiv eingesetzte Rollmaterial und die Fahrwege sind berücksichtigt. Für den Fernverkehr werden aus Qualitätsgründen keine vPRO-Informationen berechnet. |
| Erkenntnisse | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Die Qualität im Regionalverkehr ist auf einem guten Niveau, die Zeiten stimmen recht gut mit dem gefahrenen Fahrprofil überein. ✓ Es besteht noch ein Problem mit der automatischen Fortschaltung, insbesondere bei mitternachtsüberschreitenden Zügen. ✓ In der Kommunikation (Booklet und Plakat) sind die Vorteile für das Lokpersonal P stärker zu betonen, die Energieeffizienz ist nur ein angenehmer Nebeneffekt. Das Ziel ist die Harmonisierung der Zeiten zwischen Lokpersonal und Betrieb. |



Vor einer Testfahrt auf der S1 von Frick nach Basel



Pilotdepot Brugg am 20. Februar 2020

Pilotbetrieb Juni 2020

| | |
|---------------|--|
| Zeitdauer | 9. Juni bis 6. Juli 2020 |
| Fragestellung | Ist die Qualität im Fernverkehr auf einem akzeptablen Niveau für eine Freischaltung (Ankunftspräzision)? Führt die Anwendung von vPRO effektiv zu einer Energieeinsparung? |
| Abdeckung | Insgesamt 53'808 vPRO-Fahrten (41'879 RV, 11'929 FV) und 65'196 Vergleichsfahrten (48'998 RV, 16'198 FV) |
| Lokpersonal | Lokpersonal von den Depots (Aarau, Altstetten, Biel, Brugg, Chur, Delémont, La Chaux-de-Fonds, Neuchâtel, Olten, Rapperswil, Sargans, St.Gallen, Winterthur, Ziegelbrücke), insgesamt 938 Lf, |
| Datenqualität | Berechnung von FV- und RV-Zügen, Berücksichtigung der signalisierten Geschwindigkeiten |
| Erkenntnisse | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Die Parameter sollten noch optimiert werden (etwas tiefere Beschleunigungsparameter, kein Ausfahren von kurzen Geschwindigkeitsspitzen im Fernverkehr, anderes Bremsverhalten im FV statt RV) ✓ Die Auswertungen der Ankunftspräzision finden sich in Kapitel 4.1.3, diejenige des Energiebedarfes in Abschnitt 4.1.4 . |

4.1.7. Business Transformation

Die Aktivitäten zur Business Transformation gliedern sich in die drei Teile «Präsentationen und Stakeholdermanagement», «interne und externe Kommunikation» sowie «Aus- und Weiterbildung Lokpersonal». Die nachstehende Liste gibt einen Überblick über die umfassenden Aktivitäten.

Präsentationen und Stakeholdermanagement



Interaktiver Workshop am VöV-Forum im Januar 2019

Externe Präsentationen

Das Projekt und die Inhalte wurden in insgesamt 11 Präsentationen gezeigt

- ✓ 20. Februar 2018: UIC Workshop in Brüssel
- ✓ 23. März 2018: Allianz pro Schiene
- ✓ 7. Mai 2018: Präsentation beim BAV, Sektion Bahnbetrieb
- ✓ 15. Mai 2018: Präsentation beim BAV, EsÖV
- ✓ 29. Januar 2019: VöV-Forum «Energieeffizienz»
- ✓ 24. April 2019: GDI-Mitgliederversammlung, Sektion Bern
- ✓ 14. Juni 2019: Präsentation an der ICROMA-Konferenz «Rail Norrköping»
- ✓ 27. Juni 2019: Besuch bei den holländischen Bahnen «Nederlandse Spoorwegen»
- ✓ 21. November 2019: European Power Network
- ✓ 1. September 2020: Business Lunch der Klimaplattform Basel
- ✓ 4. November 2020: Bahntagung von electro suisse



Interner Workshop

Interne Präsentationen

Das optimierte Geschwindigkeitsprofil vPRO wurde in folgenden Gremien präsentiert:

- ✓ 26. Februar 2018: Werkstattaustausch MoPro
- ✓ 6. März 2018: InnoCircle Infrastruktur
- ✓ 17. April 2018: DAE-Info
- ✓ 2. Mai 2018: Businessteam SR4.0
- ✓ 21. Juni 2018: Ausbildungslokführer Nordwestschweiz
- ✓ 19. September 2018: Lunch & Learn I-B
- ✓ 21. September 2018: Bestellertag SBB
- ✓ 27. September 2018: Umweltmanagement Personenverkehr
- ✓ 22. November 2018: Challengetage SR4.0
- ✓ 27. November 2018: PEX-Konferenz
- ✓ 3. Dezember 2018: Weihnachtsanlass smartrail4.0
- ✓ 18. Dezember 2018: Mittagsanlass «Energieeffiziente Bahnproduktion»
- ✓ 6. März 2019: StaSS Zugführung (SR4.0)
- ✓ 28. Mai 2019: PEX-Konferenz
- ✓ 6. September 2019: Kernteam RCS
- ✓ 29. Oktober 2019: RCS ADL Erfa-Team
- ✓ 19. November 2019: DAE-Info
- ✓ 22. November 2019: Ausbildungslokführer, Gesamtschweiz
- ✓ 26. November 2019: Stass Planung und Betrieb (SR4.0)
- ✓ 15. Januar 2020: PEX-Retraite
- ✓ 29. Januar 2020: RCS-Fachgruppe
- ✓ 10. Februar 2020: Fachgruppe Qualität und Umwelt
- ✓ 20. Februar 2020: Mittagsanlass EN
- ✓ 2. September 2020: Fachbus LEA und Fachbus RCS



Lunch & Learn



Erklärungen im Führerstand



Begleitfahrten für Stakeholder

vPRO-Begleitfahrten

Zusätzlich wurden während den Betriebstests rund 25 Begleitfahrten organisiert, um relevanten Stakeholder die Funktionsweise von vPRO näher zu bringen. Jeweils ein Lokführer vom Kernteam besuchte gemeinsam mit 1-2 Gästen während rund 60 Minuten den Führerstand.

Interne und externe Kommunikation



Teilnahme an wissenschaftlicher Konferenz



Workshop mit Kader Lokpersonal

News vom Projekt «eco2.0»

ZFR aktuell

Das Projekt «eco2.0» kam dank zwei Betriebstests im Jahr 2019 seinem Ziel einen grossen Schritt näher. Ab Februar 2020 wird die optimale Geschwindigkeit vPRO von allen Regionalzügen (S, R) automatisch täglich berechnet (Normalspurtrassen) und ab März wird die Funktion »vPRO« im Regional- und S-Bahnverkehr gestaffelt nach Depots ausgerollt.

Rund 120 Lokführer und Lokführertinnen von ZFR nahmen am Betriebstest im Sommer (1. Juli – 13. August 2019) teil. Der Fokus lag auf einer flächendeckenden Erfassung, um die Plausibilität der gerechneten Daten aus der gesamten Schweiz inkl. ETCS-L2-Strecken zu prüfen.

ZFR-Newsletter



Loksimulator an der Tech4

Internetseite «Digitale Bahn»

Artikel und wissenschaftliche Papers

- ✓ Juni 2018: Global Railway Review [8]
- ✓ Dezember 2018: Locofolio [9]
- ✓ Juni 2019: ICROMA-Konferenz, Norrköping, Schweden («8th International Conference on Railway Operations Modelling and Analysis»). Das Team erhielt den ersten Preis für das «best professional paper». Das Paper ist in Anhang 8.4 enthalten.

Workshop an Kaderkonferenz

Am 27. November 2018 wurde das optimierte Geschwindigkeitsprofil dem gesamten Lokpersonalkader von SBB Personenverkehr vorgestellt. Im Sinne eines emotional ansprechenden Zugangs und höherer Aufmerksamkeit wurde vPRO mit Legozügen simuliert – dank zwei Zügen auf einem Netz konnte auf spielerische Art und Weise der grosse Nutzen von widerspruchsfreien Informationen vermittelt werden.

Beiträge in internen Newslettern

- ✓ 8. Juni 2018: Info vom Chef Zugführung
- ✓ 6. Juli 2018: eNews von P-OP-ZF
- ✓ 3. Juli 2019: Newsletter «Energiesparen & erneuerbare Energien»
- ✓ 16. Dezember 2019: eNews von P-O-BP-ZFR
- ✓ 4. Juni 2020: ZF-App

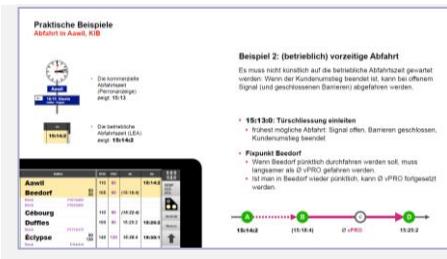
Ausstellungen

- ✓ 6. November 2018: Stand «energieeffiziente Bahnproduktion» mit Loksimulator an der Tech4 (IT-Messe von SBB)
- ✓ 19. November 2018: erneute Tech4-Teilnahme an SR4.0-Stand mit Loksimulator

Intranet und Internetseiten

- ✓ Sharepoint-Seite I-FUB
- ✓ Internetseite “Digitale Bahn” [10]
- ✓ Intranetseite “energieeffiziente Bahnproduktion” [11]

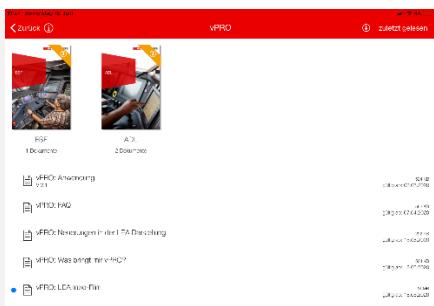
Aus- und Weiterbildung Lokpersonal



Präsentation für die Weiterbildungstage vom Lokpersonal SBB



In Diskussion mit den Prüfungsexperten (PEX)



Integration von Booklet und Plakat in LEA-App



Filmerstellung in Bern Wankdorf

Weiterbildungstage Lokpersonal SBB Personenverkehr

An den Weiterbildungstagen in den Jahren 2019 war das optimierte Geschwindigkeitsprofil vPRO ein wesentlicher Bestandteil vom Ausbildungsblock im Klassenzimmer. Im Jahr 2021 wird vPRO zusammen mit der EVA-App erneut Bestandteil des Weiterbildungstages sein. Dazu wurde eine umfassende Präsentation in Zusammenarbeit mit den Bildungsexperten und Ausbildnern erstellt.

Zusammenarbeit mit Prüfungsexperten

Die Prüfungsexperten PEX waren von Anfang an in die Entwicklung und den Test im Betrieb eng mit eingebunden:

- 16. Januar 2019: Präsentation und Diskussion Ergebnisse Betriebstest
- 28. Mai 2019: Bestandteil an PEX-Konferenz
- 15. Januar 2020: Modul an Weiterbildungstagen

Broschüre (Booklet) und Plakat in LEA-App

Für die Einführung von vPRO beim Lokpersonal wurde sowohl ein Booklet [12], wie auch ein Plakat mit den wesentlichen Änderungen gestaltet. Vor der Freischaltung wurde das Plakat im Depot aufgehängt, ergänzende Informationen liefert das Booklet. Seit Anfang Juli 2020 sind alle Informationen auch schriftlich für das Lokpersonal in der LEA-App verfügbar.

Film «Hintergrund der vPRO-Berechnung» [13]

Gemeinsam mit der Kommunikationsstelle der SBB wurde ein gut 3 Minuten langer Film über die Hintergründe der vPRO-Berechnung erstellt: So können «virtuell» die IT-Standorte der Entwicklung besucht werden, man erfährt mehr über die theoretischen Grundlagen vom Fahrplan und erhält einen Einblick in die Umsetzung durch die Kollegen von SBB Informatik.

4.2. Aktualisierte Fahrlage

Nach den Betriebstest im Sommer 2018 zeigte sich, dass das optimierte Geschwindigkeitsprofil vPRO im Güterverkehr nicht anwendbar ist (die Züge fahren zu wenig genau auf den geplanten Trassen).

