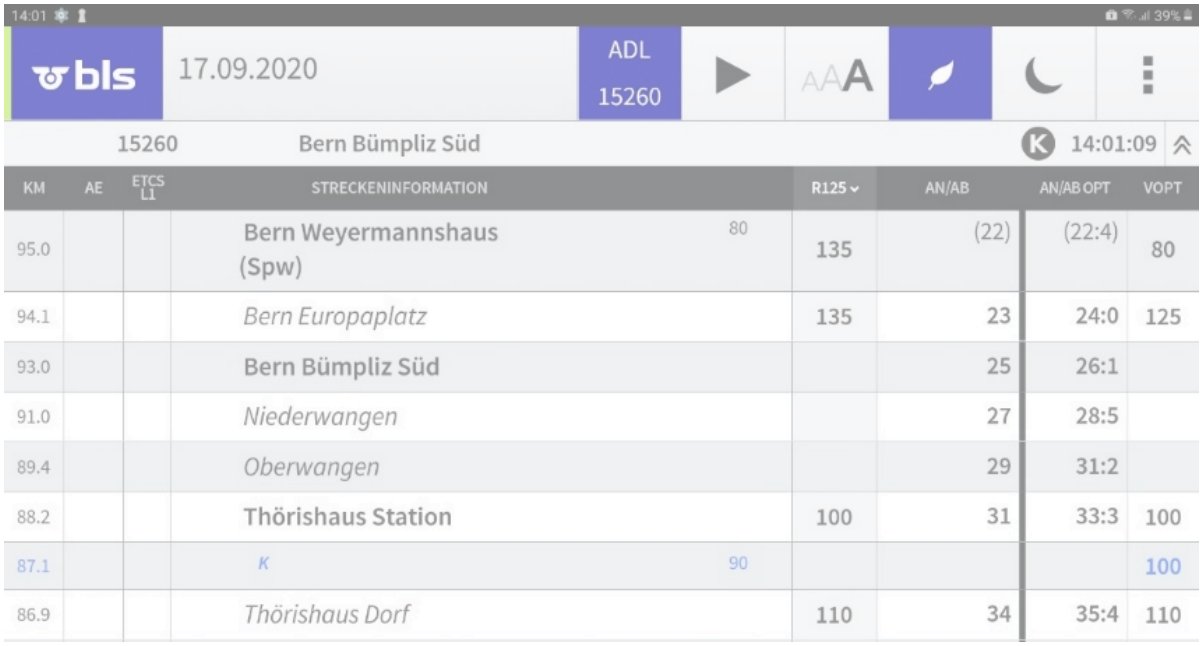
Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Verkehr BAV
Programm Umsetzung der Energiestrategie 2050
im öffentlichen Verkehr (ESöV 2050)

Projekt 148: Implementierung und Betriebstest von Fahrempfehlungen für energiesparendes Fahren

Schlussbericht



Autorin/Autor: **Thomas Studer**

(Stv. Andreas Marti)

Firma/Institution: **BLS AG**

Adresse, Mail, Homepage: Genfergasse 11

3001 Bern

www.bls.ch

thomas.studer@bls.ch / andreas.marti@bls.ch

Begleitgruppe

In diesem Projekt gab es ein BLS-internes Projektteam mit Austausch zum eco2.0-Projektteam der SBB (Projekt [132] «Entwicklung und Betriebstest Fahrempfehlungssystem»), jedoch keine externe Begleitgruppe.

Projektausschuss:
Ulrich Kohler, BLS AG, Bahnproduktion
Adrian Mosimann, BLS Netz AG, Betrieb
Jan Peyer, BLS AG, Informatik

Projektteam:
Thomas Studer, BLS AG, Bahnproduktion (Projektleiter)
Marc Luginbühl, BLS AG, Informatik (IT-Projektleiter)
Andreas Marti, BLS AG, Bahnproduktion (Fachverantwortlicher)
Thomas Gfeller, BLS AG, Bahnproduktion (LOPAS product owner)
Christopher Bammert, BLS AG, Informatik
Tobias Scholl, BLS AG, Informatik

Impressum

Herausgeberin:
Bundesamt für Verkehr BAV
Programm Umsetzung der Energiestrategie 2050 im öffentlichen Verkehr (ESöV 2050)
CH-3003 Bern

Programmleiter
Tristan Chevroulet, BAV

Projektnummer: 148
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 25. November 2020

Inhalt

Executive Summary 2
Executive Summary (français) 2
Executive Summary (english) 2
Zusammenfassung 4
Résumé en français 7
1. Ausgangslage 10
2. Ziel der Arbeit 10
3. Forschungsansatz und aktueller Wissensstand 11
3.1. Forschungsansatz 11
3.2. Aktueller Wissensstand 11
4. Ergebnisse 12
4.1. Statische Fahrprofilinformationen 12
4.1.1. Vorgehen 12
4.1.2. Lieferobjekte 14
4.1.2.1. Angepasste Fahranzeige 14
4.1.2.2. Schulungsmodul 15
4.1.3. Evaluationen 15
4.1.3.1. Evaluation der Pünktlichkeit 15
4.1.3.2. Evaluation des Energieverbrauchs: Vergleich zwischen baseline- und eco-Fahrten 16
4.1.3.3. Evaluation des Energieverbrauchs: Vergleich mit Vorjahres-Werten 17
4.1.3.4. Gesamtbeurteilung und Würdigung der Evaluationsergebnisse 18
4.1.3.5. Wirkungsevaluationen ab 2021 19
4.2. Plusfunktionalitäten 19
4.2.1. Verspätungsanzeige 20
4.2.2. Ausroll-Fahrprofile für RBDe 565 / 566 II 20
5. Diskussion 21
6. Schlussfolgerungen und Empfehlungen 21
Symbol- und Abkürzungsverzeichnis 23
Abbildungsverzeichnis 23
Literaturverzeichnis 23
Anhang 1: Verspätungsanzeige 24

Executive Summary

Das Lokpersonal verfügt in seiner bisherigen Fahranzeige nicht über genügend Informationen, um den Auftrag «wirtschaftlich fahren» optimal umzusetzen. Das vorliegende Projekt hatte zum Ziel, dem Lokpersonal in einer iterativen Vorgehensweise geeignete Zusatzinformationen für ein energiesparendes Fahren im Personenverkehr elektronisch zur Verfügung zu stellen und deren Anwendbarkeit im Rahmen von Betriebstests zu prüfen. Damit soll der Grundstein für Einsparungen im Bahnstromverbrauch und eine Verbesserung von Pünktlichkeit und Betriebsstabilität gelegt werden.

Im Rahmen des Projekts wurde die bestehende Fahranzeige auf dem Lokführer-Tablet - unter aktivem Einbezug der Anwender - mit genauen betrieblichen Fahrplanzeiten und optimalen Geschwindigkeiten je Streckenabschnitt erweitert, die im planmässigen Betrieb ein pünktliches und gleichzeitig energiesparendes Fahren ermöglichen. Zusätzlich wurden für einzelne Strecken, die mit nicht rekuperations-fähigen Fahrzeugen befahren werden, spezifische Ausrollfahrprofile berechnet. Für die Schulung des Lokpersonals wurde ein e-learning-Modul sowie ein praxisnahes Webinar erarbeitet. Ausserdem wurde eine einfache Prototyp-Applikation entwickelt, die unter Nutzung der GPS-Position an den Haltestellen die Differenz zwischen der aktuellen Zeit und der betrieblich geplanten Zeit aufzeigt und damit die Zeitüberwachung durch das Lokpersonal erleichtern kann.

Basierend auf den Daten der ersten zwei Monate nach Einführung und Schulung der neuen Fahranzeige wurden erste Pünktlichkeits- und Energieverbrauchsauswertungen gemacht. Diese deuten auf eine positive Wirkung hin, wobei die durchschnittliche Reduktion des Energieverbrauchs im tieferen einstelligen Prozentbereich liegt und damit (noch) unterhalb der angestrebten Wirkung von -5.5 Prozent. Es ist aber anzunehmen, dass sich die Wirkung mit verbesserter Anwendungspraxis noch erhöhen wird.

Executive Summary (français)

À l'heure actuelle, le personnel des locomotives ne dispose pas d'informations suffisantes dans l'affichage de conduite pour mettre en œuvre de manière optimale la mission de «conduite économique». Le présent projet avait pour but de lui fournir, par voie électronique, des informations complémentaires adaptées à une conduite économe en énergie dans le trafic voyageurs dans une procédure itérative et de vérifier leur applicabilité lors de tests d'exploitation. Cela doit permettre de jeter les bases d'économies de courant de traction et d'une amélioration de la ponctualité et de la stabilité d'exploitation.

Dans le cadre de ce projet, l'affichage des trajets sur la tablette des mécanicien(ne)s sur locomotive a, en impliquant activement les utilisateurs, été complété par des horaires d'exploitation précis et des vitesses optimales pour chaque tronçon de ligne, qui assurent à la fois la ponctualité et une conduite économe en énergie lors de l'exploitation planifiée. Des profils spécifiques de circulation en roue libre ont en outre été calculés pour certains tronçons parcourus par des véhicules sans système de récupération d'énergie. Un module d'e-learning et un webinaire proche de la pratique ont été mis au point pour la formation du personnel des locomotives. Une application prototype simple, qui indique la différence entre l'heure actuelle et l'horaire d'exploitation grâce à la position GPS aux arrêts, a par ailleurs été développée, afin de faciliter la surveillance du temps par le personnel des locomotives.

De premières évaluations de la ponctualité et de la consommation d'énergie ont été réalisées sur la base des données recueillies durant les deux mois qui ont suivi l'introduction du nouvel affichage de conduite et la formation correspondante. Celles-ci indiquent un effet positif, même si la réduction moyenne de la consommation d'énergie demeure dans la part de pourcentage à un chiffre et reste donc (pour l'instant) inférieure à la baisse visée de 5,5 %. On peut toutefois supposer que l'efficacité progressera encore avec la pratique.

Executive Summary (english)

The existing version of the driver dashboard does not provide train staff with sufficient information with which to optimally implement the objective to "drive economically". The aim of this project was to iteratively provide train staff with suitable additional information in electronic format so as to assist them in driving trains in an energy-saving manner during public-transport operations, and to assess the usability of said information through real-world operational testing. This is intended to provide the foundation for using less traction current and improving punctuality and operational stability.

As part of the project, users were actively consulted in order to expand the existing driver dashboard on the driver tablet with precise operational timetable information and optimal speeds for specific route

sections. This information facilitates punctual yet energy-saving driving during regular operations. In addition, specific coasting profiles were calculated for individual sections serviced by vehicles incapable of energy recuperation. An e-learning module and practice-oriented webinar were also developed for the purposes of driver training. Furthermore, a simple prototype app was developed that used the GPS position of the stops to highlight the difference between the current time and the operationally scheduled time, thus making it easier for train staff to monitor timings.

Based on the data from the first two months following project launch and the training of staff in the use of the new dashboard, initial punctuality and energy-consumption assessments were conducted. These show a positive effect, with the average reduction in energy consumption in the low single-digit percentage range and thus (still) below the desired effect of -5.5 per cent. However, it can be assumed that the effect will increase further with improved practical implementation.

Zusammenfassung

Die BLS verbraucht im regionalen Schienen-gebundenen Personenverkehr (RPV) jährlich rund 140 GWh Bahnstrom. Das bestehende System ADL (adaptive Lenkung) wird zwar von der BLS genutzt und hilft zur Vermeidung von Konflikten, doch bietet es kaum Unterstützung beim energiesparenden Fahren im planmässig verkehrenden Personenverkehr. Das Lokpersonal verfügt in seiner bisherigen Fahranzeige nur über die Kundenfahrplan-Zeiten, nicht aber über die betrieblichen Fahrplanzeiten, die als Basis für die Betriebsführung durch die Betriebsleitzentralen dienen. Die Lokführer/innen entscheiden deshalb basierend auf ihren individuellen Erfahrungen, wie sie die FDV-Vorgabe «wirtschaftlich fahren» umsetzen, was zu einer grossen Streuung und unausgeschöpftem Energiespar-Potenzial führt.

Das vorliegende Projekt hatte zum Ziel, den Lokführerinnen und Lokführern in einer iterativen Vorgehensweise geeignete Zusatzinformationen für ein energiesparendes Fahren elektronisch zur Verfügung zu stellen und deren Anwendbarkeit im Rahmen von Betriebstests zu prüfen. Damit soll der Grundstein für Einsparungen im Bahnstromverbrauch gelegt werden – angestrebt wurde eine Reduktion im Umfang von 5.5 Prozent. Gleichzeitig soll wenn möglich die Pünktlichkeit und durch eine reduzierte Streuung auch die Betriebsstabilität verbessert werden.

Das Projekt bestand aus zwei Teilprojekten und ging nach einer iterativen Vorgehensweise unter engem Einbezug der Anwender vor.

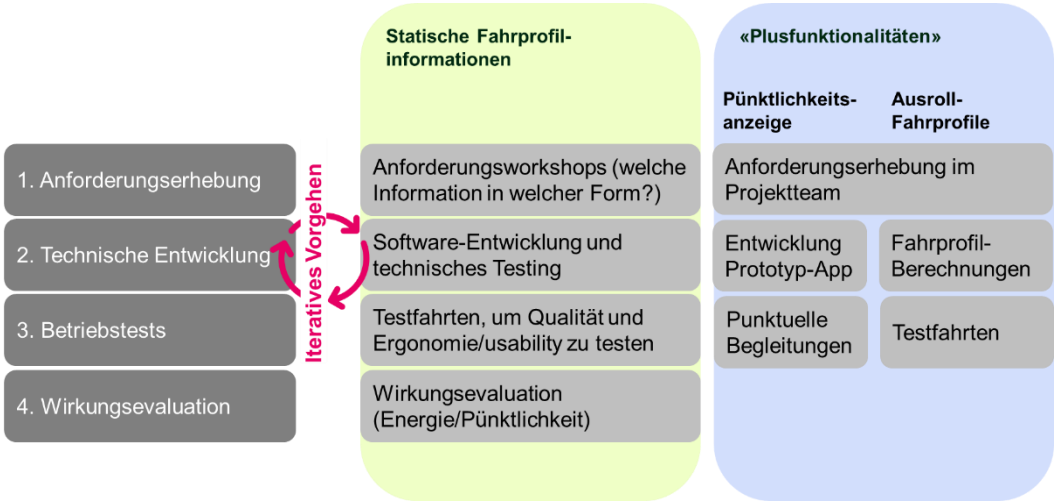


Abbildung 1: Teilprojekte und Arbeitspakete

Teilprojekt statische Fahrprofilinformationen

Im Teilprojekt statische Fahrprofilinformationen wurden in einem ersten Schritt die Anforderungen an die relevanten Informationen für ein energiesparendes Fahren sowie deren Einbindung in die bestehende Fahranzeige gesammelt. Basierend darauf wurde eine schrittweise Software-Entwicklung angestossen, wobei erste Testversionen frühzeitig durch Testlokführer auf ihre Darstellung und usability hin getestet wurden und die entsprechenden Feedbacks in die weitere Entwicklung der Anzeige einflossen. In ähnlicher Weise wurden die durch die SBB berechneten und bereitgestellten Fahrprofile im Rahmen der Testfahrten auf ihre Qualität und Fahrbarkeit hin geprüft. Die entsprechenden Rückmeldungen halfen den SBB bei der Optimierung der Berechnungsalgorithmen.

Als Haupt-Lieferobjekt wurde eine angepasste Fahranzeige für die Personenverkehrszüge erarbeitet, die dem Lokpersonal in zwei zusätzlichen Spalten neue «eco»-Zeiten und -Geschwindigkeiten zeigt, gewisse bisherige Informationen ausblendet und im Bedarfsfall (z.B. Störung oder Lokführer-Ausbildung) den Switch auf die herkömmliche Anzeige ermöglicht.

