



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)

Spezifikation und Test des Energiesparpakets FLIRT

Schlussbericht

Johannes Estermann
SBB Schweizerische Bundesbahnen AG
Wylstrasse 125 · 3000 Bern 65 · Schweiz
johannes.estermann@sbb.ch, www.sbb.ch

Begleitgruppe

BAV: Walter Josi, Tristan Chevroulet, Stefan Schnell, Daniel Schaller (PO).

SBB: Ueli Kramer, Matthias Tuchs Schmid, Mirco Maiolatesi, Emanuel Thoma, Roger Schmid.

Impressum

Herausgeberin:

Bundesamt für Verkehr BAV

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

CH-3003 Bern

Programmleiter

Tristan Chevroulet, BAV

Projektnummer: 78

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 02.04.2020

Inhaltsverzeichnis

1.	Ausgangslage	6
2.	Ziele der Arbeit	6
3.	Forschungsansatz und aktueller Wissensstand	7
4.	Ergebnisse	8
4.4.	Verbesserungen der Traktion	8
4.5.	Verbesserungen der Fahrzeugbedienung	8
4.6.	Verbesserungen der Abstellung	8
4.7.	Kooperation der EVU	9
4.8.	Projektdurchführung	10
5.	Diskussion	11
6.	Schlussfolgerungen und Empfehlungen	14
2.	Objectifs du projet	15
4.4.	Coopération entre les ETF	15
6.	Conclusions et recommandations	16
7.	Symbol- und Abkürzungsverzeichnis	17
8.	Anhang	17

Executive Summary in Deutsch

Für die FLIRT Züge der SBB, SOB, tpf und transN wurden wirtschaftlich umsetzbare Energieeffizienzmassnahmen der Machbarkeitsstudie [1] unter der Leitung der SBB entwickelt und spezifiziert. Um die Massnahmen auf den unterschiedlichen FLIRT Zügen der Betreiber umsetzen zu können, wurde eine Leittechniksoftware so spezifiziert, dass zunächst eine einheitliche Basissoftware für die Fahrzeugen aller beteiligten Betreiber entwickelt wurde. Diese kann auf die Anforderungen der jeweiligen Teilflotte angepasst werden. Zunächst wurde die Basissoftware für Teilflotten der SBB angepasst, durch die SBB wurden Typentests und Probefahrten durchgeführt.

Auf Messfahrten wurde eine Energieeinsparung von ca. 2 Wh/Btkm durch Traktions- und Fahrzeugbedienungs-Optimierungen nachgewiesen, was etwa 6.2 % des Gesamtenergieverbrauchs entspricht. Die Auswertung der Verbesserungen in der Abstellung / Parkstellung konnte bisher nicht durchgeführt werden, eine weitere Effizienzsteigerung wird erwarten.

Damit können die genannten Betreiber von FLIRT Fahrzeugen der Schweiz von diesem Verbesserungspaket profitieren.

Résumé en français

Sous la direction des CFF, diverses mesures d'efficacité énergétique définies dans l'étude de faisabilité [1] ont été développées, puis spécifiées pour les rames FLIRT des CFF, du SOB, des TPF et de transN dans un souci de rentabilité économique. Pour permettre la mise en œuvre optimale de ces mesures, une version de base du logiciel de technique de commande a été conçue pour les véhicules de tous les exploitants impliqués. Celle-ci pourra ensuite être adaptée aux exigences de chaque flotte. Dans un premier temps, le logiciel de base a été modifié pour des flottes partielles des CFF. Ces derniers ont réalisé divers essais de type et d'exploitation.

Les courses de mesure ont permis d'identifier un potentiel d'économie énergétique d'environ 2 Wh/t-km brute grâce à la traction et à la commande optimisées des véhicules, ce qui correspond à 6,2% de la consommation d'énergie totale. À ce jour, il n'a pas encore été possible d'évaluer les améliorations en stationnement et en position «Parc», mais on attend, là aussi, une hausse de l'efficacité.