Grundidee der aktualisierten Fahrlage

Deshalb wurde die Funktion «Aktualisierte Fahrlage» entwickelt: Mit dem Liveblick wird dem Lokpersonal einen Direktblick in die aktuelle Betriebslage gegeben. Technisch werden die aktuellen Durchfahrtszeiten von RCS Dispo auf das Lokführertablet übermittelt, vom aktuellen Punkt aus werden jeweils die nächsten 15 streckentabellenrelevanten Betriebspunkte übermittelt.

Technische Umsetzung via ADL-Kanal

Im Herbst und Winter 2018 wurde eine technische Lösung erstellt, welche ebenfalls über den ADL-Kanal die aktuellen Prognosezeiten ausgibt. Seit dem RCS-Release im Februar 2019 sind für die EVU's diese Daten verfügbar. Der erste Test im Februar 2019 zeigte, dass die Implementierung im LEA deutlich kniffliger war als angenommen, insbesondere die automatische Fortschaltung führte zu vielen Problemen. Diese konnten erst im Oktober 2019 gelöst werden, so dass der Betriebstest [15] mit dem Lokpersonal im November und Dezember 2019 stattfand.

Realisierung via IHPT-Backend

Der Betriebstest war insofern erfolgreich, dass der Nutzen klar belegt werden konnte. Allerdings reicht aus technischen Gründen eine Aktualisierung von bloß der nächsten 15 Betriebspunkte nicht aus, vielmehr ist eine komplette Aktualisierung vom Start bis zum Ziel notwendig (Betriebspunkte und Zeiten). Via ADL-Kanal konnten diese Informationen nicht übermittelt werden, deshalb wurde im Q3 & Q4 2020 eine Anbindung an das IHPT-System erstellt. Seit Februar 2021 fährt das Lokpersonal von SBB Cargo und SBB Cargo International mit den aktualisierten Durchfahrtszeiten.



Am Start in Basel mit einer BR 193
(Siemens Vectron)



Aktualisierte Durchfahrt am Bahnhof – die Abweichung beträgt nur wenige Sekunden gegenüber der zuletzt aktualisierten Zeit.

4.2.1. Bisherige Darstellung auf dem Endgerät

Das Lokpersonal im Güterverkehr fuhr bisher einzig mit der Fahrordnung aus der Planung. Diese geplanten Zeiten der Fahrordnung entsprachen aber meist nicht der Realität und konnten nur selten gebraucht werden, da der Zug während einer grossen Zeitdauer ausserhalb des geplanten Trasses unterwegs ist. In all diesen Fällen werden die bisherigen Fahrplanzeiten obsolet.

Zudem war es für das Lokpersonal auch nicht ersichtlich, mit welchen effektiven Durchfahrtszeiten der Disponent den Zug eingeplant hat und an welchen Standorten es zu Halten kommt. In RCS wären zwar alle Durchfahrtszeiten als Prognose vorhanden, die ADL-Meldung wird aber nur auf einen Betriebspunkt hin optimiert.

Abbildung 27: Diskrepanz zwischen Planung (13.31 Uhr) und Realität (14.27 Uhr) – das Lokpersonal verfügt trotz ADL im Vergleich zur Betriebszentrale nur über eine sehr eingeschränkte Sichtweise auf den Bahnbetrieb.



Diese unvollständigen Informationen führten dazu, dass jeder Lokführer und jede Lokführerin im Güterverkehr eine eigene Fahrstrategie nach bestem Wissen wählt – geprägt ist diese von den Signalstellungen. Im Idealfall wird die energiesparende Fahrweise (ESF) angewendet, meist jedoch wird die Strategie vMAX gewählt. Eine Ausnahme bilden einzig diejenigen Situationen, wo das Lokpersonal eine ADL-Meldung erhält.

Abbildung 28: Die sechsachsigen Re620 werden vornehmlich für die schweren Nord-Südgüterzüge eingesetzt.



4.2.2. Neue Darstellung auf dem Endgerät

Mit den zusätzlichen Informationen sieht das Lokpersonal auf einen Blick die aktuelle Betriebslage («ich sehe grad, wie mein Zug eingeplant ist»). Zudem konnte im Betriebstest im November 2019 gezeigt werden, dass mit der neuen Funktion der spezifische Energiebedarf deutlich tiefer ist. Auch beim Lokpersonal Güterverkehr werden nur zwei kleine Änderungen implementiert: Einerseits einen Button zum Wechsel auf die Live-Prognosezeiten und andererseits die Anzeige der aktuellen Prognosezeiten anstelle der bisherigen Fahrplanzeiten.

Abbildung 29: Änderungen für Lokpersonal bei Funktion «Aktualisierung Fahrlage»



-
- 1 Sobald aktuelle Prognosezeiten innerhalb von RCS vorliegen, erscheint der Button mit der Uhr. Ein Klick darauf aktualisiert die Zeiten der Fahrordnung.
 - 2 Die aktuellen Durchfahrtszeiten gemäss Betrieb (RCS) werden inkl. Sekundenangabe angezeigt – die bisherigen Durchfahrtszeiten werden überschrieben. Damit das Lokpersonal nicht zu oft abgelenkt wird, lösen nur relevante Abweichungen (>3 Min) innerhalb der nächsten 5 Betriebspunkte eine Aktivierung des Buttons aus.
Hinweis: Die obige Logik wurde im Betriebstest getestet. Für die finale Umsetzung erfolgt eine leichte Anpassung der Schwellwerte.

4.2.3. Technische Umsetzung

Die zusätzlichen Informationen der Funktion «aktualisierte Fahrlage» werden von der RCS-Prognose an das LEA-Tablet übermittelt. Es handelt sich um Telegramme mit den Informationen Betriebspunkten, prognostizierte An- und Abfahrtszeiten der RCS-Prognose (bei Durchfahrten sind die Zeiten identisch) und dem Haltecode. Aus technischer Sicht können zwei Wege zum Empfang und Nutzung der «Aktualisierung Fahrlage» genutzt werden:

Direkter Versand an Endgerät über ADL-Kanal (3a)

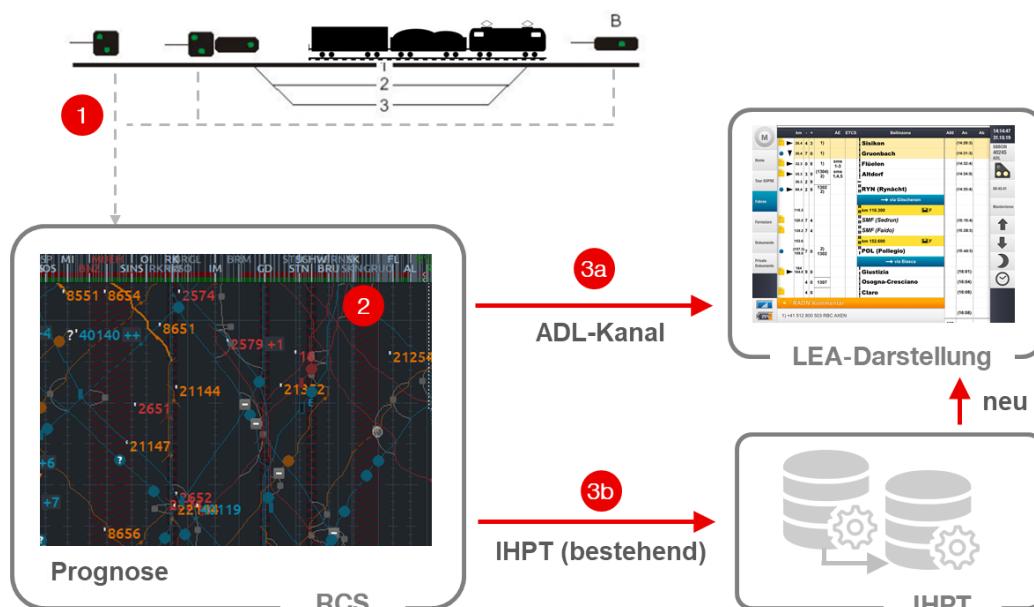
- Sobald ein Zug ein Ausfahrtsignal befährt, wird von RCS ein aktualisiertes Telegramm an das Endgerät geschickt, in Realität treffen so ca. alle 3 Minuten aktuelle Daten auf dem Endgerät ein.
- Aus technischen Gründen beinhaltete die Lieferung jeweils vom aktuellen Standort aus die Prognosedaten über die nächsten 15 streckentabellenrelevanten Betriebspunkte, d.h. rund 30-60 Minuten sind damit abgedeckt.
- Die Informationen werden durch den ADL-Controller auf dem Endgerät empfangen und an die App weitergereicht. Seit Q1/2019 stehen die Informationen zur «Aktualisierung Fahrlage» allen EVU's über die ADL-Schnittstelle zur Verfügung.

Komplette Datenlieferung über IHPT-Backend

Im Betriebstest «Aktualisierte Fahrlage» [14] wurden vom Lokpersonal zwei inakzeptable Fehler zurückgemeldet (u.a. Freeze und Absturz der App). Die Analyse der Fehler zeigte, dass der bisherige Ansatz «Lieferung von 15 BP» über den ADL-Kanal unzureichend ist und aufgrund der App-Architektur zwingend der gesamte Fahrweg zu übermitteln ist. Die Funktion wurde deshalb anders realisiert:

- Die RCS-Daten in IHPT werden über das LEA-Backend zum LEA-Endgerät gespielen, die Datenquelle ist weiterhin RCS. Neu wird aber der gesamte Zuglauf von Anfang bis Ende übermittelt, was die Darstellung auf dem Endgerät vereinfacht.
- Ein weiterer Vorteil dieser Lösung: Mit der Gesamtlieferung kann auch gleichzeitig die aus Sicht Sicherheit wichtige Funktion «Aktualisierung Fahrweg» umgesetzt werden (Sobald ein Zug über andere BP umgeleitet wird, erhält der Zug eine neue Fahrordnung).

Abbildung 30: Schematische Umsetzung vom Informationsfluss für Betriebstest (3a) und Endlösung für SBB-Lokpersonal (3b)

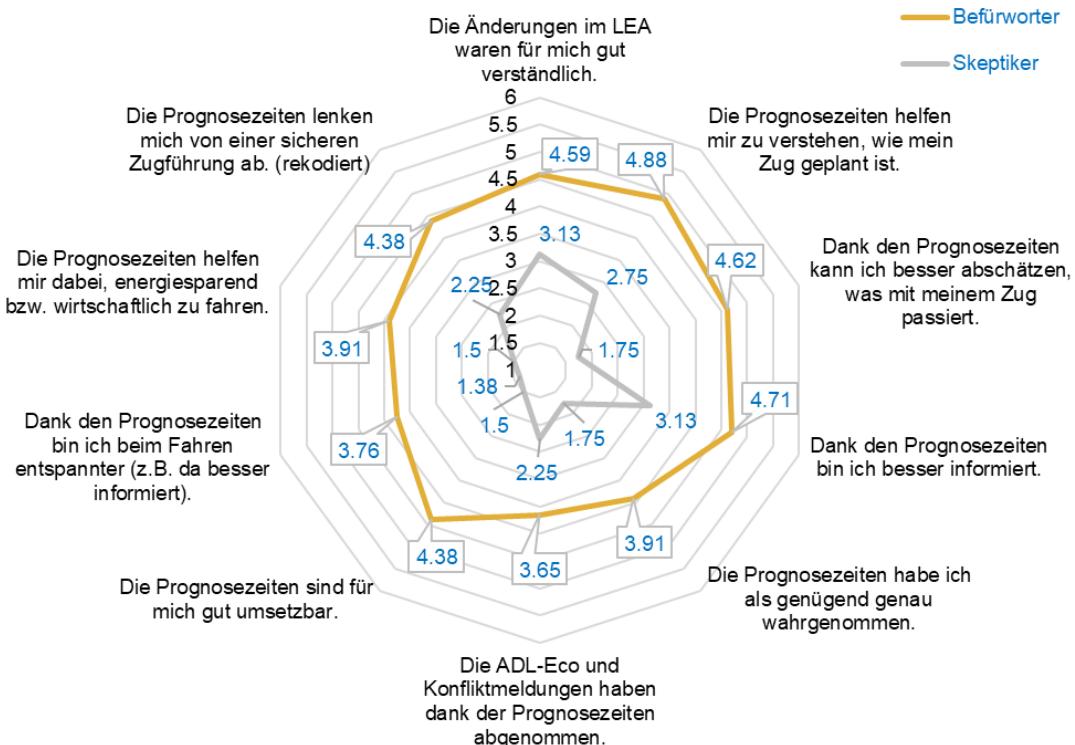


4.2.4. Akzeptanz vom Lokpersonal

Die Akzeptanz der neuen Funktion beim Lokpersonal wurde während dem Betriebstest im November 2019 mittels elektronischen Fragebogens erhoben. Sowohl die Erstellung des Fragebogens wie auch die Auswertung geschah dabei durch Dr. Gilles Chatelain [16].