Als zweites Lieferobjekt wurde ein Schulungsmodul basierend auf einem e-learning und einem Webinar aufgebaut, welches den Lokführenden ein vertieftes Verständnis der neu dargestellten Fahrprofil-Informationen und ihrer Anwendung vermittelt und sie mittels Praxisbeispielen für ein energiesparendes Fahren sensibilisiert.



Abbildung 2: Neu gestaltete LOPAS-Fahranzeige für Personenverkehrszüge

Die neue Fahranzeige wurde den Lokführenden nach erfolgter Schulung freigeschaltet. Im Anschluss an die produktive Einführung Anfang September 2020 erfolgte eine Wirkungsevaluation auf Basis der September- und Oktober-Daten, sowohl bezüglich Pünktlichkeit wie Energieverbrauch. Die ersten Evalutionsergebnisse, die aufgrund des kurzen Beobachtungszeitraums jedoch noch nicht belastbar sind, zeigen eine positive Tendenz.

Die Pünktlichkeitsanalyse in Abbildung 3 zeigt in einer Gesamtbetrachtung aller BLS Personenverkehrslinien, dass die Verteilung der Zeitdifferenzen zur betrieblich geplanten Zeit an den wichtigsten Betriebspunkten (Fahrplan-Fixpunkte) gegen den Nullpunkt hin zunimmt und sowohl die Zahl der frühzeitigen wie auch der verspäteten Ankünfte (>60 Sekunden) abnimmt.

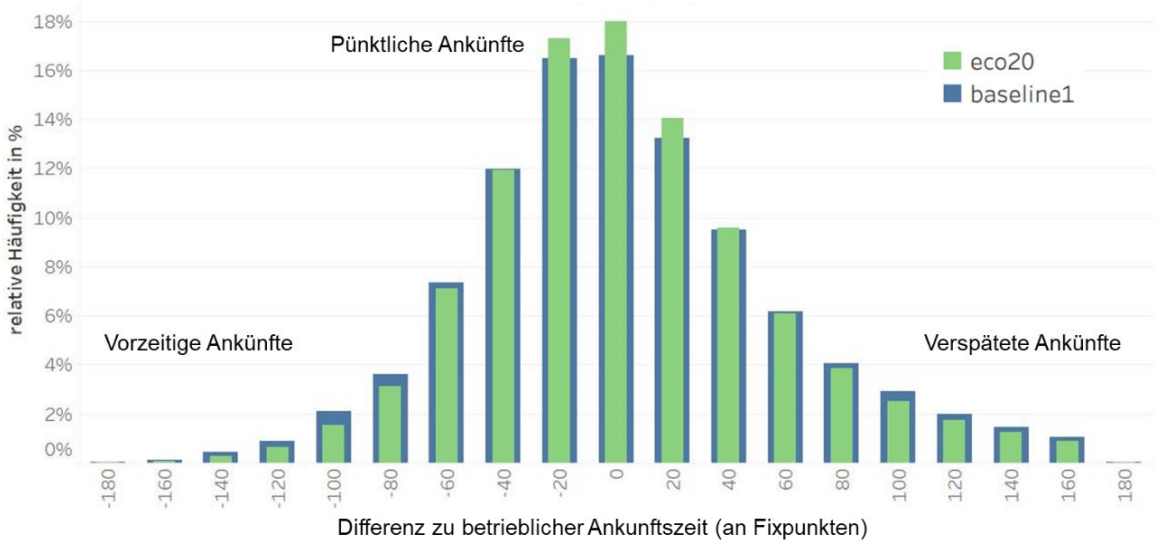


Abbildung 3: Häufigkeitsverteilung der Ankunftspünktlichkeit (Differenz zu den betrieblichen Fahrplanzeiten, in Sekunden) an den betrieblichen Fixpunkten, im Vergleich zwischen eco-Fahrten und Vergleichsfahrten

Die Energieverbrauchs-Auswertungen, die mittels zwei verschiedener methodischer Ansätze erfolgten, zeigen ein relativ durchmischtes Bild zwischen den verschiedenen Linien und Fahrzeugen. Während auf gewissen Linien (z.B. S5 Bern-Kerzers/Neuenburg) deutliche Einsparungen von ca. 3-4% resultieren, weisen andere Linien (z.B. RE Bern-Neuenburg-La Chaux-de-Fonds) nur relativ geringe Einsparungen im Umfang von 1-2% auf. Auf einzelnen Linien (z.B. S51 Bern-Bern Brünnen) sind keine Einsparungen bzw. gar leichte Mehrverbräuche feststellbar.

Diese ersten Evaluationsergebnisse müssen mit der notwendigen Vorsicht interpretiert werden, sie zeigen im Durchschnitt aber klar eine positive Tendenz, die jedoch (noch) nicht im angestrebten Wirkungsbereich von 5.5% liegt. Es ist jedoch zu erwarten, dass sich die Wirkung mit der Schulung und Anzeige-Freischaltung für die derzeit noch nicht geschulten Lokführer/innen sowie mit verbesserter Übung und Anwendungspraxis noch erhöhen wird.

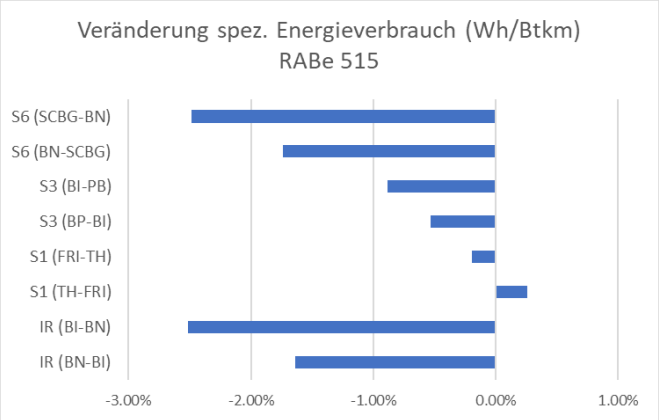


Abbildung 4: Vergleich des spezifischen Energiebedarfs der «eco»-Fahrten zu den Vergleichsfahrten auf mit RABe515 befahrenen Linien (Auswahl)

Teilprojekt Plusfunktionalitäten

Im Rahmen des Teilprojekts «Plusfunktionalitäten» wurden flankierend zur Einführung der statischen Fahrprofilinformationen zwei zusätzliche Ansätze verfolgt:

a) Verspätungsanzeige: Es wurde eine einfache Prototyp-App entwickelt, die unter Nutzung der GPS-Position an den Haltestellen die Differenz zwischen der aktuellen Zeit und der betrieblich geplanten Zeit aufzeigt. Dadurch soll dem Lokpersonal die Zeitüberwachung erleichtert und entsprechend eine präzise und pünktliche Umsetzung des betrieblichen Fahrplans gefördert werden.

b) Ausroll-Fahrprofile: Da die statischen Fahrprofile für moderne Triebzüge ausgelegt sind (konstante reduzierte Geschwindigkeiten), wurden spezifische Ausroll-Fahrprofile für die wichtigsten, mit den nicht-rekuperationsfähigen RBDe 565 / 566 II Kompositionen befahrenen Linien, berechnet. Diese Fahrprofile sollen den Lokführern die «Übersetzung» der statischen Fahrprofilinformationen in ein energieeffizienteres Ausrollfahrprofil erleichtern.

Die Verspätungsanzeige wurde in einem einfachen Prototyp entwickelt und das Feedback von Lokführern im Rahmen von begleiteten Testfahrten und des Fachausschuss Lokpersonal eingeholt. Auf eine produktive Umsetzung wurde jedoch aus zwei Gründen verzichtet. Erstens zeigte sich, dass eine technische Umsetzung in LOPAS sinnvollerweise erst nach einer technischen Sanierung der LOPAS App erfolgen kann, die für 2021/22 geplant ist. Zweitens gab es Befürchtungen von Seiten gewisser Lokführer, dass der Einbau einer solchen Verspätungsanzeige die bestehende Fahranzeige überfrachten würde. Grundsätzlich wurde die Idee einer vereinfachten Zeitüberwachung aber für gut befunden und auch die kritischeren Lokführer zeigten sich offen, den Ansatz einer solchen Verspätungsanzeige im Rahmen einer zukünftigen Weiterentwicklung der Fahrassistenz und Neugestaltung der Fahranzeige aufzunehmen.

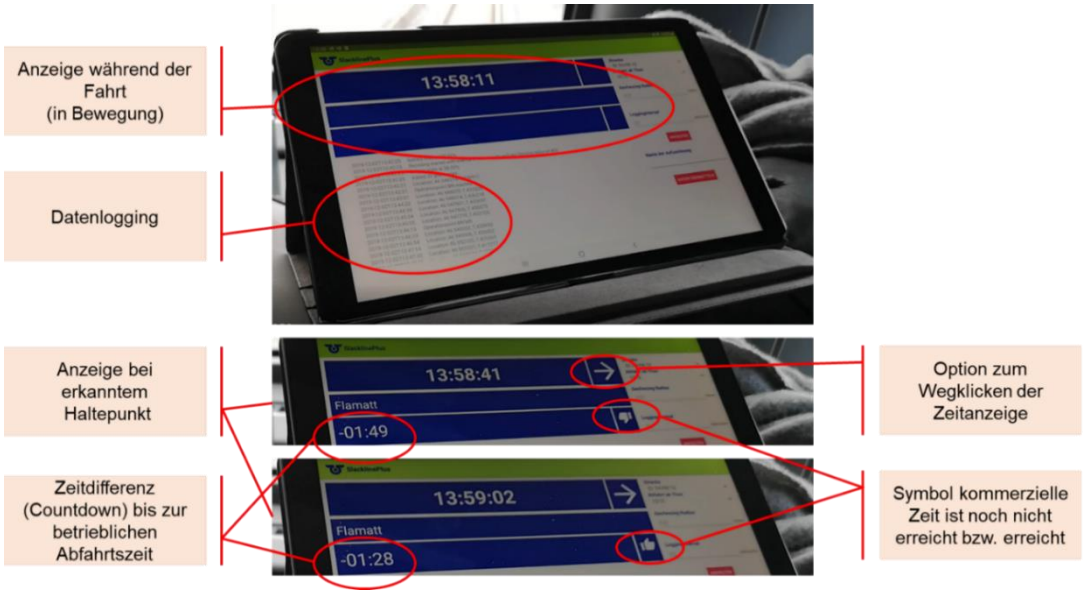


Abbildung 5: Bilder der Prototyp-App

Résumé en français

BLS consomme environ 140 GWh de courant de traction par an dans le transport régional voyageurs (TRV) par rail. Le système ADL (régulation adaptative) que BLS utilise actuellement contribue certes à éviter les conflits, mais il ne favorise guère la conduite économe en énergie dans le trafic voyageurs planifié. Sur son affichage de conduite actuel, le personnel des locomotives ne dispose que de l'horaire clients et non des horaires d'exploitation qui servent de base à la gestion par les centrales d'exploitation. Les mécanicien(ne)s sur locomotive décident donc, en fonction de leur expérience personnelle, de la manière dont ils mettent en œuvre la PCT de «conduite économique». Cela entraîne une dispersion et un potentiel inexploité d'économies d'énergie élevé.

Le présent projet avait pour but de fournir aux mécanicien(ne)s sur locomotive par voie électronique des informations complémentaires adaptées à une conduite économe en énergie dans le trafic voyageurs dans une procédure itérative et de vérifier leur applicabilité lors de tests d'exploitation. Cela doit jeter les bases d'une réduction de la consommation de courant de traction, l'économie visée étant de 5,5 %. Dans le même temps, la ponctualité et, grâce à une diminution de la dispersion, la stabilité opérationnelle doivent si possible être améliorées.

Le projet se composait de deux sous-projets et a été réalisé selon une procédure itérative impliquant étroitement les utilisateurs.

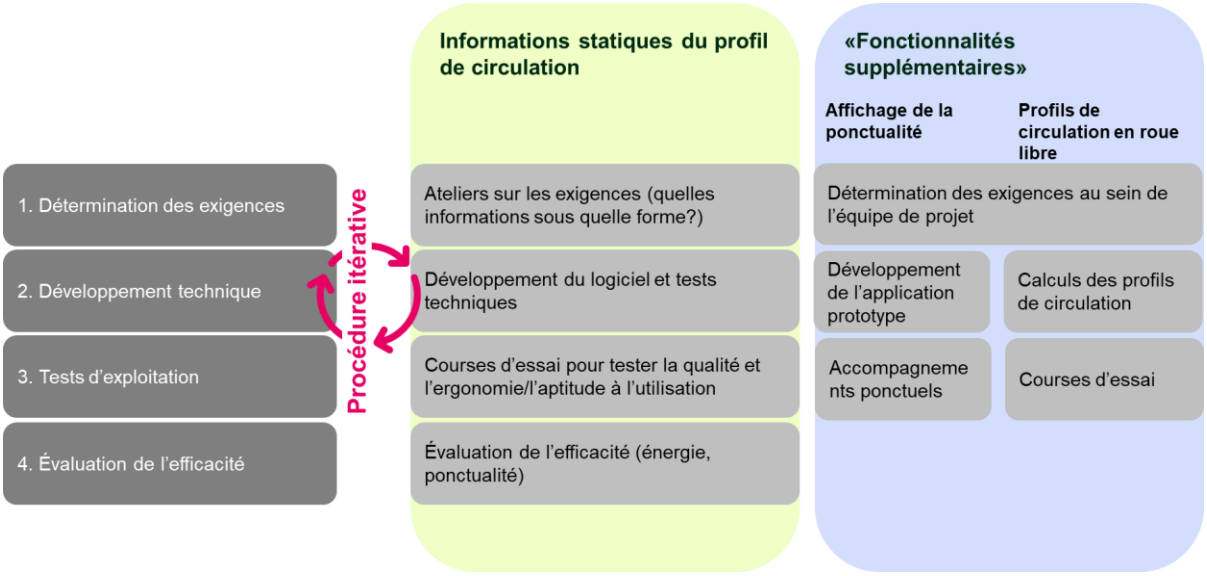


Figure 1: sous-projets et lots de travaux

Sous-projet Informations statiques du profil de circulation

La première étape du sous-projet Informations statiques du profil de circulation a consisté à recueillir les exigences relatives aux informations pertinentes pour une conduite économe en énergie et à les intégrer à l'affichage de conduite existant. Un logiciel a progressivement été développé sur cette base. La présentation et l'aptitude à l'utilisation des premières versions ont été testées dès le début par des mécanicien(ne)s sur locomotive, dont les réactions ont été prises en considération dans le perfectionnement de l'affichage. La qualité et la praticabilité des profils de circulation établis et mis à disposition par les CFF ont été vérifiées de manière analogue. Les retours correspondants ont aidé les CFF à optimiser leurs algorithmes de calcul.

L'objet principal de la livraison consistait en l'élaboration d'un affichage de conduite adapté aux trains de voyageurs. Doté de deux colonnes supplémentaires, il indique au personnel des locomotives les nouveaux horaires et vitesses «éco», masque certaines des informations précédentes et permet, si nécessaire (dérangement, formation des mécanicien(ne)s sur locomotive, etc.), de revenir à l'affichage conventionnel.

Le second objet de livraison consistait en un module de formation basé sur l'e-learning et sur un webinaire, destiné à donner aux mécanicien(ne)s sur locomotive une compréhension approfondie de la nouvelle présentation des informations du profil de circulation et de leur utilisation, ainsi qu'à les sensibiliser à la conduite économe en énergie par le biais d'exemples pratiques.



Figure 2: affichage de conduite adapté aux trains de voyageurs

Une fois la formation effectuée, les mécanicien(ne)s sur locomotive avaient accès au nouvel affichage. À la suite de l'introduction effective début septembre 2020, son impact, tant en termes de ponctualité que de consommation d'énergie, a été évalué sur la base des données de septembre et d'octobre. Les premiers résultats d'évaluation, qui restent toutefois à confirmer sur une période d'observation plus longue, montrent une tendance positive.