Nach der Hälfte und am Ende der Pilotphase wurde den teilnehmenden Lf ein Link zu einer Online-Umfrage zugeschickt. Die Umfrage stand in drei Sprachen zur Verfügung. Die Erhebung war anonym und es wurden keine weiteren persönlichen Eigenschaften, wie z.B. das Alter oder Geschlecht erhoben. Aus diesem Grund können die Daten der zwei Befragungszeitpunkte nicht miteinander verknüpft werden. 46 Lf gaben an, am weiteren Projektverlauf interessiert zu sein, in welchem Fall nach der internen U-Nummer gefragt wurde.

Abbildung 31: Akzeptanz der Funktion «aktualisierte Fahrlage» beim Lokpersonal von Güterverkehr



Start in Basel auf dem Rangierbahnhof.



Unterwegs über die Südbahn in Richtung Arth-Goldau

4.2.5. Betriebstests Aktualisierte Fahrlage

Insgesamt erfolgten während der Projektdauer ein Bürotest und ein umfassender Betriebs-test.

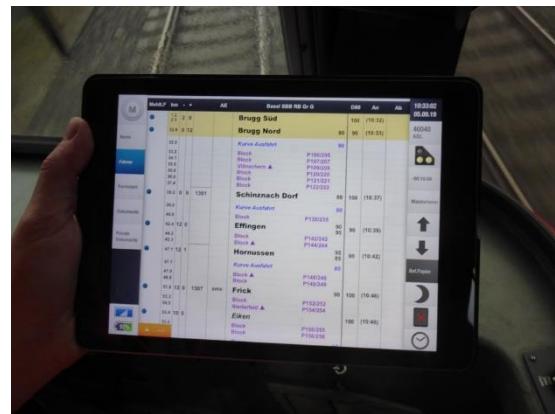
Bürotest Februar 2019

| | |
|---------------|--|
| Zeitdauer | 30. Januar 2019 |
| Fragestellung | Funktioniert die Funktion «Akt. Fahrlage» wie gewünscht? Wie schnell wird das Lokpersonal informiert, wenn ein Disponent eine Änderung vornimmt? |
| Abdeckung | schweizweit, Bürotest |
| Lokpersonal | 3 Lokführer von SBB Cargo im Güterverkehr, kein Test im Betrieb. |
| Datenqualität | Gleiche Daten wie in Betriebszentrale |
| Erkenntnisse | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Die Latenz zwischen Veränderung der Daten bis Meldung an Lokpersonal liegt im Sekundenbereich, damit wird eine «Quasi-»-Liveblick möglich. ✓ Die Darstellung der LEA-App lässt allerdings noch zu wünschen übrig: <ul style="list-style-type: none"> o LEA springt bei Aktualisierung an falschen Ort o Fortschaltung im LEA funktioniert ungenügend (Fixierung Zwerg) o nicht alle Betriebspunkte werden aktualisiert o Beim Disponieren von DiuM wird weder Wegnahme noch zusätzliches Setzen angezeigt. |

Im Test war man sich einig, dass man eine solche Version unmöglich für einen Betriebstest verwenden kann.



Unterwegs mit der Re10/10 und gut 1300 Tonnen Anhängelast von Arth Goldau über den Bözberg nach Basel.



Der Button zur Aktualisierung der Durchfahrzeiten erscheint prompt, aber unaufdringlich und ermöglicht neben der ADL-Meldung einen zusätzlichen Blick auf die Betriebssituation.



Damit werden nun im Güterverkehr erstmals pünktliche Durchfahrten möglich – das Lokpersonal weiß direkt, wie der Disponent den Zug



Das Lokpersonal freut's, damit gehört das zusätzliche Nachschauen der Betriebssituation auf www.rail4.sbb.ch der Vergangenheit an.

eingeplant hat.

Betriebstest November 2019

| | |
|---------------|---|
| Zeitdauer | 19. November bis am 19. Dezember 2019 |
| Fragestellung | Bringt die Funktion «Aktualisierung Fahrlage» einen Nutzen für das Lokpersonal? Wird die Funktion akzeptiert? Führt die Funktion zu einer Energieeinsparung? |
| Abdeckung | schweizweit, insgesamt 651 Fahrten mit «akt. Fahrlage». |
| Lokpersonal | Insgesamt waren 92 Lokführerinnen und Lokführer von SBB Cargo und SBB Cargo International mit der «akt. Fahrlage» unterwegs |
| Datenqualität | Gleiche Daten wie in Betriebszentrale |
| Erkenntnisse | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Die Funktion bietet dem Lokpersonal einen Nutzen und wird als wertvoll empfunden («ich kenne nun meine Betriebslage wesentlich genauer ... ») ✓ Die Funktion führt zu einer Energieeinsparung, aufgrund der jetzigen Zahlen kann man von ca. 4% ausgehen. ✓ Das Zusammenspiel zwischen LEA-App und RCS ist noch nicht ideal: Probleme machten vor allem die Fortschaltung in der App und der Neuaufbau der Fahrordnung bei Fahrwegänderungen. |

4.2.6. Energieeinsparung durch «Aktualisierung Fahrlage»

Übersicht der Datenquellen

Die im Betriebstest verwendeten Energiedaten stammen von den für die Abrechnung verwendeten Energiezählern, bei den meisten Fahrzeugtypen sind die DCS-Energiezähler eingebaut, bei den Fahrzeugtypen BR 185, BR189, BR193 sind es die Railpower-Boxen der ÖBB, resp. DB. Diese Energiezähler messen den Energiefluss sowohl für Bezug wie Rekuperation und generieren damit eine Energiedaten-Zeitreihe pro Fahrzeug (DCS-Energiezähler: 1 Messwert pro Sekunde, ÖBB-Railpowerbox: 1 Messwert pro 5 Minuten). Die Energiedaten werden automatisch auf die Server von SBB Infrastruktur übermittelt. Um den Energiebedarf für eine einzelne Fahrt zu bestimmen, sind deshalb die Abfahrts- und Ankunftszeiten am Start- und Ziel-Betriebspunkt nötig.

Abbildung 32: Verwendete Energiezähler auf den Lokomotiven von SBB Güterverkehr, links: DCS-System (DB Cargo, Mitte Eco Module SBB Infra, rechts Railpower-Box z.B. auf den Fahrzeugen der Baureihen Br 193

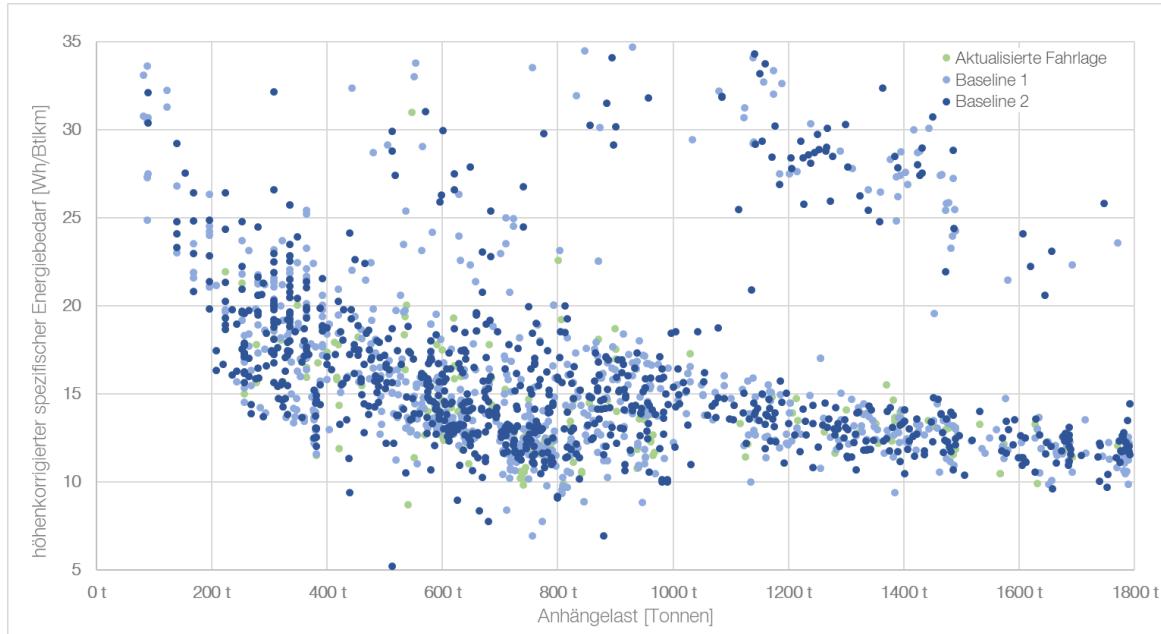


Abhängigkeit des Energiebedarfes zur Anhängelast

In Abbildung 33 ist der spezifische Energiebedarf der Test- und Vergleichsfahrten in Abhängigkeit zur Anhängelast aufgetragen. Es zeigt sich die bekannte Kurve mit einem leichten Unterbruch bei ca. 1'000 Tonnen. Dieser Unterbruch wird durch den weit verbreiteten Einsatz der Re420 verursacht: Die Re 420 kann bei 12 Promille max. 1020 Tonnen ziehen, bei einer

höheren Anhängelast wird Doppeltraktion benötigt. Im Binnenverkehr wird die Re420 noch weit verbreitet eingesetzt, auf der Transitachse wurde die Re420 durch die Neubauloks mehr oder weniger ersetzt (die Neubauloks ziehen bei 12 Promille i.d.R. bis 1620 Tonnen).

Abbildung 33: Spezifischer Energiebedarf von Test- und Vergleichsfahrten in Abhängigkeit der Anhängelast

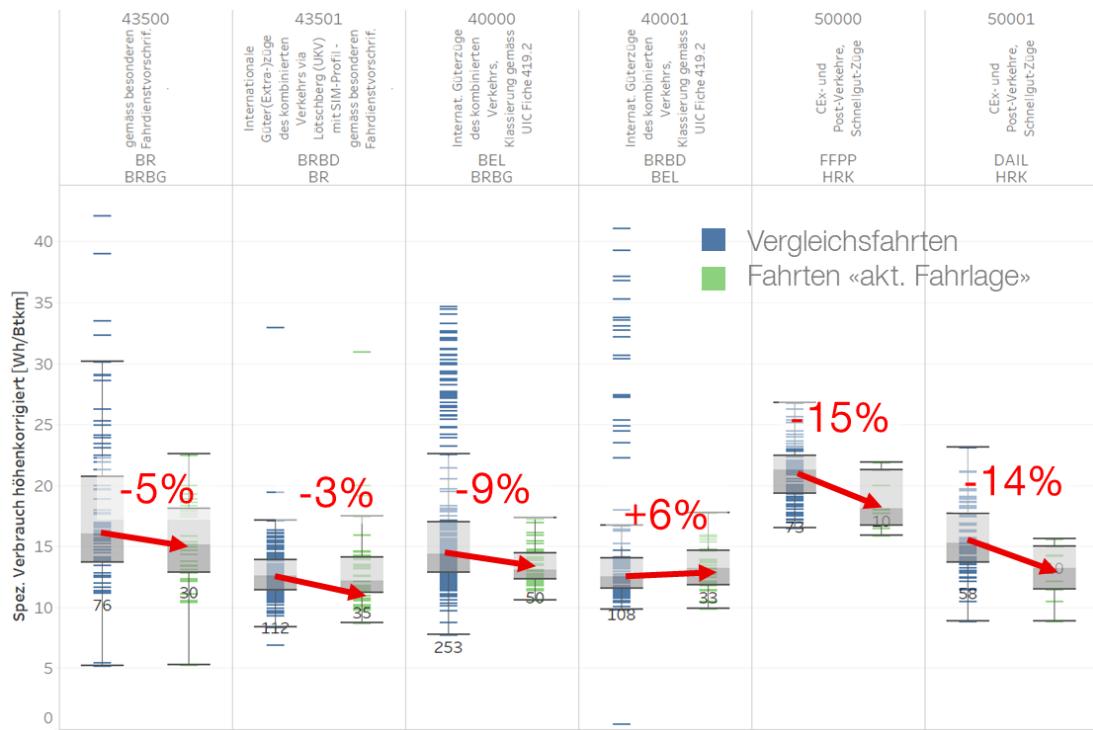


Reduktion des Energiebedarfes aufgrund der Funktion Aktualisierung Fahrlage

Mit der Funktion «aktualisierte Fahrlage» verändert sich der spezifische Energiebedarf gegenüber den Vergleichsfahrten im Testzeitraum wie folgt:

- 40000-Züge Bellinzona – Basel: -9%, 40001-Züge Basel - Bellinzona: -0.8%
- 43500-Züge Brig -Basel: -5.9%, 43501-Züge Basel – Brig: 5.3%
- 50000-Züge Frauenfeld – Härkingen: -15%
- 50001-Züge Daillens - Härkingen: -14%

Abbildung 34: Vergleich des spezifischen Energiebedarfs der Testfahrten mit der Funktion «aktualisierte Fahrlage» zu den Vergleichsfahrten



5. Diskussion

Die umfangreichen Betriebstests, regelmässigen Auswertungen und das iterative Vorgehen haben zu qualitativ hochwertigen Lösungen geführt. Einige Aspekte werden hier aber trotzdem im Sinne von künftigen Erweiterungs- und Verbesserungsmöglichkeiten diskutiert:

- Grundsätzlich anderes Systemverhalten vom Güterverkehr**
In den Betriebstest im Sommer 2018 wurde erkennbar, dass sich die Züge vom Güterverkehr komplett anders als die Personenverkehrszüge verhalten (und auch verhalten sollen): Während von Personenzügen ein relativ striktes Verhalten vom Fahrplan erwartet wird (weder vorzeitig noch verspätet), sollen Güterzüge nach Möglichkeit möglichst schnell durch die Sektoren geschleust werden. Da die Güterzüge aber meist mit den schwerstmöglichen Optionen geplant sind, resultiert daraus eine erhebliche Vorzeitigkeit. Mit dieser Flexibilität tragen die Güterzüge wesentlich dazu bei, dass die Kapazität vom Gesamtsystem so hoch ist. Die verschiedene Befolgung von Plan und Ausführung soll in zukünftigen Fahrempfehlungsprojekten unbedingt berücksichtigt werden.
- Komplexe Berechnung in langen Tunnels bei hohen Geschwindigkeiten**
vPRO ist heute auf dem gesamten Normalspurnetz vorhanden, mit Ausnahme der Abschnitte Neubaustrecke (NBS), Gotthardbasistunnel (GBT), Ceneribasistunnel (CBT) und LBT (Lotschbergbasistunnel). Der Grund ist der folgende: Alle diese Strecken haben einen hohen Tunnelanteil mit nur wenigen im Lokführertablet sichtbaren Betriebspunkten. Deshalb ist eine feingranulare Steuerung per se bereits schwierig. Dazu kommt die herausfordernde Berechnung innerhalb vom Tunnel: Aufgrund der hohen Geschwindigkeiten bis 200km/h und des höheren Luftwiderstandes im Tunnel operieren die Fahrzeuge näher an ihrer Leistungsgrenze. Damit ist eine sekundenscharfe Berechnung deutlich schwieriger.
- Fahrvarianz und Ankunftszeitgenauigkeit ist stark streckenabhängig**
In der Detailauswertung der Fahrten ist aufgefallen, dass die Ankunftszeitgenauigkeit stark von der Strecke abhängig ist: So weist beispielsweise die S14 in Richtung Hinwil-Zürich eine relativ hohe Fahrpräzision auf, in Gegenrichtung ist dies aber nicht mehr der Fall (siehe Anhang 8.2). vPRO wirkt sich auf beide Formen ähnlich aus: Die Vorzeitigkeit wird reduziert, die Fahrpräzision (leicht) erhöht. Die Grundform der Verteilung ist aber durch den Fahrplan vorgegeben. Interessant ist nun aus Sicht Fahrplan, dass es überhaupt die Möglichkeit gibt, die Ankünfte im Sekundenbereich zu steuern.

- **Starke Abhängigkeit zwischen Ankunftspräzision und Energiebedarf**
Schrittweise wurden die Berechnungen optimiert, so dass nun eine möglichst präzise und energieeffiziente Bahnproduktion möglich wird. Auf Basis der jetzt verwendeten Technologie und Anzeigemöglichkeiten würde eine weitere Verbesserung des Energiebedarfs mit grosser Wahrscheinlichkeit die Ankunftspräzision beeinträchtigen. Eine noch weitergehende Reduktion der Vorzeitigkeit ist allenfalls mit einer Pünktlichkeitsanzeige denkbar (siehe unten).
- **Darstellung der betrieblichen und kommerziellen Abfahrtszeiten**
Das Lokpersonal hat sich in den letzten Jahrzehnten an den Halteorten ausschliesslich an den kommerziellen Zeiten orientiert. Die betrieblichen Zeiten führen nun zu mehr Entspannung im Führerstand, allerdings gibt es Fälle, wo eine Abfahrt nach kommerziellen Zeiten gewünscht ist (Betrieb möchte die Gleise frei haben und stellt Signal nach Ablauf der kommerziellen Zeit auf grün). In diesem Fällen muss das Lokpersonal mit einem Klick kontrollieren, ob die kommerzielle Zeit bereits abgelaufen ist. Diese etwas umständliche Bedienung entfällt in Zukunft, gemeinsam mit thurbo wird eine Optimierung der Darstellung bis im ersten Quartal 2021 erarbeitet.

6. Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Im Hinblick auf den Betrieb der beiden neuen Funktion lassen sich folgende Empfehlungen abgeben:

- **Intensivierung von Aus- und Weiterbildung des Lokpersonals**

Trotz der umfassenden Aktivitäten im Bereich «Business Transformation» ist es immer noch ein weiter Weg zu vollständiger Anwendung von vPRO beim Lokpersonal: Die Einzelanalyse der Ankunftspräzision zeigt, dass die Züge teils immer noch mit einer Vorzeitigkeit von mehr als 90 Sekunden den Halteort erreichen. Folgerichtig ist deshalb am Weiterbildungstag 2021 die Anwendung von vPRO und der verwandten EVA-App in einer Session von fast 2h eingeplant. Weitere Schritte hin zu einer Anwendung in der Praxis sind zu evaluieren.

- **Evaluation einer Pünktlichkeitsanzeige**

Bereits im Herbst 2017 wurde die Idee einer Pünktlichkeitsanzeige intensiv diskutiert, mit der Ressourcenpriorisierung allerdings dann zurückgestellt. Die Testfahrten haben jedoch gezeigt, dass vor allem im Fernverkehr eine Pünktlichkeitsanzeige nützlich sein könnte (schnellere Rückmeldung der Ist-Lage im Vergleich zum Soll). Die bereits begonnenen grundlegenden Untersuchungen und Tests sollen deshalb weiterverfolgt werden, so dass auf fundierter Basis mit Kosten und Nutzen ein sinnvoller Entscheid getroffen werden kann. Ein positiver BusinessCase könnte resultieren, wenn es gelingt die Vorzeitigkeit noch weiter zu reduzieren (ergibt mehr Fahrzeit, was weniger Energie bedeutet).

- **Investition in Datenqualität der IT-Systeme**

Zur Verbesserung der Datenqualität müssten in nächster Zukunft entsprechende Investitionen bereitgestellt werden, dies umfasst allenfalls auch die Neukonzeption der technischen Datenbasis vom Lokführertablet (es hat sich gezeigt, dass die bestehende Applikation langsam gegen end-of-life geht.) Eine Weiterentwicklung in Richtung Datenqualität ist deshalb unabdingbar für eine Stabilisierung und Verbesserung der Situation. Parallel dazu ist auch konzeptionell zu überlegen, wie die heute getrennten Systeme von RADN und NeTS/RCS harmonisiert werden könnten.

- **Optimierung des Fahrplangefüges**

Es zeigte sich, dass sich die Qualität von Fahrplan (und der daraus folgenden Ankunftspräzision) je nach Region unterscheidet. Eine weitere Optimierung von Fahrvarianz und Energiebedarf wird mit grosser Wahrscheinlichkeit nur über eine Anpassung im Fahrplan möglich sein. Zudem haben die Testfahrten im Güterverkehr gezeigt, dass die heute verwendeten Planungsprämissen im Güterverkehr neu evaluiert werden und im Hinblick auf die effektive Bahnproduktion angepasst werden.

7. Abkürzungen

| | |
|------------------------|--|
| ADL | Adaptive Lenkung; Fahrempfehlungen für eine energieoptimierte Fahrweise werden auf das Tablet LEA des Lokpersonals gesendet («Grüne Welle»). Siehe auch S. 16. |
| ADL Konflikt | Meldung der optimalen Geschwindigkeit auf das Tablet des Lokpersonals zur Vermeidung von Konflikten resp. Halt des Zuges (Konfliktoptimierung). |
| ADL-Eco | Neben der Konfliktoptimierung hat bisher die Funktion «ADL eco» im Regelbetrieb zusätzlich punktuelle Geschwindigkeitsempfehlungen an das Lokpersonal geschickt, wenn ein Zug mehr als 1 Minute vorzeitig ist. |
| Beta-Trassen | Algorithmus für die Berechnung und Optimierung von Fahrzeiten unter Berücksichtigung von definierten Fahrzeitreserven. |
| BP | Betriebspunkt; die Betriebspunkte sind die Basiselemente des Streckennetzes und sind in der Regel die Stationen, Bahnhöfe, Spurwechselstellen und Abzweigungen. |
| Betriebliche Fixpunkte | Um eine tagesscharfe vPRO-Berechnung zu machen, muss man aus dem Fahrplan wissen, an welchen Betriebspunkten die Zeiten aus Sicht Angebot (Anschlüsse) oder Betrieb (Bahnproduktion) zwingend einzuhalten sind. Die Durchfahrtzeiten an diesen betrieblichen Fixpunkten werden dem Lokpersonal auf LEA angezeigt. |
| Domino | Triebzug, auch bekannt unter der Bezeichnung RABe 560 |
| EVA-App | Energieverbrauchs-App; mit dieser Applikation werden die Energieverbrauchsdaten jeder Zugfahrt dem Lokpersonal auf LEA übermittelt. |
| ESF | Energiesparende Fahrweise; mit der Anwendung der ESF trägt das Lokpersonal einen Teil bei zur Erreichung der Energiesparziele der SBB bei. |
| EVU | Eisenbahnverkehrsunternehmen |
| FV | Fernverkehr |
| GTW | Gelenktriebwagen, auch bekannt unter der Bezeichnung RABe 526 |
| ICN | Triebzug, auch bekannt unter der Bezeichnung RABe500 |
| IHPT | Informations-Hub Produktion Trasse, auch Info-Hub PT, ist die Datendrehscheibe des Bahnverkehrs für alle Angaben der Trassenproduktion (Fahrplan-, Zugfahrt- und Formationsdaten). Sie wird gemeinsam von den schweizerischen Bahn-Infrastrukturbetreiberinnen SBB Infrastruktur, BLS Netz und SOB Infrastruktur betrieben und den Eisenbahnverkehrsunternehmen zur Verfügung gestellt. |
| LEA | Lokführer Elektronischer Assistent; Tablet, das vom Lokpersonal im Führerstand als Arbeitsmittel genutzt wird. |
| NeTS | Netzweites Trassen System; durchgängiges System für die netzweite, gleisgenaue Trassenplanung auf den Strecken und in den Knoten. Mit NeTS werden sowohl der integrierte Jahresfahrplan als auch der Tagesfahrplan geplant. |
| RADN | Streckentabellen für Züge der Zugreihen R, A, D und N mit Angaben der Bahnhöfe, Haltestellen mit kilometrischen Lagen, Höchstgeschwindigkeiten etc. |
| RCS | Rain Control System; u.a. für die Berechnung von konfliktfreien Fahrlinien. RCS-Dispo ist das wichtigste Arbeitsinstrument der Disponenten Bahnverkehr und der Zugsverkehrsleitenden in den Betriebszentralen. Damit erhalten alle an den Produktionsprozessen beteiligten Stellen und Mitarbeitenden ein einheitliches Prozessabbild (Echtzeitdarstellung des Fahrplans), was eine ausserordentlich genaue und zeitnahe Prognose für den Fahrtverlauf jedes einzelnen Zuges ermöglicht. |

| | |
|------|---|
| RV | Regionalverkehr |
| vMAX | Maximale Geschwindigkeit gemäss RADN |
| vPRO | Optimierte Geschwindigkeitsprofile: Bei pünktlicher Abfahrt entsprechen die empfohlenen vPRO-Geschwindigkeiten (dargestellt auf LEA) der Durchschnittsgeschwindigkeit für eine pünktliche Ankunft. Der geplante Fahrweg, kurzfristige Langsamfahrstellen und fahrzeugspezifische Eigenschaften sind mit einberechnet. |
| ZLR | Zuglaufrechnung; sie erlaubt die Berechnung von Zuglaufzeiten, Mindestfahrzeiten, Zugfolgezeiten und Beta-Trassen. Fahrzeiten bilden die Grundlage für zeitliche Aspekte in der Planung und Produktionsdurchführung, unter anderem auch die Zugfolgeprognose. |