L'analyse de la ponctualité dans l'illustration 3 montre, dans une vue d'ensemble de toutes les lignes de transport de voyageurs de BLS, que la répartition des différences par rapport à l'horaire prévu aux principaux points d'exploitation (points fixes de l'horaire) se rapproche de zéro et que le nombre d'arrivées en avance et en retard (>60 secondes) diminue.

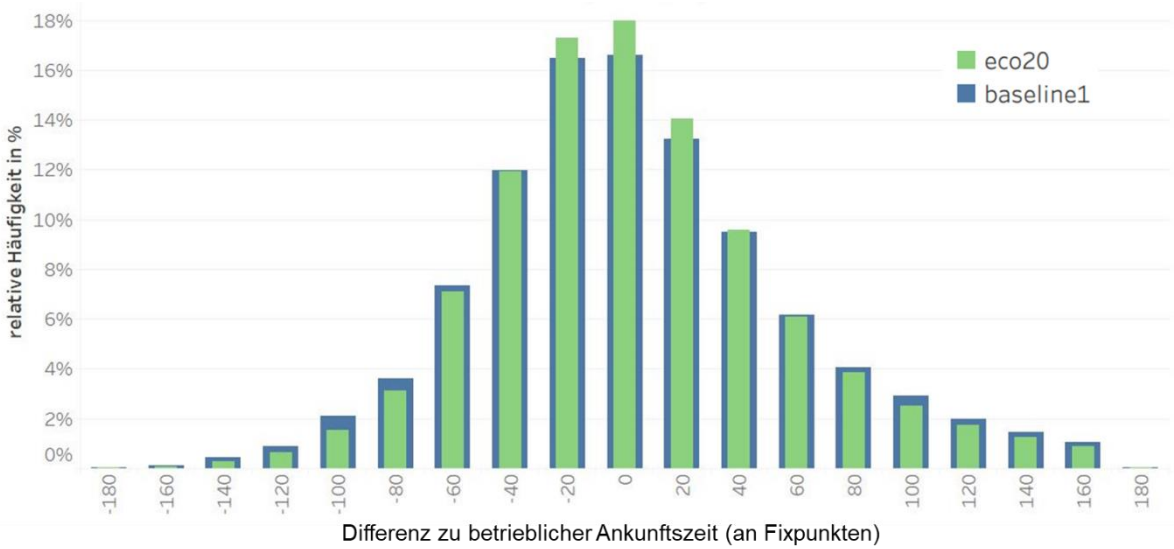


Figure 3: Comparaison de la répartition de la fréquence de la ponctualité d'arrivée (différence par rapport aux horaires d'exploitation planifiés, en secondes) aux points d'exploitation fixes, entre les trajets «éco» et les trajets témoins.

Les évaluations de la consommation d'énergie réalisées selon deux approches méthodologiques différentes mettent en évidence des résultats relativement mitigés selon les lignes et les véhicules. Si certaines lignes (comme le S5 Berne–Kerzers/Neuchâtel) affichent de nettes économies de l'ordre de 3 à 4 %; sur d'autres (comme le RE Berne–Neuchâtel–La Chaux-de-Fonds), elles sont relativement modestes, de l'ordre de 1 à 2 %. Sur quelques lignes (comme le S51 Berne–Berne Brünnen), on constate des économies nulles, voire une légère surconsommation.

Ces premiers résultats d'évaluation sont à interpréter avec la prudence de rigueur, mais révèlent dans l'ensemble clairement une tendance positive, qui reste néanmoins (encore) en deçà de l'efficacité visée de 5,5 %. On peut toutefois s'attendre à ce que l'efficacité augmente lorsque tous les mécanicien(ne)s sur locomotive auront été formés et disposeront du nouvel affichage, de même que grâce à l'entraînement et à la pratique.

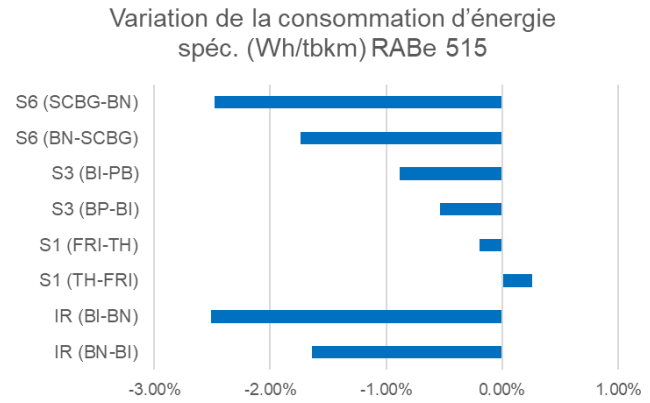


Figure 4: Comparaison de la consommation d'énergie spécifique (Wh/tbkm) entre les trajets « éco » et les trajets témoins. Pour les lignes exploitées avec les véhicules RABe 515 (sélection).

Sous-projet Fonctionnalités supplémentaires

Dans le cadre du sous-projet Fonctionnalités supplémentaires, deux autres approches ont été suivies, en complément de l'introduction des informations du profil de circulation statique:

a) Affichage des retards: une application prototype simple, qui indique la différence entre l'heure actuelle et l'horaire d'exploitation grâce à la position GPS aux arrêts, a été développée. Elle doit faciliter la surveillance du temps par le personnel des locomotives et favoriser ainsi un respect précis et ponctuel de l'horaire d'exploitation.

b) Profils de circulation en roue libre: comme les profils de circulation statiques ont été élaborés pour des rames automotrices modernes (vitesses réduites constantes), des profils spécifiques de circulation en roue libre ont été calculés pour les principales lignes sur lesquelles circulent les compositions sans récupération d'énergie RBDe 565/566. Ces profils de circulation doivent aider les conducteurs à «traduire» les informations du profil statique en profil de circulation en roue libre plus économe en énergie.

Un prototype simple d'affichage des retards a été développé et utilisé lors de courses d'essai accompagnées. Les mécanicien(ne)s sur locomotive concerné(e)s et la commission spécialisée du personnel des locomotives a ensuite donné son avis. Il n'y a toutefois pas eu de mise en œuvre effective, et ce, pour deux raisons. D'une part, il s'est avéré que la mise en œuvre technique dans LOPAS ne serait judicieuse qu'après une remise à niveau technique de l'application LOPAS, prévue pour 2021/22. D'autre part, certain(e)s mécanicien(ne)s sur locomotive craignaient que l'intégration d'un tel affichage des retards ne surcharge l'affichage de conduite existant. Sur le principe, l'idée d'une surveillance du temps simplifiée a toutefois été jugée bonne, et même les mécanicien(ne)s sur locomotive les plus critiques se sont montrés ouverts à un tel affichage des retards dans le cadre d'un futur perfectionnement de l'assistance à la conduite avec une refonte de l'affichage de conduite.

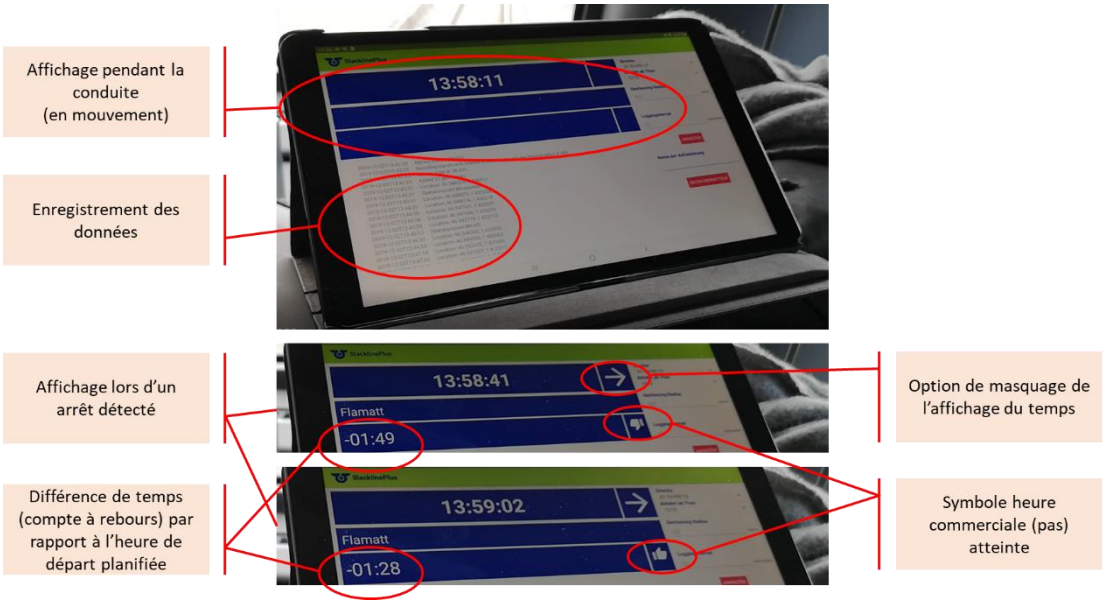


Figure 5: photos de l'application prototype

1. Ausgangslage

Die BLS verbraucht im Regionalen Schienen-gebundenen Personenverkehr (RPV) jährlich rund 140 GWh Bahnstrom. Das Thema energiesparendes Fahren wurde in den letzten Jahren in der BLS relativ stiefmütterlich behandelt. Das System ADL (adaptive Lenkung, siehe Kasten unten) wird zwar von der BLS genutzt und hilft zur Vermeidung von Konflikten, doch bietet das System kaum Unterstützung beim energiesparenden Fahren im RPV-Regelbetrieb.

System adaptive Lenkung (ADL)
Das seit Ende 2015 auch bei der BLS eingesetzte System ADL dient dazu, unnötige Stopps vor Haltesignalen zu vermeiden. Bei Vorzeitigkeit empfiehlt ADL zudem reduzierte Geschwindigkeiten für energiesparendes Fahren (Funktion ADL Eco). ADL und vor allem ADL Eco kommen im S-Bahn-Regel-Verkehr aber nur selten zum Einsatz.

Die im vorliegenden Projekt vorgesehenen Fahrempfehlungen legen den Fokus auf den Regelbetrieb im Personenverkehr. Sie stellen somit eine Alternative zur heutigen ADL Eco-Funktion dar, als Ergänzung zur ADL Konfliktlösung im Abweichungsfall.

Aus diesem Grund hat die BLS im Jahr 2017 zusammen mit SBB Infrastruktur ein Pilotprojekt „energiesparendes Fahren“ durchgeführt, in dessen Rahmen unterschiedliche Fahrempfehlungssysteme getestet wurden. Das Pilotprojekt bestätigte, dass im zumeist planmässig verkehrenden Personenverkehr bereits mit statisch berechneten Fahrprofilinformationen gute Wirkungen bezüglich Energieverbrauch und Pünktlichkeit erzielt werden können (vgl. Dokumente [1] und [2] sowie die Erläuterungen in Kapitel 3.2).

Interessiert und getrieben durch dieses Pilotprojekt hat in der Folge auch die SBB eine Studie zur Weiterentwicklung von Fahrempfehlungen für energiesparendes Fahren durchgeführt und basierend darauf das Projekt „eco2.0“ mit Fokus auf statischen Fahrprofilinformationen (Personenverkehr) initiiert (vgl. Dokument [3]).

Die BLS ihrerseits hat nach dem Pilotprojekt im Rahmen einer Studie vertiefter abgeklärt, in welche Richtung sie gehen möchte (statische Fahrprofile vs. dezentral berechnete dynamische Fahrprofile, siehe Kasten unten). Nachdem sie den Fokus anfänglich auf ein Tablet-basiertes Fahrassistenzsystem gerichtet hatte, gelangte sie Anfang 2019 zum Entscheid, doch auch auf den Ansatz der statischen Fahrprofile zu setzen und diese im Rahmen des vorliegenden Projekts von der SBB zu beziehen und in der bestehenden LOPAS Fahranzeige ans Lokpersonal auszugeben.

Statische und dezentral berechnete dynamische Fahrprofile

Statische Fahrprofile werden zu einem bestimmten Zeitpunkt vor der Zugfahrt anhand des aktuell gültigen Fahrplans und gültigen RADN berechnet und dann belassen. Eine Anpassung danach, respektive besonders während der Fahrt, ist nicht möglich.

Dezentral berechnete dynamische Fahrprofile

Es findet eine Berechnung auf dem Lokführer- Endgerät statt, ebenfalls nach geltenden Fahrplandaten und RADN. Im Unterschied zu einer statischen Berechnung und zu einem fixierten Zeitpunkt kann die Berechnung für einzelne Züge auch neu berechnet werden, sollten sich neue Parameter für die Zugfahrt ergeben (veränderte Verkehrslage, Störungen auf der Strecke und am Fahrzeug, Kurzführungen, etc.)

2. Ziel der Arbeit

Das Projekt hatte zum Ziel, den Lokführerinnen und Lokführern in einer iterativen Vorgehensweise geeignete Zusatzinformationen für ein energiesparendes Fahren elektronisch über die Lokführer-Software LOPAS auf ihr Tablet zur Verfügung zu stellen und deren Anwendbarkeit im Rahmen von Betriebstests zu prüfen.

Damit soll der Grundstein für Einsparungen im Bahnstromverbrauch im Personenverkehr gelegt werden – angestrebt wurde eine Reduktion im Umfang von mindestens 5.5%. Gleichzeitig wurde angestrebt, die Pünktlichkeit an den wichtigsten kommerziellen Betriebspunkten zu halten bzw. falls möglich zu verbessern, die Streuung der Fahrweise der verschiedenen Lokführer/innen zu reduzieren und damit zu einer verbesserten Betriebsstabilität bzw. Netzkapazität beizutragen.

Konkret bestand das Projekt aus folgenden Teilprojekten und Vorgehensschritten (detaillierte Erläuterungen dazu folgen in Kapitel 4):

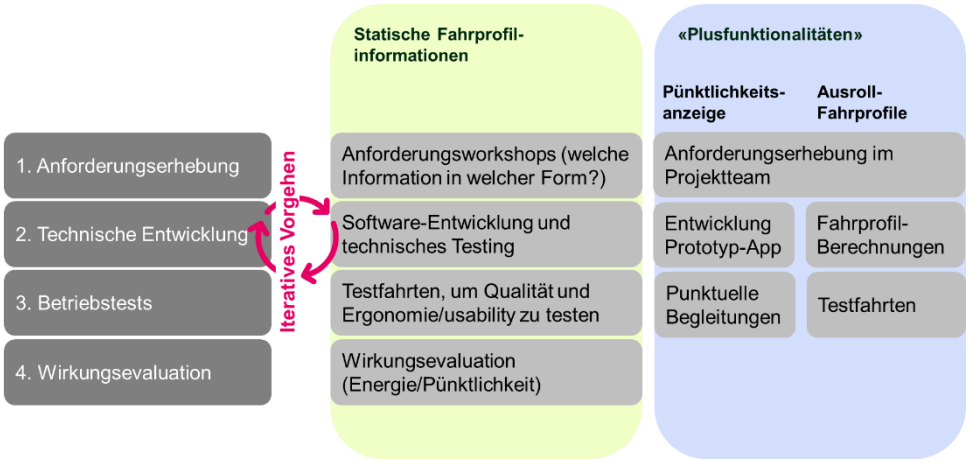


Abbildung 6: Übersicht über die Teilprojekte und Arbeitspakete

Hinweis zur Fahrprofilberechnung im Teilprojekt «statische Fahrprofile»: Die Fahrprofil-Berechnungen wurden ausserhalb des vorliegenden Projekts durch die SBB entwickelt (vgl. Dokument [3]). Die BLS bezog im Rahmen des vorliegenden Projekts diese Fahrprofile und unterstützte die SBB mit Hilfe ihrer Erfahrungen in den Testfahrten bei der Qualitätsverbesserung der Berechnungen.