8. Literaturverzeichnis

- [1] RCS-ADL, Link www.sbb.ch
- [2] Studer T., Graffagnino T., Schäfer R.: Fahrempfehlungen im S-Bahn-Betrieb: Pünktlich und energiesparend am Ziel, ETR SWISS, 2017, Nr. 10/2017, S. 75-80.
- [3] Studer T., Schlussbericht Pilotversuch energiesparende Fahrweise: Versuchsfahrten mit drei Fahrassistentensystemen, BLS AG, Dez. 2017.
- [4] Marktüberblick Fahrassistentensysteme von MRK Management Consultants, angefertigt für das Projekt „Fahr umweltbewusst!“ von Allianz Pro Schiene, 2018
- [5] Bomhauer-Beins A.: Automation zwischen Unterwerk und Schiene: Abschätzung des vorhandenen Energiesparpotentials. Juni 2017, Zürich
- [6] Chatelain G., Evaluation der Akzeptanz von eco2.0 beim Lokpersonal und deren Auswirkungen auf den Energieverbrauch der Testfahrten, 4. Dezember 2018,
- [7] Tuchschen M., Weibel M., Graffagnino T., Betriebstest “optimiertes Fahrprofil”, Februar 2018
- [8] Johner O., Büchi R.: SBB ‘s integrated and collaborative approach for improving energy efficiency, Global Railway Review, June 2018
- [9] Gut S., Optimierung der LEA-Informationen, Dezember 2018, Locofolio
- [10] Internetseite «Digitale Bahn», www.sbb.ch
- [11] Intranetseite «Energieeffiziente Bahnproduktion», intranet.sbb.ch
- [12] Booklet für SBB Lokpersonal «Informationen über die Berechnungen und die Darstellung im LEA», erhältlich in deutsch, französisch und italienisch, Juni 2020
- [13] vPRO-Informationen über die Berechnung und die Darstellung im LEA, Juni 2020
- [14] Kurzfilm «Hintergrund der vPRO-Berechnung», [Link](#)
- [15] Baumberger D., Tuchschen M., Weibel M., Heiniger C., Betriebstest Aktualisierte Fahrlage, Juni 2020
- [16] Chatelain G. Betriebstest «Aktualisierung Fahrlage»: Akzeptanz der neuen Funktion beim Lokpersonal SBB Cargo und SBB Cargo International, 2020

9. Anhang

9.1. Energiebedarfsreduktion aufgrund vPRO im Regionalverkehr

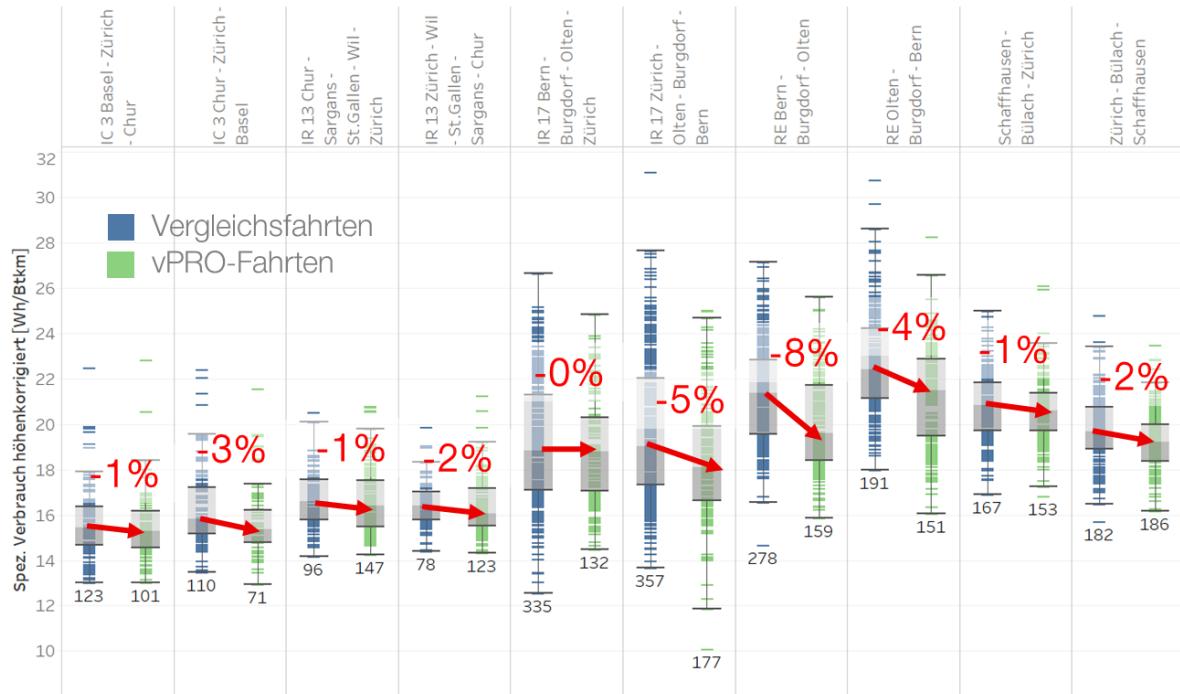
Tabelle 2: Reduktion des mittleren, spezifischen Energiebedarfes im Regionalverkehr, Teil 1/2. Zuglinien mit einer Zunahme des spezifischen Energiebedarfes sind kursiv markiert. Ausgewertet wurden insgesamt 28'428 Fahrten mit vPRO und 25'504 Vergleichsfahrten im Zeitraum vom 9.6.2020-6.7.2020.

| Zugfamilie | Vergleichsfahrten | vPRO-Fahrten | Δ Energie |
|---|-------------------|--------------|-----------|
| (Biel/Bienne -) Sonceboz - La Chaux-de-Fonds | 43 | 250 | -1.7% |
| (Biel/Bienne -) Sonceboz-S. - Moutier | 109 | 344 | -1.2% |
| (Neuchâtel -) La Chaux-de-Fonds - Le Locle | 114 | 274 | -4.7% |
| (Oberdorf SO - Langendorf) Solothurn - Oensingen - Olten | 118 | 149 | -0.4% |
| <i>(Verdon-) Gorgier-St-Aubin - Neuchâtel</i> | 116 | 238 | 1.6% |
| Biel/Bienne - Grenchen Süd - Solothurn | 42 | 154 | -3.7% |
| Biel/Bienne - Neuchâtel | 131 | 476 | -0.2% |
| Biel/Bienne - Solothurn - Olten | 114 | 396 | -1.4% |
| Biel/Bienne - Sonceboz-S. | 44 | 219 | -1.0% |
| Corcelles-Peseux - Neuchâtel | 127 | 655 | -3.2% |
| La Chaux-de-Fonds - Le Locle Col | 131 | 262 | -5.5% |
| La Chaux-de-Fonds - Sonceboz (- Biel/Bienne) | 64 | 240 | -3.2% |
| Le Locle - La Chaux-de-Fonds (- Neuchâtel) | 126 | 286 | -7.3% |
| Le Locle Col - La Chaux-de-Fonds | 124 | 291 | -5.4% |
| Moutier - Oberdorf SO - Solothurn | 126 | 227 | -6.9% |
| Moutier - Sonceboz-S. (- Biel/Bienne) | 133 | 322 | -1.1% |
| Neuchâtel - Biel/Bienne | 128 | 480 | -0.6% |
| Neuchâtel - Corcelles-Peseux | 121 | 615 | -2.1% |
| Neuchâtel - Gorgier-St-Aubin (- Yverdon) | 132 | 235 | -0.1% |
| ohne Belegung | 143 | 383 | -1.8% |
| Olten - Oensingen - Solothurn (- Oberdorf SO - Langendorf) | 101 | 153 | -2.9% |
| Olten - Solothurn - Biel/Bienne | 76 | 373 | -1.7% |
| S 1 (Brugg -) Frick - Stein-S. - Basel | 274 | 92 | -2.9% |
| S 1 Basel - Stein-S. - Frick (- Brugg) | 284 | 87 | -3.0% |
| S 1 Basel - Stein-S. - Laufenburg | 313 | 77 | -6.8% |
| S 1 Laufenburg - Stein-S. - Basel | 296 | 77 | -2.8% |
| S 11 Aarau - Dietikon - Zürich HB (ZMUS) - Winterthur - Wila/Seuzach | 961 | 741 | -5.4% |
| S 11 Wila/Seuzach - Winterthur - Zürich HB (ZMUS) - Dietikon - Aarau | 501 | 583 | -4.0% |
| S 12 Brugg - Zürich HB (ZMUS) - Winterthur - Schaffhausen/Wil SG | 682 | 536 | -3.4% |
| S 12 Chur - Sargans | 137 | 740 | -0.5% |
| S 12 Sargans - Chur | 130 | 747 | -4.2% |
| S 12 Schaffhausen/Wil SG - Winterthur - Zürich HB (ZMUS) - Brugg | 757 | 648 | -1.4% |
| S 14 Affoltern am Albis - Zürich HB (ZLOE) - Z Oerlikon - Uster - Hinwil | 211 | 100 | -4.8% |
| S 14 Hinwil - Uster - Z Oerlikon - Zürich HB (ZLOE) - Affoltern am Albis | 200 | 109 | -3.5% |
| S 15 Niederweningen - Zürich HB (ZMUS) - Uster - Rapperswil | 728 | 457 | -3.6% |
| S 15 Rapperswil - Uster - Zürich HB (ZMUS) - Niederweningen | 751 | 480 | -4.1% |
| S 16 Herrliberg-Feldmeilen - Zürich HB (ZMUS) - Z Flughafen | 867 | 383 | -4.1% |
| S 16 Z Flughafen - Zürich HB (ZMUS) - Herrliberg-Feldmeilen | 800 | 386 | -5.3% |
| S 19 (Pfäffikon ZH -) Effetikon - Zürich HB (ZLOE) - Dietikon (- Koblenz) | 38 | 47 | -4.8% |
| S 19 (Koblenz-) Dietikon - Zürich HB (ZLOE) - Effetikon (- Pfäffikon ZH) | 33 | 29 | -5.2% |

Tabelle 3: Reduktion des mittleren, spezifischen Energiebedarfes im Regionalverkehr, Teil 2/2. Zuglinien mit einer Zunahme des spezifischen Energiebedarfes sind kursiv markiert.