3. Forschungsansatz und aktueller Wissensstand

3.1. Forschungsansatz

Der Ausgangspunkt für das Projekt ist die Überzeugung – gewonnen aus dem Pilotprojekt (vgl. Dokument [1]) – dass die Lokführer mit der bisherigen Fahranzeige nicht über alle vorhandenen und relevanten Informationen verfügen, die für einen präzisen und energieoptimalen Betrieb notwendig sind. Der Forschungsansatz bestand also darin, die Lokführer/innen mittels Verfügungstellung zusätzlicher Information und entsprechender Schulung besser zu einer energieoptimalen, im betrieblichen Fahrplan eingebetteten Fahrweise zu befähigen und zu motivieren (denn nur wenn diese Informationen auch effektiv genutzt werden, kann eine Wirkung erzielt werden).

Dies wurde mit einem «lowtech»-Ansatz verfolgt – d.h. anstelle einer neuen Software auf dem Tablet mit eigenen Algorithmen wurden die im zentralen System RCS verfügbaren Informationen bezogen und in möglichst einfacher Weise in die bestehende Fahranzeige eingebunden.

Das Projekt setzte auf eine iterative Vorgehensweise unter starkem Einbezug von zahlreichen Lokführern, die einerseits bei der Anforderungserhebung und andererseits beim Testen involviert waren. Ein solches Vorgehen erlaubt es, sich schrittweise durch einfache Entwicklungsschritte und ständigem Testen und Feedback-Einholen bei den Anwendern an eine ideale Lösung heranzutasten, die letztendlich auch eine erhöhte Anwender-Akzeptanz erreicht.

3.2. Aktueller Wissensstand

Fahrassistenzsysteme werden schon seit mehreren Jahren am Markt angeboten und sind bei sehr vielen europäischen Bahnunternehmen im produktiven Einsatz (vgl. Studie zu Deutschland, Dokument [4]). Diese Systeme sind jedoch nicht mit den Infrastruktur-seitigen Transportmanagementsystemen verknüpft und die Fahrempfehlungen können daher nur aus Sicht des einzelnen Zugs, aber nicht des Gesamtsystems berechnet werden.

In der Schweiz haben wir mit dem System Adaptive Lenkung (ADL) eine Lösung, welche aus der Gesamtsystemsicht heraus Fahrempfehlungen ausgibt. Die ADL eco-Meldungen, welche das energiesparende Fahren im Regelfall unterstützen sollen, wurden bei Personenverkehrszügen aber sehr selten ausgeben und vermochten das Bahnstrom-Einsparpotenzial deshalb bei Weitem nicht auszuschöpfen.

In einem Pilotprojekt, das die BLS zusammen mit SBB-I und Unterstützung des BAV in 2017 durchgeführt hat, wurden unterschiedliche Fahrempfehlungssysteme getestet:

- Statische Fahrempfehlungen auf Papier (Fahrprofilberechnungen durch SBB-I-EN)
- Zwei Tablet-basierte Fahrassistenzsysteme von externen Anbietern



Abbildung 7: Fotos der drei im Pilotprojekt 2017 getesteten Systeme. Links die statischen Fahrprofil-Informationen auf Papier, rechts die beiden Tablet-basierten Fahrassistenzsysteme.

Das Pilotprojekt brachte folgende Haupterkenntnisse (vgl. Dokumente [1] und [2]):

- Im S-Bahn-Verkehr können durch Fahrempfehlungen Energieeinsparungen beim Gesamtverbrauch von bis zu 10-15 Prozent erzielt werden.
- Fahrempfehlungen tragen zu einer reduzierten Streuung der Fahrweisen bei und können trotz ökonomischer Fahrweise eine hohe Pünktlichkeit gewährleisten.
- Die Wirkung eines Fahrempfehlungssystems hängt stark von der Art und Weise ab, wie die Informationen und Empfehlungen angezeigt und vom Lokpersonal umgesetzt werden. Die Art der Empfehlungen, die Periodizität ihrer Ausgabe und die Gestaltung der Anzeige haben einen grossen Einfluss auf die Akzeptanz beim Lokpersonal und damit auch den Umsetzungsgrad der Fahrempfehlungen.
- Das Pilotprojekt bestätigte, dass ein Fahrempfehlungssystem ins Gesamtsystem eingebettet werden muss und in enger Abstimmung aller involvierten Akteure (EVU, Fahrplanplanung und Infrastruktur Betrieb) implementiert werden sollte.

Das Pilotprojekt hat auch gezeigt, dass bereits mit statisch berechneten Fahrprofilen gute Wirkungen erzielt werden können. Es hat damit den Grundstein für die vorliegenden Arbeiten der BLS wie auch der SBB (vgl. Dokument [3]) gelegt.

4. Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Vorgehensweise im Projekt sowie die erreichten Ergebnisse erläutert. Gemäss der in Kapitel 2 gezeigten Übersicht über die Teilprojekte und Arbeitspakete werden nachfolgend die Ergebnisse für das Teilprojekt «statische Fahrprofilinformationen» (Kapitel 4.1) und für das Teilprojekt «Plusfunktionalitäten» (Kapitel 0) separat aufgezeigt.

4.1. Statische Fahrprofilinformationen

4.1.1. Vorgehen

Das Projekt startete mit Workshops mit Lokführern, an denen die Anforderungen und Ideen hinsichtlich folgender Fragen gesammelt wurden:

- Welche Informationen (Zeitinformationen, Geschwindigkeitsempfehlungen, allfällige weitere Parameter) werden für ein präzises energiesparendes Fahren benötigt?
- In welcher Form und Darstellung können diese Informationen auf die bereits existierende Fahranzeige für das Lokpersonal gebracht werden?
- Welche weiteren Anpassungen an der Anzeige sind notwendig, um die Lokführer nicht mit zu vielen Informationen zu überfordern bzw. abzulenken? Gibt es Elemente in der Fahranzeige, die nicht zwingend notwendig sind bzw. nur im Bedarfsfall angezeigt werden müssen?

Dabei wurden erste Ideen wurden auf Papier skizziert, um eine bildliche Vorstellung einer neuen angepassten Anzeige zu bekommen.

Die gesammelten Anforderungen wurden schriftlich festgehalten und basierend darauf eine erste einfache Testversion einer angepassten LOPAS-Fahranzeige entwickelt. Diese Testversion konnte an die RCS-Testumgebung der SBB angeschlossen werden und lieferte damit auch bereits erste Fahrprofilinformationen (wenn auch noch nicht in der gewünschten Qualität). Die Anzeige wurde zuerst auf begleiteten Testfahrten und danach auch auf unbegleiteten Fahrten von gut instruierten Testlokführern getestet – in einer ersten Phase lag der Fokus auf der Anzeige selbst, in einer zweiten Phase lag der Fokus auf der Qualität der Fahrprofile.

Basierend auf den Inputs der Testlokführer konnte die Anzeige damit laufend angepasst und danach wieder im Testbetrieb ausprobiert werden. Auf diesem Weg konnte die initiale Testversion in verschiedenen Punkten zu einer optimierten finalen Lösung entwickelt werden (z.B. bezüglich Positionierung und Abhebung der «eco»-Spalten von der restlichen Fahrordnung, Switch zwischen «eco»-Anzeige und «normaler» Anzeige im Störungs- oder Verspätungsfall, Linien-Scrolling der «eco»-Geschwindigkeiten). Die Anzeige wurde zudem ebenfalls mit dem Fachausschuss Lokpersonal besprochen. Die Feedbacks aus den Testfahrten zur Fahrprofil-Qualität wurden mit der SBB besprochen und daraus konnten wertvolle Erkenntnisse vor allem mit Blick auf die Fahrprofil-Berechnung für den Regionalen Personenverkehr gezogen und entsprechende Berechnungs-Optimierungen angestossen werden. Per Ende Juni 2020 - nach detaillierten Testings und Korrektur von zahlreichen kleinen in den Testings entdeckten Unschönheiten in der Anzeige - konnte die entwickelte angepasste Fahranzeige in die produktive LOPAS-Software übertragen werden. Sie wurde zunächst aber nur einer beschränkten Anzahl von Lokführern (geschulte Testlokführer, Referenten und Praxisbildner) freigeschaltet und im Sinne eines Pilotbetriebs weiter im produktiven Einsatz getestet. Auch hier wurden nochmals wertvolle Rückmeldungen seitens der Testlokführer sowohl zur Anzeige wie zu den Fahrprofilen gemacht. Basierend darauf wurde per Ende August 2020 eine letzte Anpassung an der Anzeige vollzogen, ehe sie am 8. September allen bis dahin geschulten Lokführenden freigeschaltet und damit eingeführt wurde.

Vor der produktiven Einführung wurde – wiederum unter Einbezug von Lokführern – eine CSM Risikoanalyse durchgeführt. Das Team, das die Risikoanalyse durchführte, kam dabei zum Schluss, dass die Änderungen in der Anzeige in der Anfangsphase zwar eine leichte Ablenkungsgefahr mit sich bringen, aber keine signifikanten Sicherheitsrisiken, die einer Einführung im Wege stehen würden.

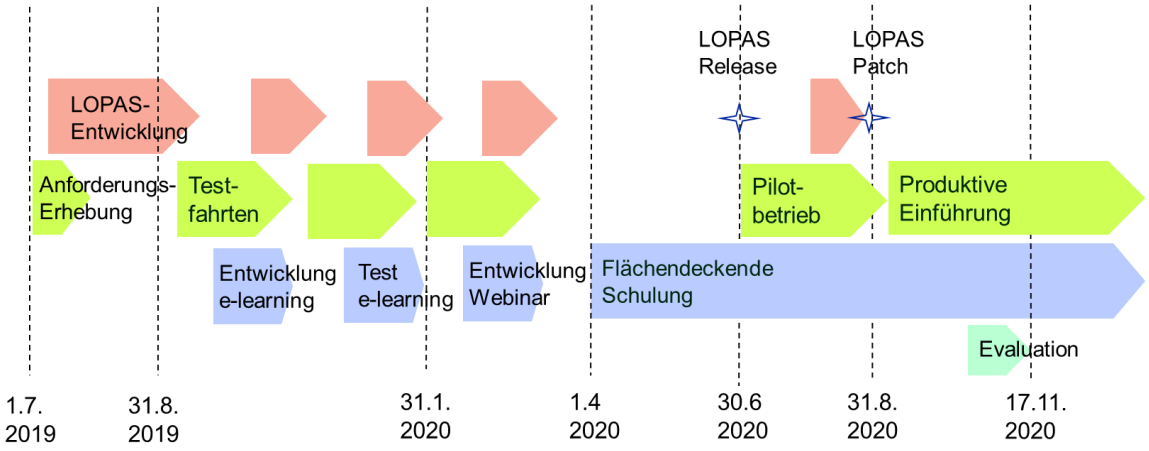


Abbildung 8: Projektvorgehen

Neben der Entwicklung der neuen angepassten Fahranzeige wurde im Rahmen des Projekts ein entsprechendes Schulungsmodul (e-learning und Webinar, vgl. unter Lieferobjekte unten) aufgebaut.

Während das e-learning BLS-intern erarbeitet wurde, wurden die Schulungsunterlagen für das Webinar in Zusammenarbeit mit emkamatik GmbH entwickelt. Auch hier wurde ein iteratives Vorgehen gewählt, so wurde das e-learning in einem ersten Schritt mit den Praxisbildnern durchgespielt, bevor es aufgrund ihrer Rückmeldungen nochmals leicht angepasst und für die flächendeckende Schulung zur Verfügung gestellt wurde.

Zum aktuellen Zeitpunkt haben 535 Lokführende das Schulungsmodul durchlaufen. Weitere ca. 120 Lokführende werden die Schulung noch in den nächsten Wochen absolvieren und die neue Fahranzeige dann im Anschluss an die Schulung freigeschaltet erhalten. Das Schulungsmodul wurde auch in die Ausbildung von neuen Lokführenden integriert und wird Ende November 2020 nun bereits in der dritten Ausbildungsklasse durchgeführt.

Daneben wurden in Zusammenarbeit mit der SBB und BLS Netz AG auch Schulungs- und Informationsmaterial für die Mitarbeitenden in der Betriebsleitzentrale Spiez erarbeitet.

Schliesslich bildete auch die Kommunikation einen wichtigen Pfeiler im Projekt. Von Beginn an wurde Wert auf eine regelmässige und transparente Kommunikation gegenüber den Mitarbeitenden sowie auf einen frühzeitigen und engen Einbezug der wichtigsten Stakeholder (Personalvertreter, Fachausschuss Lokpersonal, Referenten, Praxisbildner, Prüfungsexperten, Teamleiter) gelegt.

4.1.2. Lieferobjekte

4.1.2.1. Angepasste Fahranzeige

Die Fahranzeige in der Software LOPAS wurde in den folgenden Haupt-Punkten angepasst (die Anpassungen beziehen sich ausschliesslich auf die Anzeige für Personenverkehrszüge, bei Güter- und Bauzügen ist die Anzeige unverändert):

- Einführung von 2 neuen Spalten in der neuen Standard-Fahranzeige:
  - betriebliche Abfahrts- bzw. Durchfahrts-Zeiten je Betriebspunkt, 10 Sekunden genau
  - optimale Geschwindigkeit je Streckenabschnitt, 5km/h genau
- Ausblendung der Spalten Steigung/Gefälle und Funkkanal in der Standard-Fahranzeige
- Einführung eines neuen Buttons, mit dem zwischen der neuen Standard-Fahranzeige und der bisherigen Anzeige (mit den Spalten Steigung/Gefälle und Funkkanal; ohne eco-Spalten) gewechselt werden kann. Die Anwendung der bisherigen Anzeige und Ausblenden der eco-Informationen ist z.B. im Störungsfall oder auch in der ersten Phase der Ausbildung von neuen Lokführenden sinnvoll und wurde von den Lokführenden so gewünscht.

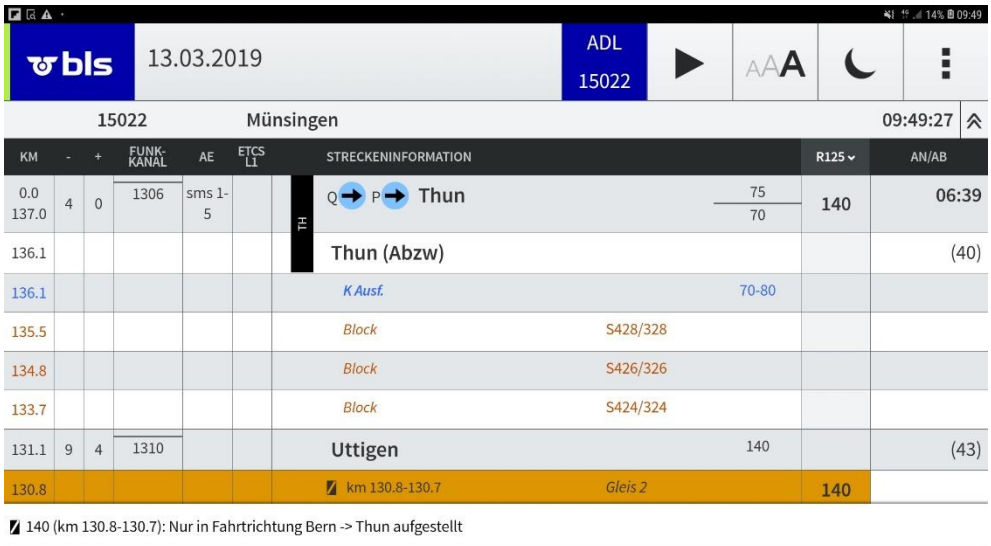


Abbildung 9 alte Anzeige ohne optimierte Fahrprofile

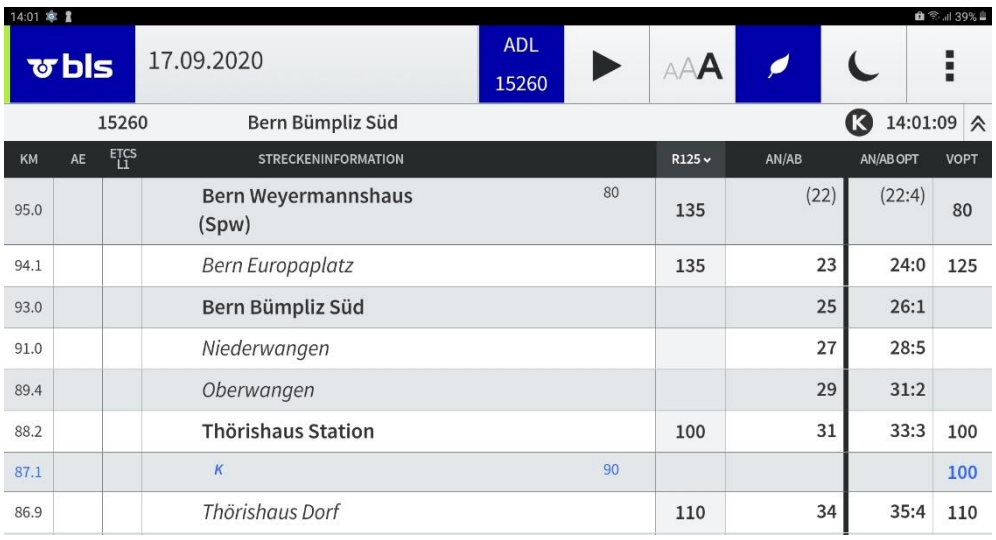


Abbildung 10: neue angepasste Fahranzeige in LOPAS (für Personenverkehrszüge)

4.1.2.2. Schulungsmodul

Im Rahmen des Projekts wurde ein Schulungsmodul erarbeitet, das aus folgenden Elementen besteht:

1. e-learning zu den neuen Fahrprofilinformationen (Grundverständnis)
2. 90-minütiges Webinar mit drei Teilen:
    a. Grundwissen zu Energie
    b. Anwendung der neuen Fahrprofilinformationen sowie der Ausroll-Fahrprofile auf Basis von konkreten Beispielen
    c. Zusammenspiel von statischen Fahrprofilen (Regelfall) und ADL-Meldungen (Abweichungsfall)

4.1.3. Evaluationen

Es wurden erste Wirkungsevaluationen basierend auf Daten der ersten zwei Monate nach Projekteinführung gemacht (9.9.2020 – 31.10.2020). Die Auswertungen erfolgten nach zwei unterschiedlichen Ansätzen, die in den nachfolgenden Unterkapiteln detailliert beschrieben werden:

1. Vergleich zwischen Fahrten von Lokführern, die ohne neue Fahrprofil-Informationen fuhren und Fahrten von Lokführern, denen die neue Anzeige freigeschaltet wurde. Die Auswertungen erfolgten durch SBB-I-EN und analysierten Pünktlichkeit wie auch Energieverbrauch.
2. Vergleich mit Vorjahresdaten. Die Auswertungen erfolgten durch die BLS und bezogen sich ausschliesslich auf den Energieverbrauch.

Die Energieverbrauchs-Evaluationen erfolgten beide auf Basis von Energiemesswerten der Fahrzeuge. Stand heute sind sämtliche Fahrzeuge von BLS Personenverkehr mit Energiemessgeräten ausgerüstet, diese werden für die Ist-Verrechnung des Energiebedarfs genutzt.

4.1.3.1. Evaluation der Pünktlichkeit

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

Für die Auswertungen wurden alle Fahrten vom Regional- und Fernverkehr der BLS berücksichtigt - insgesamt resultierten 34’674 «eco»-Fahrten und 21’000 Vergleichsfahrten. Davon wurden diejenigen Fahrten ausgeschlossen, deren Abgangsverspätung am Startbahnhof mehr als 60 s 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.

Abbildung 10 zeigt den Vergleich der Häufigkeitsverteilungen an den betrieblichen Fixpunkten: Bei den eco-Fahrten ist das Maximum deutlicher ausgeprägt und hat sich von einer leichten Vorzeitigkeit in Richtung Nullpunkt verschoben. Neben der Reduktion der Vorzeitigkeit ist insbesondere die Reduktion der Verspätungen erwünscht – auch hier kann eine leicht positive Tendenz für Verspätungen > 60 Sekunden beobachtet werden. Insgesamt zeigt sich eine leicht reduzierte Breite der Verteilung, d.h. eine Erhöhung der Präzision.

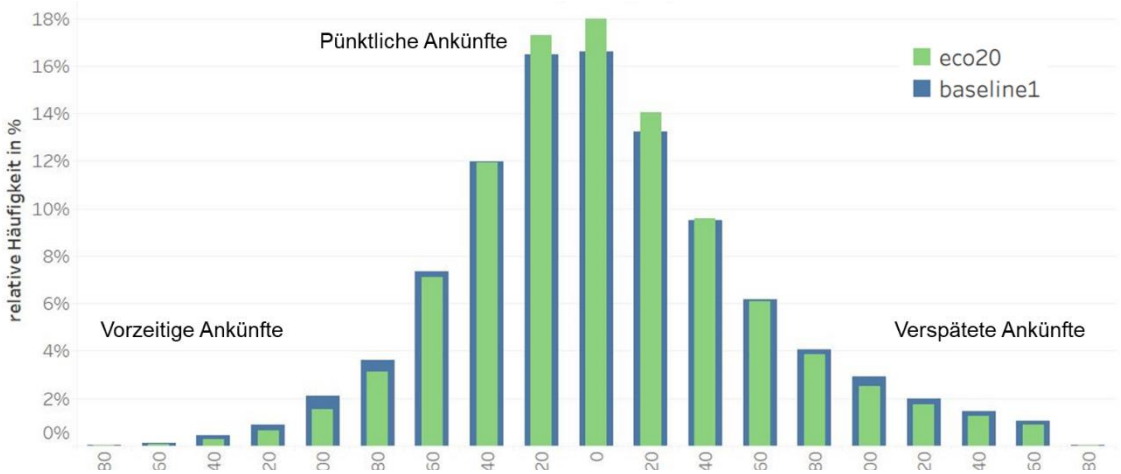


Abbildung 11: Häufigkeitsverteilung der Ankunftspünktlichkeit (Differenz zu den betrieblichen Fahrplanzeiten) an den betrieblichen Fixpunkten, im Vergleich zwischen Fahrten mit und ohne die statischen Fahrprofilinformationen

Die Grafik gibt die Sicht auf das Total aller Linien. Wenn man sich die Linien einzeln anschaut, ergibt sich ein differenzierteres Bild. Während die Daten für einige Linien (z.B. S5) klar auf eine Verbesserung hindeuten, gibt es auch einzelne Linien bzw. Teillinien mit tendenziell verschlechterten Werten (z.B. Regio Lyss-Büren) – auf diese gilt es in der Folge noch ein detaillierteres Augenmerk zu richten.

4.1.3.2. Evaluation des Energieverbrauchs: Vergleich zwischen baseline- und eco-Fahrten

Für die Energieverbrauchs-Evaluation von SBB-I-EN standen aus dem Trassenabrechnungssystem Energieverbrauchsdaten von 36'683 eco-Fahrten und 19'398 baseline-Fahrten und zur Verfügung.

Da sowohl die eco- 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 spezifischen Energiebedarf (Wh/Btkm) umgerechnet und höhenkorrigiert (Kompensation vom Unterschied der potenziellen Energie). Dieser spezifische Energiebedarf wird nun einerseits nach Zugfamilie, andererseits nach Fahrzeugtyp und optional auch nach Anzahl Traktionen und Verkehrszeit (Hauptverkehrszeit versus Nebenverkehrszeit) ausgewertet. Weil in beiden Stichproben (eco und baseline) eine Mindestanzahl von 100 gemessenen Fahrten als Bedingung gesetzt wurde, konnten nicht alle Linien ausgewertet werden. Nachfolgend werden die Übersichten der Energieverbrauchs-Differenzen zwischen eco und baseline nach Fahrzeugkomposition und Linie gezeigt:

Daraus lassen sich folgende Haupt-Aussagen ableiten:

- Auf den mit den RABe 515 (MUTZ) und RABe525 (NINA) befahrenen Linien resultieren überall Energieeinsparungen, die sich je nach Linie zwischen ca. 0.5% und 4% bewegen.[1]

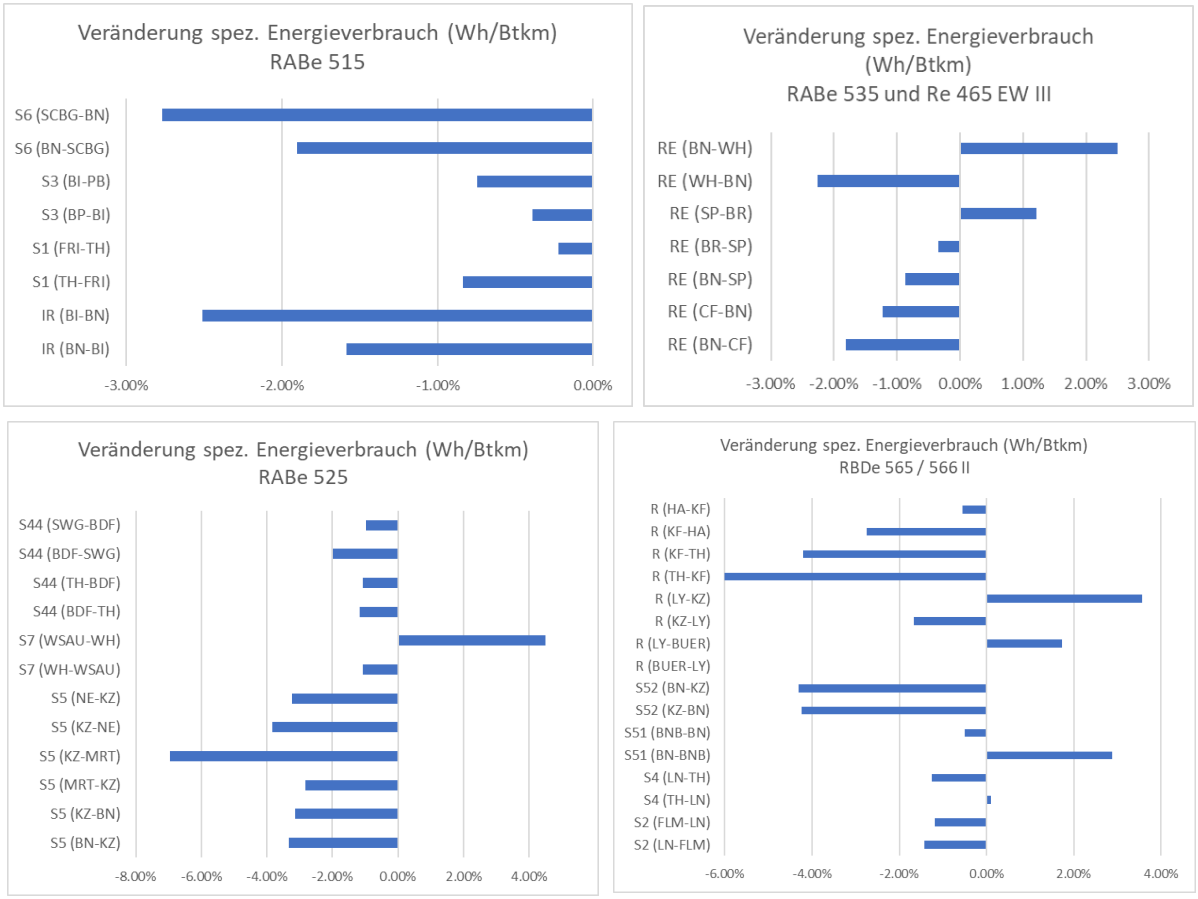


Abbildung 12: Differenz des Energieverbrauchs (Median) von den eco- zu den baseline-Fahrten

[1] Der «Ausreisser» Wilisau-Wolhusen betrifft nur eine relativ kurze Teillinie der S7 (Flügelkonzept in Wolhusen) und ist deshalb wenig aussagekräftig.

- Auf den mit RBDe 565 / 566 II Kompositionen befahrenen Linien gibt es einerseits Linien mit grossen Einsparungen (Regio Thun-Konolfingen und S52) und andererseits Linien ohne erkennbare Einsparungen bzw. gar mit Mehrverbräuchen (Regio Lyss-Kerzers und Lyss-Büren sowie S51) – dies hängt sehr stark von der individuellen Fahrplansituation auf jeder Linie ab.
- Auf den RE-Linien zeigt sich ebenfalls ein durchmischtes Bild.
- Wenn man unterscheidet zwischen IR, RE, S-Bahn und Regiolinien ergibt sich keine klar ersichtliche Tendenz im Ausmass der Einsparung.

Schaut man sich einzelne Linien genauer an, ergibt sich ein differenzierteres Bild. Abbildung 12 zeigt beispielhaft eine detaillierte Analyse für die S1 inkl. Berücksichtigung der Verkehrszeit[2]. Hier zeigt sich, dass in den Nebenverkehrszeiten eher Einsparungen möglich sind, während in der Hauptverkehrszeit weniger Spielräume bestehen, da die Zeitreserven primär für die kommerziellen Halte (Ein- und Aussteigevorgänge) genutzt werden müssen. Die relativ geringen Einsparungen gegenüber den baseline-Fahrten dürften auf der S1 mit der aktuellen Langsamfahrstellen-Situation zusammenhängen – die Langsamfahrstellen «fressen» einen Teil der Fahrzeitreserven weg, die sonst energieeffizienter zur Reduktion der sehr hohen Geschwindigkeiten genutzt werden könnte.

Aufgrund der nur 2-monatigen Datenbasis und weiterer potenzieller Einflussfaktoren (z.B. nicht völlig gleichverteilte eco- und baseline-Stichproben bezüglich Uhrzeit und Auslastung der Züge, Witterungsverhältnisse, Baustellen-Situation etc.) lässt sich jedoch noch keine belastbare Aussage zur effektiven Einsparung machen.

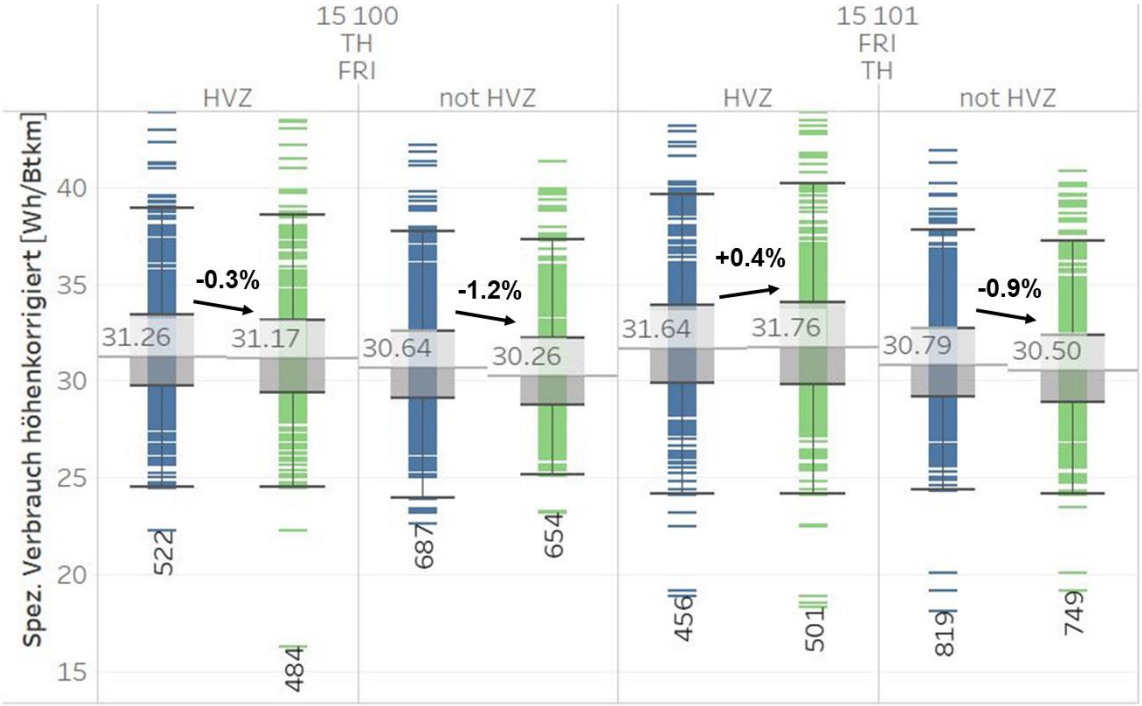


Abbildung 13: Energieverbrauchs-Entwicklung auf der S1, unterteilt nach Hauptverkehrszeit und Nebenverkehrszeit

4.1.3.3. Evaluation des Energieverbrauchs: Vergleich mit Vorjahres-Werten

Die BLS-eigenen Energieverbrauchs-Evaluationen verglichen die 2020-er Energieverbräuche mit denjenigen derselben Vorjahresperiode. Dabei wurden für beide Jahre sämtliche Fahrten berücksichtigt, für die in der Trassenabrechnung Energiemesswerte vorlagen, d.h. unabhängig davon, ob das Lokpersonal mit oder ohne neue Anzeige fuhr.