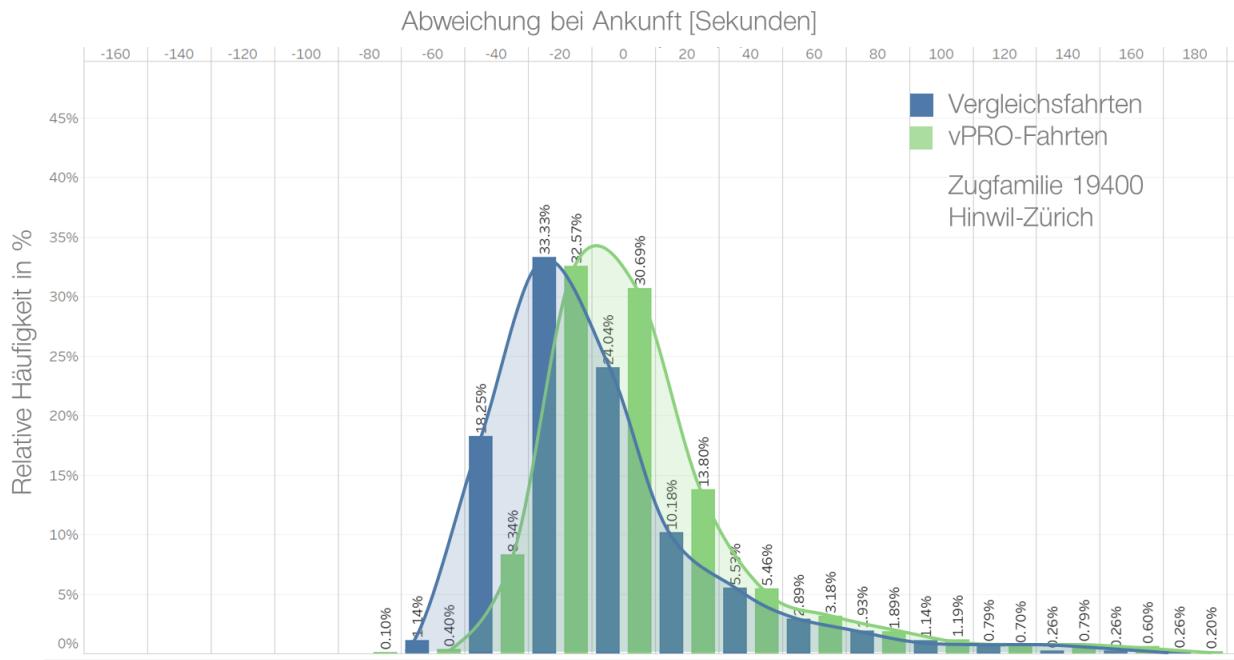
| Zugfamilie | Vergleichsfahrten | vPRO-Fahrten | Δ Energie |
|---|-------------------|--------------|-----------|
| S 2 Ziegelbrücke - Pfäffikon SZ - Zürich HB (ZLOE) - Zürich Flughafen | 769 | 432 | 1.4% |
| S 2 Zürich Flughafen - Zürich HB (ZLOE) - Pfäffikon SZ - Ziegelbrücke | 848 | 482 | -2.3% |
| S 23 Baden - Lenzburg - Olten - Langenthal | 370 | 738 | -3.8% |
| S 23 Langenthal - Olten - Lenzburg - Baden | 354 | 698 | -3.2% |
| S 24 (Thayngen-) Schaffhausen/Weinfelden - Winterthur - Z Wipkingen - Zürich HB - Z Enge - Thalwil - Zug | 450 | 190 | -3.0% |
| S 24 Zug - Thalwil - Z Enge - Zürich HB - Z Wipkingen - Winterthur - Schaffhausen/Weinfelden (- Thayngen) | 506 | 166 | 2.4% |
| S 25 Brugg - Muri | 96 | 182 | -5.7% |
| S 25 Linthal - Ziegelbrücke - Zürich HB | 61 | 88 | -1.1% |
| S 25 Muri - Brugg | 99 | 180 | -7.3% |
| S 25 Zürich HB - Ziegelbrücke - Linthal | 117 | 116 | 0.6% |
| S 26 (Olten-) Lenzburg - Muri - Rotkreuz | 390 | 477 | -1.8% |
| S 26 Rotkreuz - Muri - Lenzburg (- Olten) | 387 | 467 | -2.2% |
| S 27 Baden - Turgi - Koblenz - Zurzach | 509 | 382 | -2.7% |
| S 27 Zurzach - Koblenz - Turgi - Baden | 140 | 352 | -4.0% |
| S 28 Lenzburg - Zofingen | 80 | 800 | -3.8% |
| S 28 Zofingen - Lenzburg | 82 | 798 | -5.8% |
| S 29 Sursee - Olten - Aarau - Brugg - Turgi | 628 | 713 | -2.4% |
| S 29 Turgi - Brugg - Aarau - Olten - Sursee | 605 | 690 | -3.4% |
| S 3 (Bülach-) Hardbrücke - Zürich HB (ZMUS) - Effretikon - Wetzikon | 267 | 136 | -4.7% |
| S 3 Olten - Basel - Delémont - Porrentruy | 839 | 632 | -1.4% |
| S 3 Porrentruy - Delémont - Basel - Olten | 957 | 525 | 0.5% |
| S 3 Wetzikon - Effretikon - Zürich HB (ZMUS) - Hardbrücke (- Bülach) | 260 | 209 | 3.1% |
| S 33 Schaffhausen - Winterthur | 89 | 173 | -6.1% |
| S 33 Winterthur - Schaffhausen | 118 | 169 | -5.6% |
| S 5 Pfäffikon SZ - Rapperswil - Uster - Zürich HB (ZMUS) - Affoltern a/A - Zug | 631 | 189 | -3.1% |
| S 5 Zug - Affoltern a/A - Zürich HB (ZMUS) - Uster - Rapperswil - Pfäffikon SZ | 510 | 151 | -2.9% |
| S 6 (Linthal-) Schwanden - Ziegelbrücke - Rapperswil | 153 | 180 | -8.0% |
| S 6 Baden Regensdorf - Zürich HB (ZMUS) - Uetikon | 746 | 457 | -3.9% |
| S 6 Rapperswil - Ziegelbrücke - Schwanden (-Linthal) | 150 | 176 | -4.1% |
| S 6 Uetikon - Zürich HB (ZMUS) - Baden Regensdorf | 807 | 502 | -3.2% |
| S 7 Rapperswil - Meilen - Zürich HB (ZMUS) - Kloten - Winterthur | 488 | 374 | -3.3% |
| S 7 Winterthur - Kloten - Zürich HB (ZMUS) - Meilen - Rapperswil | 479 | 421 | -3.7% |
| S 8 Pfäffikon SZ - Zürich HB (ZLOE) - Wallisellen - Winterthur | 600 | 474 | -3.8% |
| S 8 Winterthur - Wallisellen - Zürich HB (ZLOE) - Pfäffikon SZ | 613 | 487 | -3.0% |
| S 9 Kerzers - Murten - Payerne - Lausanne | 118 | 47 | -5.1% |
| S 9 Olten - Läufelfingen - Sissach | 61 | 460 | -0.8% |
| S 9 Schaffhausen-/Rafz - Zürich HB (ZMUS) - Z Stadelhofen - Uster | 267 | 118 | -4.6% |
| S 9 Sissach - Läufelfingen - Olten | 37 | 459 | -0.8% |
| S 9 Uster - Z Stadelhofen - Zürich HB (ZMUS) - Schaffhausen-/Rafz | 296 | 156 | -2.5% |
| Solothurn - Grenchen Süd - Biel/Bienne | 57 | 166 | -7.3% |
| Solothurn - Oberdorf SO - Moutier | 77 | 261 | -3.2% |
| Sonceboz-S. - Biel/Bienne | 67 | 214 | -0.3% |

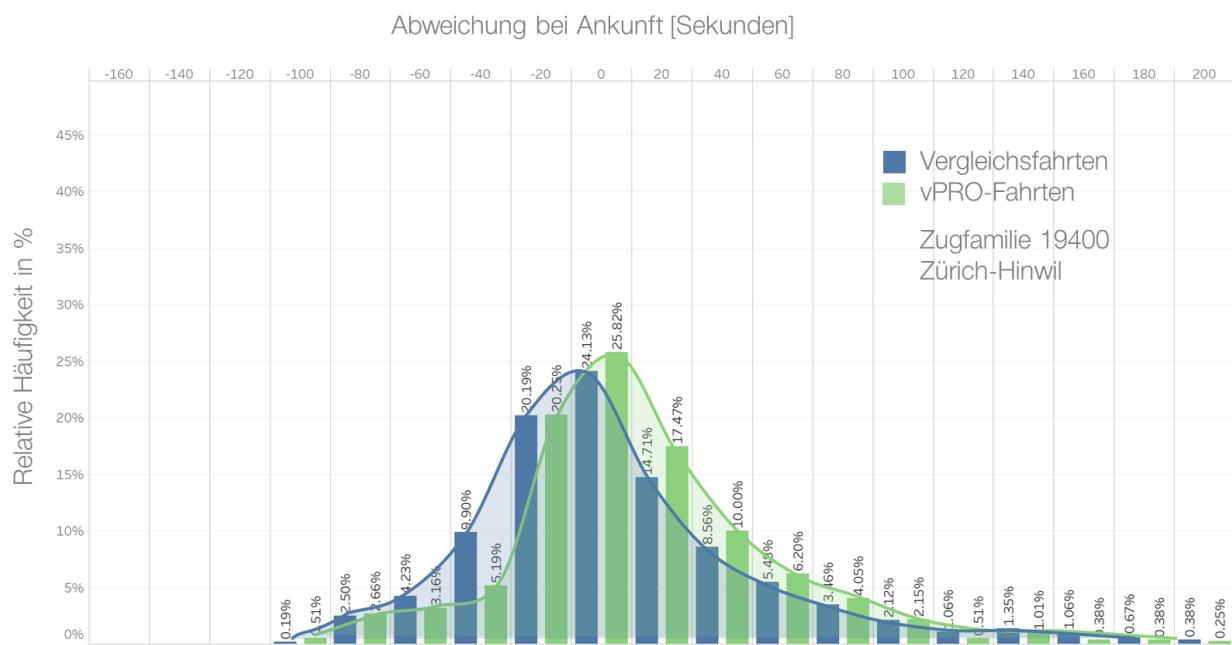
9.2. Energiebedarfsreduktion aufgrund vPRO im Fernverkehr (Teil 2)



9.3. Vergleich der Ankunftspräzision der S14

Abbildung 35: Vergleich der Ankunftspräzision der Zugfamilien 19400 und 19401: Man beachte die generelle Wirkung von vPRO in Richtung Abbau der Vorzeitigkeit und leichte Erhöhung der Präzision – die Grundform bleibt allerdings vorhanden.





9.4. Beitrag für 8th ICROMA-Conference in Norrköping: «Energy Savings with Enhanced Static Timetable Information for Train Drivers»

Der folgende Artikel wurde an der ICROMA-Konferenz («8th International Conference on Railway Operations Modelling and Analysis»), Norrköping, Schweden eingereicht und hat den Preis für das «best professional paper» erhalten. Der Artikel wurde im entsprechenden Fachjournal veröffentlicht.

Energy Savings with Enhanced Static Timetable Information for Train Drivers

Thomas Graffagnino ^a, Roland Schäfer ^b, Matthias Tuchschnid ^b,
Marco Weibel ^b

^a Timetable and Network Design, Infrastructure, Swiss Federal Railways
Hilfikerstrasse 3, 3000 Bern 65, Switzerland

^b Energy, Infrastructure, Swiss Federal Railways
Industriestrasse 1, 3052 Zollikofen, Switzerland

Abstract

On the network of the Swiss Federal Railways (SBB) there is huge variability in the energy consumption for comparable train runs. Consequently, there is a significant potential to achieve energy savings in the context of improved driving strategy, which can be influenced by providing useful information to the train driver. As part of the smartrail programme operated by the Swiss railway industry, several energy savings measures are due to be implemented. As a first step in the smartrail energy measures, SBB conducted a pilot test in summer 2018. This pilot involved 473 test runs on two important passenger trains in Switzerland: the long-distance train IC5 and the local train S12. For each train run, based on effective routing, train composition, speed restrictions and timetable fixed points, a speed profile and new service times for each station were calculated early each morning for all the train runs of the day.