Ein Vergleich mit den Energieverbräuchen im Vorjahr war nur möglich für Linien, die zwischen 2019 und 2020 eine unveränderte Situation bezüglich Fahrplan und Fahrzeugeinsatz aufwiesen und für die in

[2] Die Züge mit Abfahrtszeit ≥ 6.00 und < 9.00 Uhr sowie ≥ 16.00 und < 19.00 Uhr werden zur Hauptverkehrszeit (HVZ) gezählt

beiden Jahren Energiemesswerte vorlagen. Für den neu in 2020 betriebenen IR65 (Bern-Lyss-Biel) sowie die mit den RBDe 565 / 566 II Kompositionen befahrenen Linien (insbesondere S2, S4), für die in 2019 noch keine Energiemesswerte vorlagen, konnte keine solche Auswertung gemacht werden.

Die Auswertung erfolgte differenziert nach Komposition inkl. Unterscheidung von Einfach- und Mehrfachtraktionen. Abbildung 13 gibt einen Überblick über die Resultate dieser Auswertung, wobei folgende Punkte auffallen:

- Auch wenn der Energieverbrauch 2020 in einzelnen Fällen höher ist, deuten die Daten insgesamt betrachtet eindeutig auf eine Reduktion der Energieverbräuche hin.
- Die Einsparungen fielen im September höher aus als im Oktober. Ein Erklärungsansatz dafür sind die ungewöhnlich kalten Temperaturen im Oktober 2020, die zu einem Mehrverbrauch bei der Heizenergie geführt haben dürften (dies ist ein nicht vernachlässigbarer Teil des Gesamtenergieverbrauchs).
- Auf einigen Strecken zeigt sich eine relativ klare Wirkung (z.B. S5, S1, S3, S31). Auf anderen Linien ist keine klare Tendenz ausmachbar. Der Ausreisser nach oben (S6 Bern Schwarzenburg) dürfte auf (Projekt-externe) Spezialeffekte zurückzuführen sein (wird noch analysiert).

Bei dieser Auswertung gilt es erstens zu beachten, dass es verschiedene Einflussfaktoren für die Energieverbräuche gibt, die zwischen 2019 und 2020 Unterschiede aufweisen können (z.B. allgemeine Betriebsstabilität/Pünktlichkeit, Wetter- / Adhäsionsverhältnisse, evtl. leichte Fahrplananpassungen, Baustellen-/Langsamfahrstellen-Situation etc.). Zweitens muss berücksichtigt werden, dass in September und Oktober 2020 noch nicht alle Lokführer/innen mit der neuen Anzeige gefahren sind (ca. 60-80% der Fahrten), d.h. erst eine Teilwirkung berücksichtigt wurde.

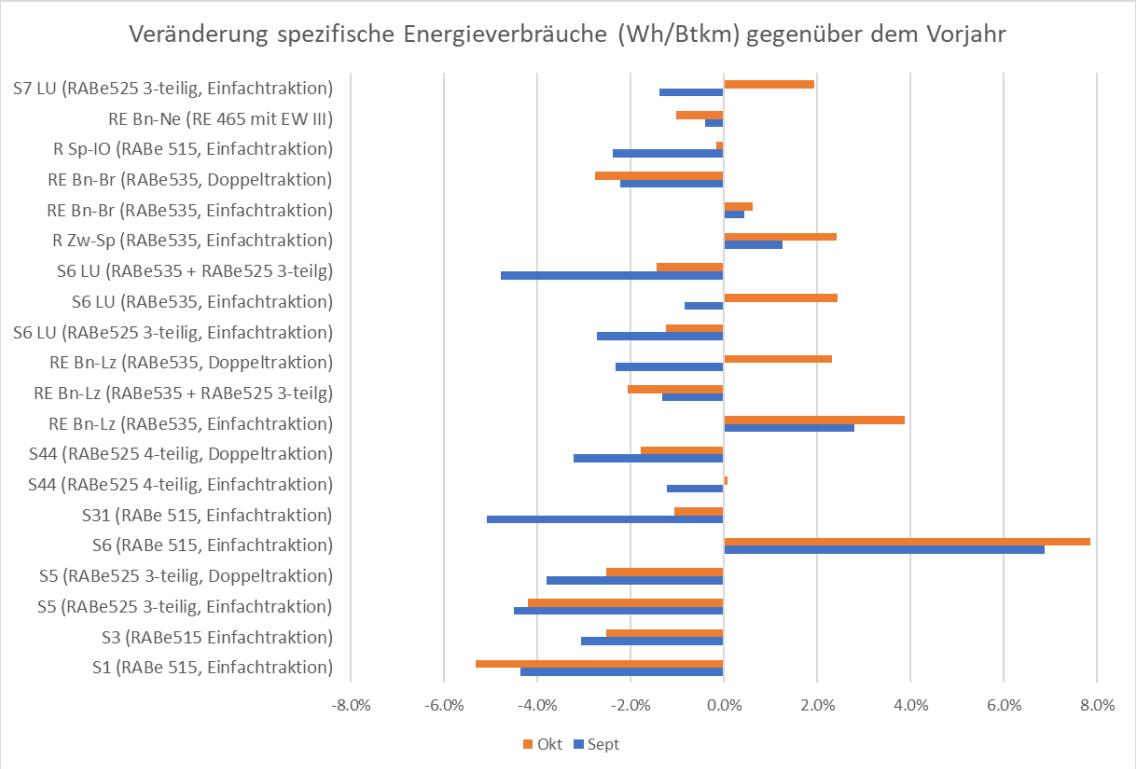


Abbildung 14: Veränderung der spezifischen Energieverbräuche (Wh/Btkm) gegenüber dem Vorjahr, für die wichtigsten Kompositionen je Linie/Teillinie

4.1.3.4. Gesamtbeurteilung und Würdigung der Evaluationsergebnisse

Die Pünktlichkeitsauswertungen wie auch die beiden Energieverbrauchs-Auswertungen, die auf unterschiedlichen Ansätzen beruhen, deuten beide auf eine positive Wirkung der statischen Fahrprofilinformationen hin. Die Wirkung beim Bahnstromverbrauch dürfte aber bisher insgesamt betrachtet eher im tieferen einstelligen Prozentbereich liegen und damit unterhalb der angestrebten Einsparung von -5.5 Prozent. Es ist aber anzunehmen, dass sich die Wirkung mit der Schulung und Anzeige-Freischaltung für die restlichen Lokführer/innen sowie mit verbesserter Übung und Anwendungspraxis noch erhöhen wird. Zudem sind die ersten Auswertungen nur bedingt aussagekräftig. Verbindlichere Wirkungsaussagen werden erst im Verlauf der nächsten Monate gemacht werden können.

4.1.3.5. Wirkungsevaluationen ab 2021

Die bereits präsentierten Evaluationsergebnisse wurden um die Monate November und Dezember 2020 sowie die ersten beiden Quartale 2021 ergänzt. In der untenstehenden Grafik wurden die Daten aus den ersten beiden Quartalen 2021 mit jenen aus dem Jahr 2020 verglichen. Die Daten beziehen sich

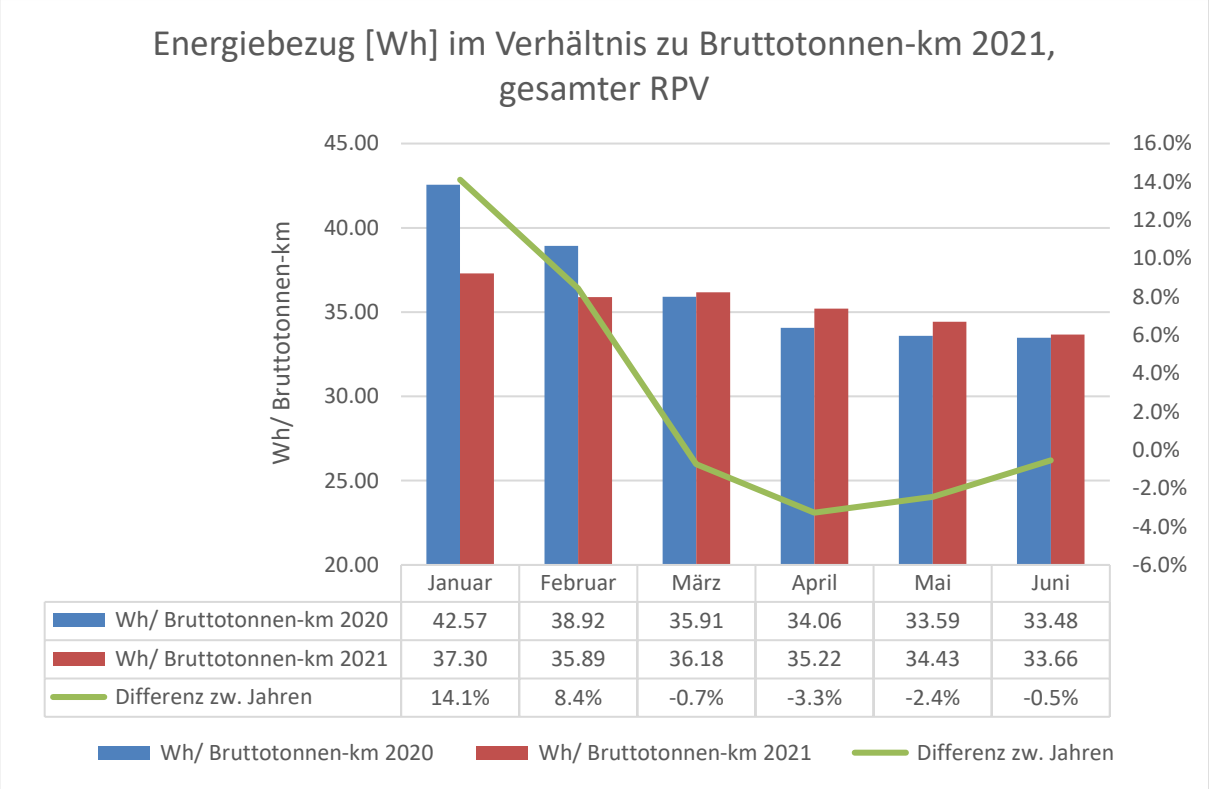


Abbildung 15 Energiebezug pro Bruttotonnen-km 2021, Grafik und Daten BLS AG

Juni

Linien	Bruttotonnen-km/ kWh 2020	Bruttotonnen-km/ kWh 2021	Differenz
S4 (TH-BDF-LN)	27.11	28.67	+5.8%
S1 (TH-FRI)	30.27	31.95	+5.6%
S2 (LN-LPN)	22.89	23.81	+4.0%
S3 (BI-BP)	32.10	33.07	+3.0%
S51 (BN-BNB)	25.12	32.81	+30.6%
S5 (BN-NE/MRT-(AV-PAY))	27.86	29.03	+4.2%
S6 (BN-SCBG)	33.17	22.69	-31.6%
S52 (BN-KZ-(INS))	23.03	24.99	+8.5%
S31 (BP-MUEB-(BI))	33.18	33.46	+0.9%
S44 (TH-BDF-SO/SWG)	30.98	31.55	+1.8%
RE BN-LZ	33.32	38.34	+15.1%
S6 LU (LN-LZ)	29.65	33.74	+13.8%
RE ZW-SP-IO	27.61	26.64	-3.5%
R ZW-SP	28.44	33.04	+16.2%
R SP-FR	26.89	38.79	+44.3%
S77 LU (LZ-WSAU)	32.59	32.02	-1.8%
RE BN-BR	28.01	30.90	+10.4%
R SP-IO	38.12	35.41	-7.1%
R KZ-LY	55.20	26.61	-51.8%
S7 LU	29.02	30.51	+5.1%
R SO-BDF-TH	28.19	25.95	-8.0%
R LY-BUER	30.68	22.84	-25.5%
R BDF-HA-TH	26.48	24.21	-8.6%
Gesamt RPV	**28.86**	**29.70**	**2.9%**

Tabelle 1 Überblick über ausgewählte Linien BLS RPV

auf die Züge des regionalen Personenverkehrs, der Fernverkehr ist nicht enthalten. Über alle betrachteten Monate zeigt sich eine leicht negative Differenz, bei einer Eingrenzung auf die relevantesten Linien eine leicht positive Differenz zu den Vorjahreswerten (höherer Stromverbrauch im Jahr 2021 gegenüber den Vorjahreswerten). Einzelne Linien mit gleichgebliebenem Fahrzeugeinsatz weisen eine positive Bilanz auf, im Umfang zwischen 5%-7% durchschnittlich. Zur Veranschaulichung einzelner Linien dient die nebenstehende Tabelle mit ausgewählten Werten vom Juni 2020 und 2021.

4.2. Plusfunktionalitäten

Die BLS hat im Rahmen der sogenannten «Plusfunktionalitäten» zusätzlich zur Einführung der statischen Fahrprofilinformationen folgende zwei Ansätze verfolgt, die in den nachfolgenden Unterkapiteln näher beschrieben werden:

c) Verspätungsanzeige: Entwicklung eines Prototyps zur verbesserten Zeitüberwachung an den Haltepunkten
d) Ausroll-Fahrprofile: Berechnung von Ausroll-Fahrprofilen für die nicht-rekuperationsfähigen RBDe 565 / 566 II Kompositionen

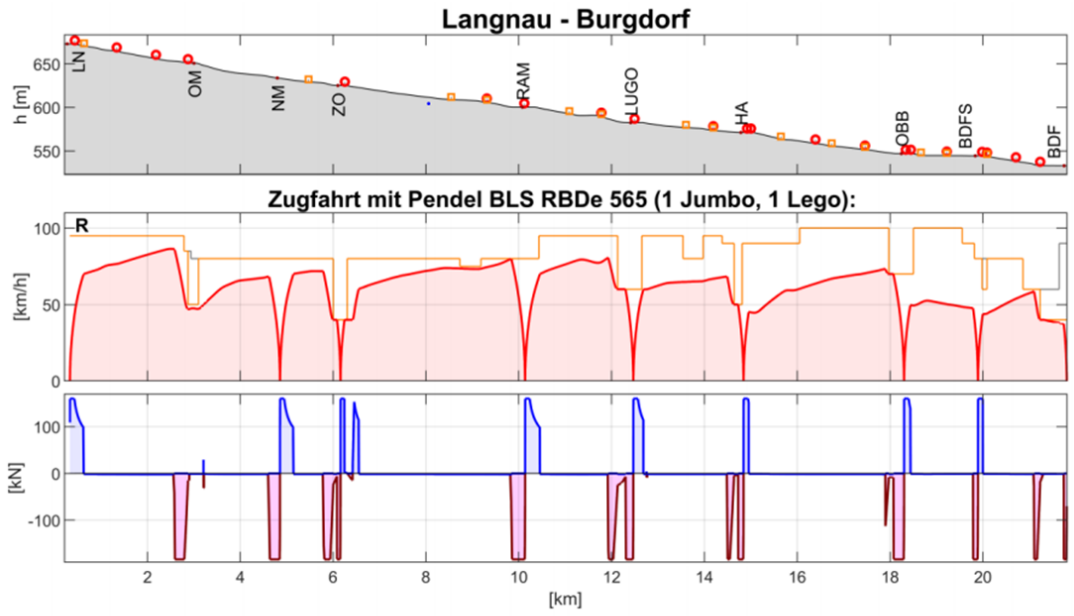
4.2.1. Verspätungsanzeige

Im Rahmen des Projekts wurde eine «GPS-basierte Echtzeit-Verspätungsanzeige» geprüft und mittels einer einfachen Prototyp-App entwickelt und getestet. Das Vorgehen sowie auch die Ergebnisse wurden in einem separaten Bericht festgehalten, der in Anhang 1 aufgeführt ist.