A survey among the test train drivers showed that more than 80% of them would welcome the rollout of the additional information in the near future. A comparison of the accompanied journeys against the ‘baseline’, i.e. same trains in the same period without additional information, shows a significant reduction in energy consumption without affecting punctuality: depending on the train journey, the accompanied runs consumed between 1.4% and 13.3% less energy per gross tonne-kilometre.

The high levels of acceptance by the train drivers combined with the significant energy savings achieved without affecting punctuality is very promising. For this reason, a system-wide rollout is currently being investigated and could be started by late 2019.

Keywords

Energy consumption, Timetable, Train control, Traffic-Management System, Train Driver

1 Introduction

Swiss Federal Railways (SBB) operates one of the most dense-running mixed traffic networks in the world. There is huge variability in the energy consumption of similar train runs. On train runs with a comparable duration on the same line, energy consumption can vary by approximately 50% (see Figure 1). Part of this variability can be linked to driving strategy. This illustrates that there is significant potential to generate energy savings through improved driving strategy, which involves providing useful information to the train driver.

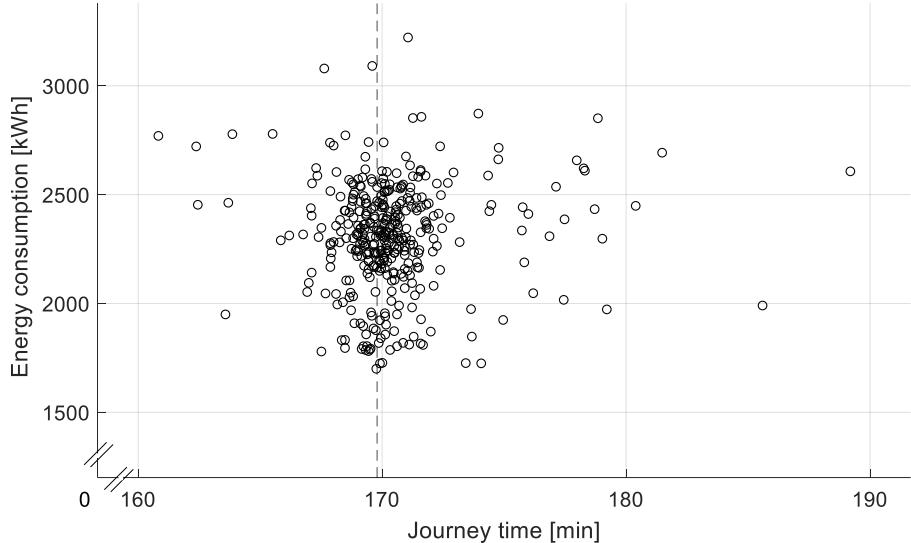


Figure 1: Energy consumption vs journey time on the line Zurich-Geneva Airport from December 2015 to August 2016. The dashed line indicates the nominal journey time.

Driving strategy is usually improved using driving advisory systems (DAS). During a preliminary pilot project by BLS (BLS (2019)) in spring 2017 (Studer et al (2017)), two different DAS with coasting capabilities were compared to an initial version of a static speed profile solution provided by SBB. For this pilot project, SBB provided the static speed profile solution and was responsible for comparing the energy consumptions of the three systems. Surprisingly, even though – from a theoretical point of view – the solutions with coasting capabilities should need less energy for a given running time, the static solution showed comparable energy savings in practice.

In 2017, SBB, together with other railway companies in Switzerland, started a digitalisation programme named smartrail (smartrail (2019)). As part of this programme, a range of different measures will be implemented with the aim of achieving energy savings and improving energy consumption. As a preliminary step for smartrail, SBB decided, based on the findings of the study with BLS, to enhance the traffic management system RCS with static speed profiles. This paper explains how the static speed profiles are calculated and presents the results of the first operative tests. Thanks to the relative simplicity of the static profile, a rollout on the SBB network could be realised within a short amount of time.

2 Methodology and Calculation of Speed Profiles

SBB conducted a pilot test in summer 2018, from the 20th of August to 22nd of September. Overall, 473 test runs were performed on two important passenger trains in Switzerland: the long-distance train IC5 on the line Zurich–Olten–Biel–Geneva and the local train S12 on the line Brugg–Zurich–Winterthur. For the tests, the regular train drivers were

accompanied by a representative from the project, who presented and explained the new timetable information.

2.1 Fixed Points and the Algorithm for the Speed Profile

Typical timetable planning in Switzerland begins with a calculation of the minimal running time between stations. Based on these minimal running times, linear time margins are added to the running times of passenger trains (typically 7%). Then, based on knowledge of actual traffic situations and expected delays, the time margins are changed to ensure higher levels of punctuality and traffic stability. After these steps, there is no related speed profile that considers the arrival, departure and passing time for all stations. The time margins are dimensioned in the form of percentages or absolute values without linking back to any speed profile for train driver.

In 2006, based on the real-life experiences of train drivers, SBB developed an algorithm that can reconstruct a feasible speed profile for a given train timetable. The key element in this calculation lies in identifying the stations where the times must absolutely be respected and the stations where a slightly adapted time has no significant negative effect. The stations where times must be respected are called fixed points. For the SBB pilot, we conducted interviews with planners and train dispatchers to identify the fixed points. Fixed points are typically stations with train conflicts, train connections and journey start or end points.

Knowing the target running time between the fixed points, an algorithm reduces the maximum speed in increments until the target running time is achieved. This algorithm considers only acceleration, braking and running at a constant speed, without factoring in coasting capabilities. It is important to mention that the braking phase of the static speed profiles is calculated with the use of regenerative braking, as SBB trains run on 15 kV AC. Working between each pair of fixed points, the algorithm can compute the new static speed profile for each train run, ensuring that the planned times are complied with the fixed points. At this stage, we also allow for slight time deviations from the annually planned times in day-to-day operations at stations which were not identified as fixed points. The small deviations from annually planned times is not a problem, because SBB doesn't communicate planned times to passengers. We communicate commercial times to passengers which are set so early that, the trains cannot depart earlier than them. The algorithm is configured so that the results are very easy to achieve for a train driver thanks to restricting speed changes to well-known positions on the track. Therefore, an additional train positioning system is not needed.

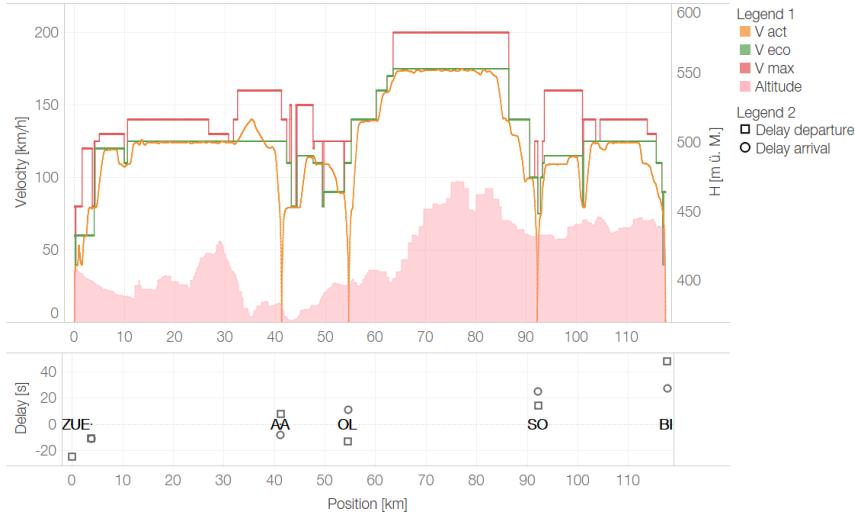


Figure 2: Example of energy-saving train run of IC5 between Zurich and Biel; the green line shows the daily computed static speed profile and the yellow line shows the actual speed profile for a train run.

As can be seen in Figure 2, the green line of eco speed did not factor the option of coasting into our daily computations of speed profiles. This is because we chose a static solution without train positioning and live delay calculation; without positioning, it is quite difficult to precisely determine when to coast for a punctual arrival. Furthermore, the train drivers are still allowed to coast with this static system and should consider the new eco speed profile information as the mean speed to achieve the target times.

2.2 Daily Calculation of Speed Profile

The daily calculations were conducted early each morning for about 100 test train runs using a special extended version of the system RCS. For each train run, a speed profile and the corresponding service times were calculated, based on effective routing, train composition, daily speed restrictions and timetable fixed points.

As shown in Figure 3, instead of annual timetable information without speed profiles, the daily computation provided the new information to be used for the tests. Within the RCS system, the exact routing, all speed restrictions due to maintenance on the network and all daily rolling stock information are provided for all trains. Enhanced with fixed point information, this daily computation delivers feasible and easily comprehensible timetable information for the train drivers:

- For each train run, there are timetable fixed points which must be respected to ensure that the operation remains conflict-free.
- Based on these identified fixed points, an algorithm creates a static speed profile which respects the fixed timing points and temporary as well as static speed restrictions.

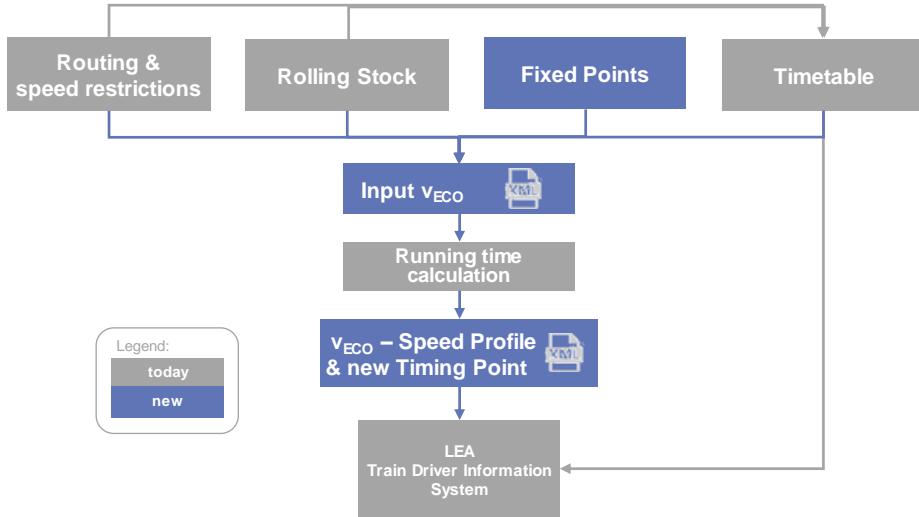


Figure 3: System overview for daily calculation of speed profiles.

2.3 Presentation to the Driver and Advice for the Test

The improved and extended timetable was provided to the train drivers using an adapted version of their usual train driver information system LEA (LEA (2013)). The new information for each test train run was:

- Planned timing point shown to an accuracy of 10 seconds instead of the usual 1 minute (Point 1 on Figure 4)
 - For each station/stop daily calculated service times were shown instead of the annual commercial times (Point 1 on Figure 4)
 - Important stations for conflict-free operation were marked down (Point 2 on Figure 4)
 - The static speed profile for punctual operation was recalculated every day (Point 3 on Figure 4)

The train driver was asked to follow the suggested speed whenever the departure was on time. In the event of a delay, the train drivers were free to choose their own strategy to get the train back on time, as it is the case today on any train run. The conflict detection system of the traffic management system RCS (Rail Control System) (RCS (2019)) was active during the tests. This system is known as ADL (Adaptive Steering) (RCS ADL (2019)) and in the event of any conflict, the train driver was obliged to follow the advice given by the system as usual.

| | Turgi | R150 | ECO | An | Ab | |
|-----------------------------|------------------|------|-----|---------|---------|---|
| Baden | 70 90 | 110 | 90 | 12:15.2 | 12:16.3 | 1 |
| Block | S717/617 | | | | | |
| Wettingen | | 125 | 85 | 12:18.2 | 12:19.1 | |
| → ZUE via Regensdorf | | | | | | 3 |
| → Effretikon via ZSeb | | | | | | |
| Block | S714/614 | | | | | |
| Neuenhof | | 140 | 85 | 12:20.4 | 12:21.4 | |
| Block | S713/613 | | | | | |
| km 17.500 | | | | | | |
| Killwangen-S. | | 140 | 85 | 12:23.5 | 12:24.5 | 2 |
| → Dietikon via RBL | | | | | | |
| via Stammlinie | | | | | | |
| Silbern ▲ S610/510/S410/710 | | | | | | |
| Block | S709/609/509/439 | | | | | |
| Dietikon | 140 110 | 130 | 90 | 12:28.4 | 12:30.1 | |

Figure 4: Example of enhanced train driver information.

3 Results

3.1 User Experience

The regular train drivers completed a questionnaire on the acceptance of the newly displayed information, focusing primarily on the optimised driving profile. In total, 242 train drivers responded to the questions, which represents 92% of the accompanied drivers from the test.

- 93% of train drivers state that they can implement the optimised driving profile well to very well.
- On average, 80% of the train drivers would welcome a rollout of the new timetable information in the near future.

There are some differences in the responses depending on the experience of the train driver and the type of rail traffic: Experienced train drivers tended to state that they already knew the static speed profile based on personal experience. Less experienced train drivers welcomed it more readily, viewing it as a shortcut to build up their own experience. In regional traffic, acceptance was generally higher than in long-distance traffic. We assume that the demands placed on regional drivers are greater and the workload of these drivers is higher, so any assistance is more appreciated.

3.2 Energy Consumption

Most of the trains were equipped with energy measurement devices with a temporal resolution of one second, which allowed us to perform a precise analysis on the train runs. The total amount of consumed energy for an individual train run was determined by

summing up the energy consumption from the start to the end time of the train run, as provided by the traffic management system RCS.

In the following section, energy consumption with or without application of the static profile is compared for the different tracks and directions. ‘Eco’ refers to cases where the static profile was provided, whereas ‘baseline’ refers to normal cases without any additional input provided to the train drivers. Statistical significance tests were performed for all the comparisons carried out.

To obtain comparable values, the energy consumption of every single train run was converted to a specific energy consumption value in Wh/Gtkm, with additional correction applied to cover the difference in altitude between the start and end stations, i.e. subtraction of the corresponding gravitational potential energy (referred to below as potential energy).

Local train between Brugg and Winterthur (S12)

A total of 276 runs were conducted during the test period. 159 of these runs were ‘baseline’ runs and 117 were ‘eco’ runs. Table 1 provides an overview of the test setup.

Table 1: Overview of test setup for S12

| RABe 511 (Regio-Dosto) | Distance | Average weight | Δ Potential energy | Journey time |
|---------------------------|----------|-------------------|---------------------------------|-----------------|
| Brugg → Winterthur | 56.6 km | 306.8 t | 72.5 kWh | 55m 36s |
| Winterthur → Brugg | 56.6 km | 306.8 t | -72.5 kWh | 54m 42s |

Table 2 shows the specific, altitude-compensated energy consumptions of single train runs for the S12 in both directions. The reduction in energy consumption in the direction Brugg–Winterthur is more pronounced than in the other direction. We suppose that this is the case because the timetable for the direction Brugg–Winterthur allows for more scope for optimisation.

Statistical Significance of the Differences

The statistical significance of the differences between the ‘baseline’ and ‘eco’ runs was estimated using the null hypothesis that there is no difference between ‘baseline’ and ‘eco’. Table 2 provides an overview of the results. Numbers in Wh/Gtkm denote median specific, altitude-corrected energy consumptions. Percentages denote relative differences between the ‘baseline’ and ‘eco’. Bold-type percentages indicate significant results based on Wilcoxon rank-sum tests with significance level of 5% and p-values $p < 0.01$. Statistically significant differences were obtained for both directions.

Table 2: Overview table of results for S12 energy consumption

| | |
|-------------------------|---------------|
| Brugg–Winterthur | -13.3% |
| ‘baseline’ | 26.3 Wh/Gtkm |
| ‘eco’ | 22.8 Wh/Gtkm |

| | |
|-------------------------|---------------------|
| Winterthur–Brugg | -7.6% |
| ‘baseline’ | 26.4 Wh/Gtkm |
| ‘eco’ | <u>24.4 Wh/Gtkm</u> |

Long-Distance Train between Zurich and Geneva (IC5)

For the evaluation of the long-distance IC5 trains, the analysis was sub-divided into segments.

- For both directions, the track was split in Biel, where there is often a change of train driver or train composition (single-unit to double-unit or vice versa)
- We differentiated between single-unit and double-unit trains due to the increased efficiency of double-unit trains observed on tracks with high maximal allowed speed (as compared to local trains with lower maximal allowed speed).

A total of 1406 runs were completed in the test. 1079 of these runs were ‘baseline’ runs and 327 were ‘eco’ runs. Table 3 provides an overview of the test setup for the four segments.

Table 3: Overview of test setup for IC5, direction Zurich–Geneva, with two segments.

| RABDe 500 (ICN) | Distance | Average weight | Δ Potential energy | Journey time |
|----------------------------|-----------------|-----------------------|---------------------------|---------------------|
| Zurich→Biel | 117 km | 365.6 t | 29.27 kWh | 62min 18s |
| Biel→Geneva | 152 km | 365.6 t | - 44.9 kWh | 81min 18s |
| Geneva→Biel | 152 km | 365.6 t | 44.9 kWh | 80min 42s |
| Biel→Zurich | 113.2 km | 365.6 t | -22.27 kWh | 62min 48s |

Statistical Significance of the Differences

The statistical significance of the differences between the ‘baseline’ and ‘eco’ runs was once more estimated using the null hypothesis that there is no difference between ‘baseline’ and ‘eco’. Table 4 provides an overview of the results. Numbers in Wh/Gtkm denote median specific, altitude-corrected energy consumptions. Percentages denote relative differences between the ‘baseline’ and ‘eco’. Bold-type percentages indicate significant results based on Wilcoxon rank-sum tests with significance level of 5% and p-values $p < 0.025$. Significant differences were obtained for five out of eight sets.

Table 4: Overview and comparison of median specific, altitude-corrected energy consumptions. Percentages denote relative differences between ‘baseline’ and ‘eco’.

| | Single-unit train | Double-unit train |
|----------------------|--------------------------|--------------------------|
| Zurich - Biel | -3.0% | -1.4% |
| ‘baseline’ | 134 runs: 23.0 Wh/Gtkm | 133 runs: 21.9 Wh/Gtkm |
| ‘eco’ | 55 runs: 22.3 Wh/ Gtkm | 29 runs: 21.6 Wh/ Gtkm |

| Biel - Genf | | -2.0% | -2.6% |
|----------------------|------------------------|--------------|------------------------|
| 'baseline' | 175 runs: 19.7 Wh/Gtkm | | |
| 'eco' | 60 runs: 19.3 Wh/Gtkm | | |
| Genf - Biel | | -2.0% | -4.2% |
| 'baseline' | 171 runs: 19.9 Wh/Gtkm | | 99 runs: 19.1 Wh/Gtkm |
| 'eco' | 41 runs: 19.5 Wh/Gtkm | | 41 runs: 18.3 Wh/Gtkm |
| Biel - Zurich | | -3.4% | -7.4% |
| 'baseline' | 174 runs: 23.3 Wh/Gtkm | | 101 runs: 21.5 Wh/Gtkm |
| 'eco' | 63 runs: 22.5 Wh/Gtkm | | 16 runs: 19.9 Wh/Gtkm |

Note that the specific energy consumption is much higher for the segment Zurich-Biel (and vice versa) as compared to the specific energy consumption between Biel and Geneva (and vice versa). This is probably due to the high-speed segment (max. speed 200 km/h) between Solothurn and Olten.

3.3 Punctuality

While the tested system had no negative impact on punctuality, a more detailed look at the data produces a picture that is somewhat clearer.

In Switzerland, punctuality is measured based on a threshold of three minutes (in percent) on arrival at 53 major stations. As seen in Figure 5, the system compared to the baseline had no negative impact on this threshold of 180 seconds. Where it becomes more complicated is when we analyse the delay upon arrival between 0 and 60 seconds. The aim of the static speed profile is to use the running time margin in order to reduce energy consumption. In doing so, we expect to reduce the number of trains arriving at the stations early; this is clearly observable in the results. The discussion then turns towards what is acceptable within the timeframe of 0 to 60 seconds and if some trains should arrive slightly in advance by between -30 and 0 seconds. At the time of writing, discussions on this trade-off between punctuality and energy savings are still ongoing.

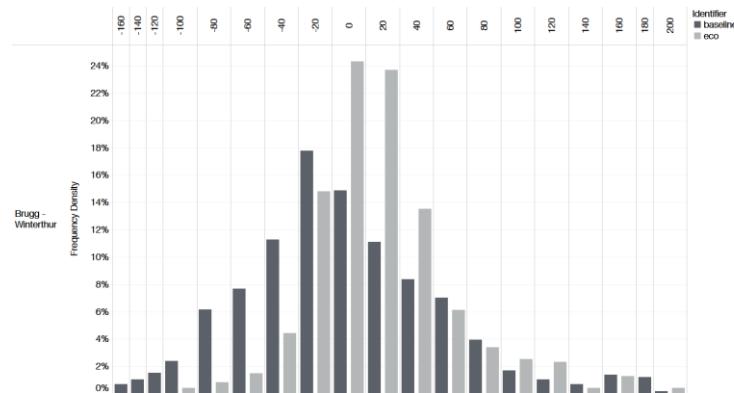


Figure 5: Histogram of delay upon arrival at fixed points for S12

Furthermore, for some test runs we measured an increase in arrivals with more than 60 seconds delay. These delays beyond 60 seconds are clearly not acceptable and we are

analysing the reasons. An initial analysis of the causes of these delayed arrivals identified the following factors: driver difficulties in knowing the exact delay of the train at any time, which impacts on the ability to review the run strategy with respect to delay; some quality problems in running time calculations and a lack of margin to counterbalance train driver reaction times.

In summary, the comparison of the accompanied runs with the ‘baseline’ (same trains in the same period) shows a significant reduction in energy consumption achieved without affecting punctuality at 3 minutes: depending on the train run, the accompanied runs consumed between 1.4% and 13.3% less energy per gross tonne-kilometre. In general, the reduction on local trains is higher than on long-distance trains.

4 Discussion and Next Steps

Most of the train drivers were astonished to discover how well suited the speeds of the static speed profiles are and stated that the figures were confirmed in practice. Furthermore, following the eco speed profile is practicable and the modifications as shown in figure 4 are understood within a few minutes. These high levels of acceptance by train drivers combined with the significant reduction in energy consumption without affecting punctuality based on the three-minute criterion is promising. For this reason, a system-wide rollout scheduled for late 2019 is currently ongoing. The central topics for implementation in late 2019 are the automatic generation of fixed points, the trade-off solution for energy consumption vs. punctuality and the training of all train drivers in how to use the new system.

The implementation of this system represents a first step for the future development of the RCS ADL system towards ATO. It is also a component of the larger project smartrail (smartrail (2019)), which aims to reduce global system costs while increasing safety and capacity. The next step for reducing energy consumption on train runs will be the introduction of coasting speed profiles with future ATO systems. Furthermore, the smartrail project is also developing a new timetable planning system, which needs to factor energy-saving considerations into calculations for running times between fixed points, based on the work of Prof. T. Koseki (Koseki (2015)), to ensure the lowest possible energy consumption.

The authors would like to thank all members of the team and all other SBB collaborators involved in this multidisciplinary project. Further thanks go to the Federal Office of transport for its financial support.

References

- Studer T., Schäfer R., Graffagnino T., 2017, “Fahrempfehlungen im S-Bahn-Betrieb: Pünktlich und energiesparend am Ziel”, Eisenbahntechnische Rundschau, Issue 010/2017
- BLS, 2019, website <https://www.bls.ch> (check on 30.01.2019)
- RCS, 2019, website <https://www.sbbrcs.ch/en/> (check on 30.01.2019)
- RCS ADL, 2019, website <https://www.sbbrcs.ch/en/family/rccs-adl/> (check on 30.01.2019)
- LEA, 2013, example on website <https://stories.sbb.ch/mit-lea-im-fuhrerstand/2013/10/15/> (check on 30.01.2019)
- Smartrail, 2019, website <https://smartrail40.ch/> (check on 30.01.2019)

Koseki T., Watanabe S., 2015, "Energy-saving train scheduling diagram for automatically operated electric railway.", Journal of Rail Transport Planning & Management., 2015 Vol.5, No.3, p.183.