4.2.2. Ausroll-Fahrprofile für RBDe 565 / 566 II

Die BLS verfügt im Personenverkehr aktuell über eine Flotte von 34 RBDe 565 / 566 II Kompositionen, die keine Energie rekuperieren können und entsprechend einen sehr hohen Nettoenergieverbrauch aufweisen. Die von SBB-I berechneten statischen Fahrprofile sind für moderne Triebzüge ausgelegt (Fahren von konstanten reduzierten Geschwindigkeiten) und beinhalten keine Ausrollphasen – entsprechend ist die 1:1-Umsetzung der Fahrprofile bei RBDe-Fahrten nicht optimal sondern diesen müssen in Ausroll-Fahrprofile übersetzt werden.

Aufgrund der nur noch kurzen Rest-Einsatzzeit der RBDe-Flotte (bis ca. 2024/2025) wurde darauf verzichtet, sie bei der RCS-seitigen Fahrprofilberechnung speziell zu berücksichtigen. Hingegen wurde das Ingenieurbüro emkamatik GmbH beauftragt, für die wichtigsten RBDe-Strecken (S2, S4, S52) Muster-Ausroll-Fahrprofile basierend auf denselben Zeiten (Einhaltung der betrieblichen Zeiten an den Fahrplan-Fixpunkten) abzuleiten. Nachfolgend wird exemplarisch als Auszug das Fahrprofil auf der S4 zwischen Langnau und Burgdorf gezeigt:



Empfehlungen Langnau – Burgdorf	
LN – OM	Beschleunigen auf 70 km/h, dann Z = 0
OM – NM	Nach Bremsung auf 50 km/h für Durchfahrt OM Z = 0 lassen
NM – ZO	Beschleunigen auf 70 km/h, dann Z = 0
ZO – RAM	Beschleunigen auf 60 km/h, dann Z = 0
RAM – LUGO	Beschleunigen auf 70 km/h, dann Z = 0
LUGO – HA	Beschleunigen auf 60 km/h, dann Z = 0
HA – OBB	Beschleunigen auf 45 km/h, dann Z = 0
OBB – BDFS	Beschleunigen auf 50 km/h, dann Z = 0
BDFS – BDF	Beschleunigen auf 45 km/h, dann Z = 0

Abbildung 16: Ausrollfahrprofil und Fahrempfehlungen für die S4 Teilstrecke Langnau Burgdorf. Quelle: emkamatik GmbH

Die Musterfahrprofile wurden zuerst im Rahmen von einzelnen begleiteten Testfahrten und danach durch Testlokführer im Rahmen von unbegleiteten Fahrten getestet. Dabei zeigte sich, dass die Fahrprofile sehr gut modelliert sind und auch in der Realität so umgesetzt werden können. Aufgrund spezifischer Rückmeldungen wurden die Fahrprofile in einem zweiten Schritt nochmals leicht angepasst / optimiert und per Anfang April 2020 (Start der Lokführer-Schulungen) neu berechnet. Die Musterfahrprofile wurden dem Lokpersonal in einem elektronischen Dokument zur Verfügung gestellt und in der Schulung thematisiert. Mit dieser Unterstützung können die Lokführer/innen die statischen Fahrprofilinformationen zielgerichteter in RBDe-spezifische Ausrollfahrprofile übersetzen und damit auch auf den von RBDe-Fahrzeugen befahrenen Linien das Energieoptimum herausholen.

5. Diskussion

Die ersten Evaluationsergebnisse bestätigen zwar eine positive Wirkung des Projekts, diese bleibt aber (noch) deutlich unter der ursprünglich angestrebten Wirkung. Auch wenn die Resultate bedingt aussagekräftig sind und weitere Evaluationen in den nächsten Monaten für eine verbindliche Wirkungsabschätzung abgewartet werden müssen, dürfte die Zielerreichung von -5.5% Energieeinsparung ambitiös sein. Damit zeigt sich, dass das Übertragen einer pilotierten Idee (Pilotprojekt im Jahr 2017, vgl. Dokument [1] in ein produktives System und einen flächendeckenden Betrieb herausfordernd ist:

- Während das Fahrprofil im Pilotprojekt manuell für eine spezifische Strecke aufbereitet und optimiert wurde, erfolgt die Fahrprofil-Berechnung nun Algorithmus-basiert und täglich neu für alle Züge. Damit können spezifische Einzelfall-Situationen nicht mehr berücksichtigt werden und es gibt punktuell eco-Geschwindigkeiten, die für die Lokführenden nicht direkt nachvollziehbar sind und als nicht optimal eingeschätzt werden. Teilweise werden auch Unschönheiten im betrieblichen Fahrplan offenbar, die jedoch nicht im Einflussbereich des Projekts liegen. Im Hinblick auf die Erreichung einer möglichst hohen Akzeptanz stellt die Fahrprofil-Qualität deshalb eine wesentliche Herausforderung dar.
- Im Rahmen der technischen Entwicklungen der Fahranzeige in LOPAS sind einige Stolpersteine aufgetreten, die im Vorfeld nicht so erwartet wurden. Gewisse Eingriffe in den Programmcode – z.B. bezüglich der Scrolling-Logik – haben unerwartete Folgeeffekte ausgelöst. Dies hat einen relativ hohen Testaufwand generiert und durch zusätzlich notwendiges bugfixing zu Zeitverzögerungen geführt. Im ersten LOPAS-Release-Versuch funktionierte zudem die Übertragung der in der Test- und Integrationsumgebung entwickelten Software-Änderungen in die produktive Umgebung nicht wie gewünscht. Diese technischen Probleme und damit verbundenen Zeitverzögerungen werfen einen Schatten über das Projekt und haben einen negativen Einfluss auf die Akzeptanz des Lokpersonals.
- Diese beiden Punkte bestätigen die Wichtigkeit einer guten Kommunikation und Schulung, welche auftretende Schwierigkeiten auffangen und ein gutes System-Verständnis bei den Anwendern schaffen muss (dies hat die BLS bei der Einführung des Systems ADL etwas verpasst). Dies wurde vom Projekt von Beginn an so verfolgt. Aber auch hier gab es Herausforderungen, die den Projektverlauf negativ tangierten: Aufgrund der Corona-Situation musste ein sorgfältig erarbeitetes 3-stündiges Präsenz-Seminar innert weniger Tage in ein 90-minütiges online-Webinar überführt werden. Bei den Webinar-Durchführungen gab es immer wieder technische Probleme, weil die Webinar-Teilnahme über das Lokführer-Tablet nicht stabil funktionierte. Zudem ist es für einen Referenten in einem Webinar schwierig, die Teilnehmer zu spüren und persönlich auf sie einzugehen – etwas, das bei einem Sensibilisierungs-Thema wie Energiesparen sehr wichtig ist.

Diese Herausforderungen sollen aber nicht darüber hinwegtäuschen, dass das Projekt grundsätzlich erfolgreich umgesetzt werden konnte und sich der gewählte Vorgehens-Ansatz («lowtech»-Lösung, iteratives partizipatives Vorgehen) als richtig erwies.

6. Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Die statischen Fahrprofilinformationen bieten eine gute Unterstützung im planmässig verkehrenden Personenverkehr. Im Hinblick auf einen präziseren und energiesparenden Güterverkehr und einen Kapazitäts-optimalen Betrieb im Abweichungsfall sind jedoch zwingend weitere Schritte notwendig, die über die Möglichkeiten des heutigen Systems ADL hinaus gehen.

Angeknüpft an die Aussagen im vorherigen Kapitel zeigte das Projekt auf, dass der Ausbau der tabellarisch aufgebauten Fahranzeige langsam, aber sicher an seine technischen und ergonomischen Grenzen stösst. Will man zukünftig weitere Schritte in Sachen Fahrassistenz machen (z.B. Echtzeit-Pünktlichkeitsanzeige oder laufende Übermittlung von dynamisch berechneten Fahrprofilen), wird man um eine grundsätzliche Neugestaltung der Anzeige unter verstärkter Nutzung von grafischen Elementen und GPS-/Ortungsinformationen nicht mehr herumkommen. Nur so wird es möglich sein, weiterhin eine gute Übersichtlichkeit zu gewährleisten und den Lokführern ein zeitgemässes, präzises und attraktives Arbeitsinstrument zur Verfügung zu stellen. Das Projektteam hält es für wichtig, diesen Weg einzuschlagen.

Auch wenn die Reise in Richtung einer dynamischeren und präziseren «Lenkung» des Lokpersonals geht, müssen diese Lösungen die Stärken und Bedürfnisse des Faktors Mensch berücksichtigen und ihn in die Lösungserarbeitung einbinden. Ein gutes Fahrassistenzsystem wird und kann den Lokführern nicht eine Fahrweise aufzwingen, sondern stellt ihnen die richtigen Informationen zur richtigen Zeit in der richtigen Darstellung zur Verfügung, so sie ihre Fahrweise aus eigener Motivation und Überzeugung darauf ausrichten. Dies muss auch bei zukünftigen Projekten im Bereich Fahrassistenz im Zentrum stehen.

Symbol- und Abkürzungsverzeichnis

ADL	Adaptive Lenkung: heutiges RCS-basiertes System, das Dispositionsentscheide in entsprechende Handlungsanweisungen / ADL-Meldungen übersetzt und ans Lokpersonal ausgibt
FDV	Fahrdienstvorschriften
LOPAS	Lokpersonal-Assistent: Tablet-basierte Software mit Dienst- und Fahrinformationen für das BLS Lokpersonal
RCS	Rail Control System
RPV	Regionaler Personenverkehr

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Teilprojekte und Arbeitspakete 4

Abbildung 2: Neu gestaltete LOPAS-Fahranzeige für Personenverkehrszüge 5

Abbildung 3: Häufigkeitsverteilung der Ankunftspünktlichkeit (Differenz zu den betrieblichen Fahrplanzeiten, in Sekunden) an den betrieblichen Fixpunkten, im Vergleich zwischen eco-Fahrten und Vergleichsfahrten 5

Abbildung 4: Vergleich des spezifischen Energiebedarfs der «eco»-Fahrten zu den Vergleichsfahrten auf mit RABe515 befahrenen Linien (Auswahl) 6

Abbildung 5: Bilder der Prototyp-App 6

Abbildung 6: Übersicht über die Teilprojekte und Arbeitspakete 11

Abbildung 7: Fotos der drei im Pilotprojekt 2017 getesteten Systeme. Links die statischen Fahrprofil-Informationen auf Papier, rechts die beiden Tablet-basierten Fahrassistenzsysteme. 12

Abbildung 8: Projektvorgehen 13

Abbildung 9: neue angepasste Fahranzeige in LOPAS (für Personenverkehrszüge) 14

Abbildung 10: Häufigkeitsverteilung der Ankunftspünktlichkeit (Differenz zu den betrieblichen Fahrplanzeiten) an den betrieblichen Fixpunkten, im Vergleich zwischen Fahrten mit und ohne die statischen Fahrprofilinformationen 15

Abbildung 11: Differenz des Energieverbrauchs (Median) von den eco- zu den baseline-Fahrten 16

Abbildung 12: Energieverbrauchs-Entwicklung auf der S1, unterteilt nach Hauptverkehrszeit und Nebenverkehrszeit 17

Abbildung 13: Veränderung der spezifischen Energieverbräuche (Wh/Btkm) gegenüber dem Vorjahr, für die wichtigsten Kompositionen je Linie/Teillinie 18

Abbildung 14: Ausrollfahrprofil und Fahrempfehlungen für die S4 Teilstrecke Langnau Burgdorf. Quelle: emkamatik GmbH 20

Literaturverzeichnis

[1] Studer T., Schlussbericht Pilotversuch energiesparende Fahrweise: Versuchsfahrten mit drei Fahrassistenzsystemen [EsöV2050 Projekt 047], BLS AG, Dez. 2017.

[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] Tuchschmid M., Schlussbericht Projekt «Entwicklung und Betriebstest Fahrempfehlungssystem: Aktualisierte Fahrlagen (Güterverkehr) und vPRO (Personenverkehr) [EsöV2050 Projekt 132], SBB AG, Sept. 2020.

[4] Marktüberblick Fahrerassistenzsysteme, Zwischenbericht der MRK Management Consultants GmbH im Auftrag der Allianz pro Schiene, 2018. (https://www.allianz-pro-schiene.de/wp-content/uploads/2018/05/Marktrecherche-Fahr-umwelt-bewusst_v15.pdf)

Anhang 1: Verspätungsanzeige

Abschlussbericht

12.2.2020, T. Studer / M. Luginbühl / A. Marti

1. Ausgangslage und Idee

Im Rahmen des Projekts Slackline wurde das Projektteam beauftragt, eine sogenannte «Plusfunktionalität» zu den statischen Fahrempfehlungen für energiesparendes Fahren im Personenverkehr zu prüfen und mittels Prototyp zu testen.

Bei der Plusfunktionalität handelt es sich gemäss Slackline Projektauftrag um eine «GPS- und Bewegungssensor- basierte Echtzeit-Verspätungsanzeige». Diese Plusfunktionalität soll im Rahmen des Projekts Slackline Prototyp-mässig getestet werden und daraus eine Umsetzungsempfehlung erarbeitet werden. Eine allfällige Umsetzung selbst ist nicht im Scope des Projekts Slackline, da sie erst im Nachgang zu einer technischen Sanierung der LOPAS App und damit frühestens ab Ende 2020 sinnvoll möglich ist.

Die Idee dafür entstammt aus der Studienphase des Projekts Slackline. Durch das zusätzliche Anzeigen von betrieblichen Zeiten nimmt die Anzahl der Zeiten zu, die es zu überwachen gilt – und damit auch die Komplexität. Durch eine Verspätungs-Anzeige müsste das Lokpersonal nicht mehr manuell verschiedene Zeiten miteinander vergleichen und im Kopf das Delta ableiten, sondern würde auf einen Blick sehen, wie es zeitlich auf Kurs ist. Zudem ergeben sich mit der dafür notwendigen Nutzung von Positionierungsdaten auch Synergien für andere Funktionalitäten wie z.B. Anzeige-Scrolling (GPS-Scrolling anstelle des heutigen Zeitscrollings, das bei Abweichung von den geplanten Zeiten nicht optimal ist).

Eine Echtzeit-Verspätungsanzeige hat also das Potenzial, das Lokpersonal punkto Zeitüberwachung zu entlasten und damit gleichzeitig auch zu einer höheren Pünktlichkeit und Genauigkeit beim Fahren beizutragen. Eine Verspätungsanzeige existiert z.B. bereits bei zahlreichen Busbetrieben. Die Idee wurde durch verschiedene Lokführer, die an Workshops oder später auch Slackline-Testfahrten beteiligt waren, geäussert.

2. Gewähltes Vorgehen

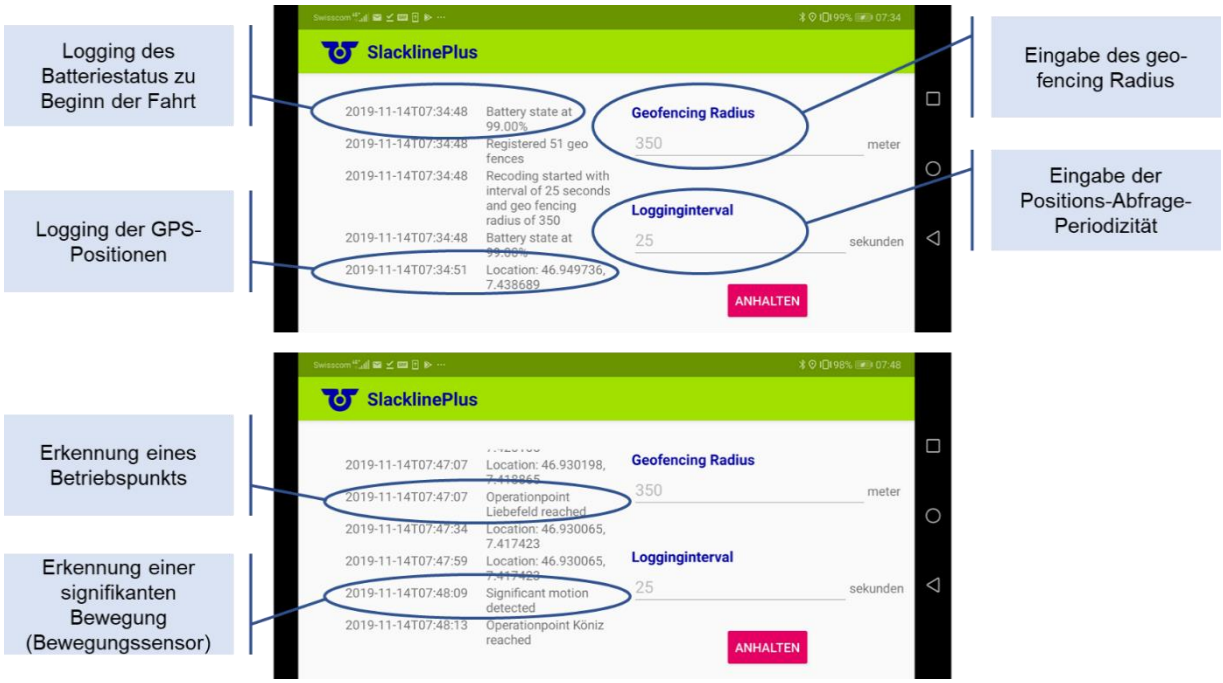
Es wurde folgendes iteratives Vorgehen gewählt:

1. Erarbeitung der Anforderungen an einen Prototyp 1 (Haltepunkt-Erkennung mittels GPS geofencing und Ansteuerung des Bewegungssensors des Tablets) durch IT-PL und PL (Luginbühl/Studer)
2. Technische Umsetzung des Prototyps 1 im Rahmen einer einfachen Slackline Plus App (auf Android-Basis).
3. Testing des Prototyps 1 durch das Projektteam (Studer/Luginbühl/Schwarzentrub) im Fahrgastraum auf den Linien S1, S6 und S44. Ableitung eines geeigneten Radius für das geofencing sowie einer idealen GPS-Positionierungs-Abfrage-Periodizität, die eine rechtzeitige Haltepunkt-Erkennung bei minimalem Batterieverbrauch des Tablets ermöglicht.
4. Erarbeitung der Anforderungen an einen Prototyp 2 (Verspätungsanzeige basierend auf der GPS-Halteerkennung) durch IT-PL und PL (Luginbühl/Studer) in Absprache mit den Fachverantwortlichen (Marti/Straubhaar).
5. Technische Umsetzung des Prototyps 2 basierend auf dem Grundgerüst des Prototyps 1 (einfache Slackline Plus App auf Android-Basis).
6. Testing des Prototyps 2 durch das Projektteam (Studer/Luginbühl) auf einzelnen begleiteten Fahrten im Führerstand mit ausgewählten Testlokführern (Schopfer, Hofer, Dähler), von denen auch Videos gemacht wurden.
7. Präsentation des Prototyps 2 (mittels Video) im Rahmen des Fachausschuss Lokpersonal (FA-LP) am 6. Dezember 2020 mit anschliessender Diskussion.

3. Erarbeitete Prototypen

3.1. Prototyp 1 (Halteerkennung)

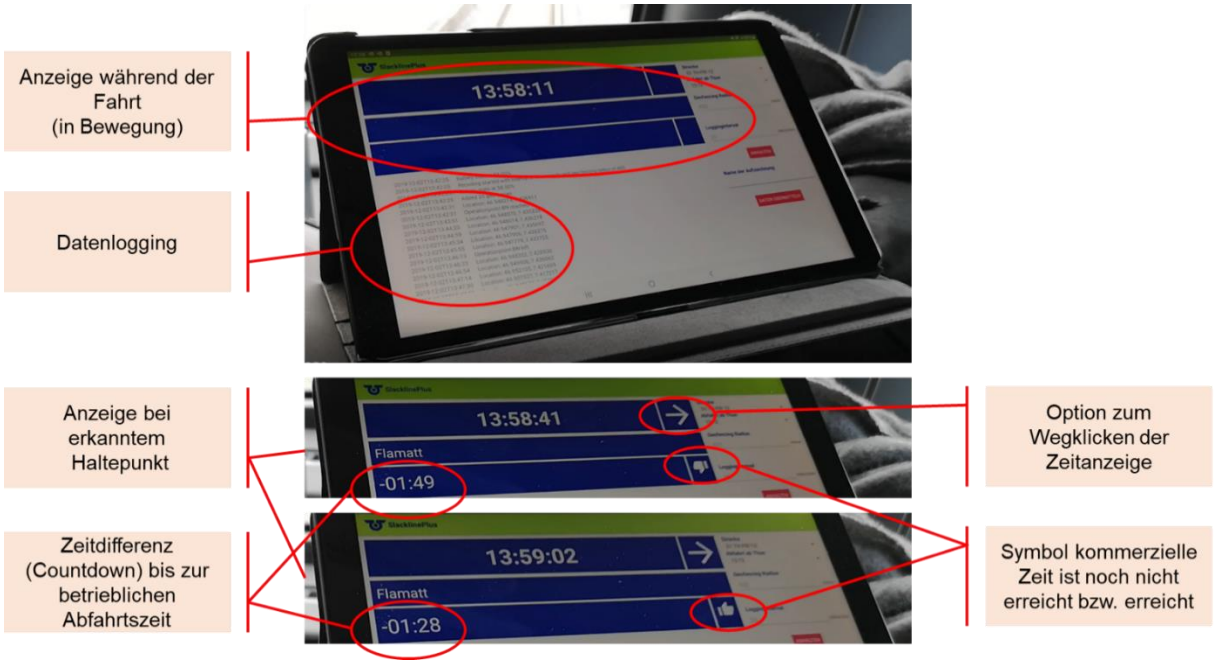
Nachfolgend zwei Screenshots des realisierten Prototyps 1 inkl. Erläuterung der auf dem Screenshot gezeigten Elemente:



Die im Rahmen der durchgeführten Fahrten aufgezeichneten Daten wurden einerseits direkt am Bildschirm ausgegeben und andererseits mittels eines Logfiles zu Ende der Fahrt an einen Server geschickt, um weitere Auswertungen zu ermöglichen.

3.2. Prototyp 2 (Halteerkennung)

Nachfolgend drei Bilder des realisierten Prototyps 2 inkl. Erläuterung der auf dem Screen gezeigten Elemente:



Einzelne Testfahrten wurden zudem auch auf Video festgehalten.

4. Gewonnene Erkenntnisse

4.1. Technische Aspekte

Im Rahmen der Prototypen-Umsetzung und der Testings konnten folgende Erkenntnisse gewonnen werden:

- Eine Halteerkennung basierend auf GPS-geofencing-Ansatz ist technisch relativ einfach umsetzbar und funktioniert gut in der Praxis. Die Testfahrten haben gezeigt, dass die Kombination aus 350-400m Radius und einer Abfrageperiodizität von 20-25 Sekunden eine gute Einstellung ist, um den Halt jeweils kurz vor dem physischen Halt des Fahrzeugs zu erkennen und die Batterie des mobilen Geräts möglichst wenig zu beanspruchen. Der Fokus lag auf der Erkennung von Haltepunkten. Die Tests haben aber gezeigt, dass in der Regel auch Durchfahrts-Betriebspunkte selbst bei relativ hohen Geschwindigkeiten erkannt werden. Es hat sich aber auch gezeigt, dass das Ansteuern des Bewegungssensors sehr schwierig ist und hierfür deutlich mehr Entwicklungs- wie auch Testaufwand benötigt würde, um geeignete Einstellungen zu finden, die verlässlich funktionieren und gleichzeitig nicht zu oft Fehlanzeigen produzieren. Im Rahmen des Prototyps 2 wurde dieser Ansatz deshalb nicht mehr weiterverfolgt.
- Die Tests haben gezeigt, dass die Einstellungen Geräte-sensibel sind. D.h. die gleichen Einstellungen liefern auf unterschiedlichen Geräten (z.B. Samsung Tablet A vs. Huawei Smartphone P20 Pro) unterschiedliche Ergebnisse. Des Weiteren wird die Abfrageperiodizität nicht alleine durch den eingegebenen Wert (Logging-Intervall), sondern auch durch Android-Prozesse im Hintergrund beeinflusst.

4.2. Beurteilung durch das Lokpersonal

- Der Prototyp 2 zeigte, dass die Verspätungsanzeige Potenzial hat, die Komplexität in der Anzeige verschiedener Zeiten (kommerzielle Fahrplanzeit, betriebliche Fahrplanzeit, Uhrzeit) zu verringern. Die Verspätungsanzeige zeigt nicht nur auf einen Blick die zeitliche Differenz zwischen geplanter (betrieblicher) Zeit und aktueller Uhrzeit, sondern sie kann mittels Symbolik auch die zusätzliche Angabe der kommerziellen Fahrplanzeit ersetzen (um zu verhindern, dass ein Lokführer nicht früher abfährt als gegenüber den Kunden angekündigt).
- Der Prototyp 2 zeigte aber auch, dass es etwas verwirrlich ist, eine «Echtzeit»-Verspätungsanzeige basierend auf der Differenz zu einer geplanten Zeit auszugeben, die in der Praxis (im Verspätungs-/Abweichungsfall) gar nicht mehr relevant ist. Zurzeit ist aber die Basis für eine Zeitdifferenz-Angabe zur effektiv (disponierten) Produktionszeit noch nicht gegeben.
- Während die mit dem Prototyp 2 in Berührung kommenden Testlokführer die Idee der Verspätungsanzeige durchaus begrüssten, war die Haltung der Mehrheit der Mitglieder des Fachausschuss Lokpersonal kritischer. Einerseits zeigte sich, dass es sehr stark auf die konkrete Ausgestaltung der Anzeige ankommt (Vorsicht mit Farben rot und grün sowie auch mit Symbolen – diese dürfen nicht zu stark ein «go»-Signal geben, da letztendlich die Aussensignale ausschlaggebend sind). Zudem vertraten einige Mitglieder des FA-LP die Meinung, dass eine Verspätungsanzeige in Verbindung mit der heutigen Anzeige die Komplexität und Ablenkungsgefahr eher erhöht als reduziert, weil die bestehenden Zeiten nicht einfach aus der Anzeige rausgenommen werden können. Sie zeigten aber Offenheit, die Funktionalität einer Verspätungsanzeige im Rahmen einer grundsätzlichen Überarbeitung der Lokführer-Anzeige zu prüfen – in einem solchen zukünftigen Kontext könne die Funktion durchaus sinnvoll sein.

5. Schlussfolgerungen und Empfehlung

5.1. Vorgehensvarianten

Das Projektteam sieht grundsätzlich folgende möglichen Vorgehensvarianten:

a) Verzicht auf ein Weiterverfolgen der Idee Verspätungsanzeige

b) Baldmögliche Umsetzung als unterstützendes Element zu den statischen Fahrempfehlungen im Personenverkehr
c) Proaktive Weiterverfolgung im Rahmen des Projekts «ADL4.0» (dynamische Fahrassistenz), das eine grundsätzliche Überarbeitung der Lokführer-Anzeige beinhaltet.

5.2. Empfehlung

Das Projektteam empfiehlt, die Idee Verspätungsanzeige aufgrund der positiven gesammelten Ergebnisse unbedingt weiter zu verfolgen. Aufgrund der Rückmeldungen aus dem FA-LP sowie den möglichen Synergien zu den Smartrail4.0-Arbeiten (ADL4.0 & Warnfunktion Rangier) wird die proaktive Weiterverfolgung im Rahmen des Projekts ADL4.0 (Vorgehensvariante c) empfohlen und dies aus folgenden Gründen:

- Die Arbeiten haben gezeigt, dass der gewählte technische Ansatz relativ einfach umsetzbar ist und in der Praxis funktioniert. Natürlich ist sich das Projektteam bewusst, dass der Prototyp sehr einfach war und noch verschiedene Detailfragen zu lösen wären (z.B. Sicherstellen, dass die Verspätungsanzeige wirklich nur während des effektiven Halts und nicht während der Fahrt angezeigt wird) – es ist derzeit noch unklar, ob dies ohne Nutzung der Bewegungssensordaten möglich ist.
- Eine Umsetzung der Verspätungsanzeige im Rahmen der statischen Fahrempfehlungen im Personenverkehr hätte das Risiko, eine gute Idee aufgrund ungünstiger Rahmenbedingungen (Zeitdifferenz-Berechnung kann nur in Bezug auf eine geplante Zeit gemacht werden, Anzeige muss auf die heutige tabellarische Anzeige «aufgepfropft» werden) zu Fall zu bringen. Es ist davon auszugehen, dass eine Verspätungsanzeige im heutigen Anzeige-Kontext einen sehr schwierigen Stand in Sachen Akzeptanz beim Lokpersonal hätte.
- Die Rückmeldungen der mit der Idee konfrontierten Lokführer sind jedoch genügend positiv, um die Idee im Rahmen des Projekts ADL4.0 vertieft anzuschauen. Die Lokführer sehen durchaus, dass die Idee das Potenzial hat, die Anzahl der in der Anzeige gezeigten Zeiten zu reduzieren und damit Komplexität aus der Anzeige rauszunehmen. Dies muss jedoch im Kontext einer gesamtheitlich neu gedachten Anzeige erfolgen, die sich aus ergonomischer Sicht wahrscheinlich von einer textlichen / tabellarischen Darstellung tendenziell hin zu einer grafischen Darstellung entwickeln wird.
- Im Smartrail4.0-Kontext wird zukünftig aus verschiedenen Gründen die Nutzung von Zugbewegungs- (Zug steht/Zug rollt) bzw. Positionierungsdaten angestrebt, sei es im Rahmen von ADL4.0 oder Warnfunktion Rangier. Die im Rahmen von Slackline Plus gemachten Erfahrungen weisen Synergien zu diesen Fragestellungen auf und die entsprechenden Arbeiten sollten deshalb zusammengeführt werden.
- Die BLS hat sich dazu bekannt, aktiv in Smartrail 4.0 und insbesondere auch in den Projekten ADL4.0 und Warnfunktion Rangier mitzuarbeiten. Die BLS soll dabei ihre Vorteile nutzen (Agilität im raschen Realisieren und Testen neuer Funktionalitäten sowie Offenheit des Personals, Neues auszuprobieren) und die Idee der Verspätungsanzeige frühzeitig im Rahmen sogenannter ADL4.0 «Livetests» verfeinern.