Les exploitants suisses de véhicules FLIRT susmentionnés peuvent donc tirer profit de ce programme d'améliorations.

Executive summary in english

For the FLIRT trains of the SBB, SOB, tpf and transN, economically feasible energy efficiency measures of the feasibility study [1] were developed and specified under the direction of the SBB. In order to be able to implement the measures on the various FLIRT trains of the operators, a control system software was specified in such a way that a uniform basic software was first developed for the vehicles of all participating operators. This can be adapted to the requirements of the respective sub-fleet. First of all, the basic software was adapted for SBB's sub-fleets; SBB carried out type tests and trial operations.

During test runs, an energy saving of approx. 2 Wh/Btkm was proven through traction and vehicle operation optimisation, which corresponds to approx. 6.2 % of the total energy consumption. The evaluation of the improvements in the parking position could not be carried out so far, a further increase in efficiency is expected.

This means that the aforementioned operators of FLIRT vehicles in Switzerland can benefit from this improvement package.

Zusammenfassung in Deutsch

1. Ausgangslage

Die FLIRT-Triebfahrzeuge nehmen seit mehr als 10 Jahren eine wichtige Rolle im Regionalverkehr der Schweizer Bahnbetreiber ein. Auf bis zu 186 FLIRT-Fahrzeugen wird nun mit einem sogenannten Energiesparpaket die Leittechniksoftware optimiert.

Aufgrund der gestaffelten Beschaffung der Fahrzeuge über mehr als 10 Jahre unterscheiden sich die Fahrzeuge aus technischer Sicht teilweise deutlich.

Zur Nutzung von Synergien bei der Erstellung, Zulassung und Erprobung soll das Energiesparpaket unter der Leitung der SBB (148 Fahrzeuge) in Kooperation mit SOB (23 Fahrzeuge), transN (7 Fahrzeuge) und tpf (8 Fahrzeuge) umgesetzt werden.

Die Optimierungen der SBB FLIRT Triebzüge wird im Rahmen des Energiesparprogramms der SBB durchgeführt. Bis zum Jahr 2025 will die SBB ihren prognostizierten Jahresenergieverbrauch um rund 20 Prozent oder 600 Gigawattstunden pro Jahr reduzieren.

2. Ziele der Arbeit

Mit der Umsetzung des Projekts „Energiesparpaket FLIRT“ sollen die folgenden Ziele erreicht werden:

- Messbare Steigerung der Energieeffizienz der FLIRT-Fahrzeuge im Betrieb und in der Abstellung.

Im Rahmen dieses Projekts werden die folgenden Arbeitspakete umgesetzt.

- Aufbau und Koordination einer Kooperation zur Umsetzung des Energiesparpakets auf FLIRT-Triebzügen zwischen den Schweizer Eisenbahnverkehrsunternehmen SBB, SOB, tpf und transN.
- Erarbeitung einer Softwarespezifikation und Begleitung der Softwareerstellung durch die SBB.
- Durchführen und Auswerten einer Typentestphase der Software auf Prototypenfahrzeugen durch die SBB.
- Durchführen und Auswerten eines Probetriebs der Software auf Prototypenfahrzeugen durch die SBB.

Die Umsetzung des Energiesparpaketes bedingt die Erstellung von Fahrzeugsoftware, Änderungszulassungen für die betroffenen Länder und die Serienausrüstung der FLIRT-Triebzüge. Die Erstellung von Fahrzeugsoftware, Erwirkung von Änderungszulassungen und die Serienausrüstung sind jedoch aufgrund von Vorgaben der Projektleitung ESÖV des BAV nicht Teil dieser Projektförderung.

Tabelle 1: Übersicht der FLIRT-Fahrzeuge, Software-Versionen (Fahrzeugleitgerät «FLG»).

Eigentümer EVU	Ursprüngliche FLG-Version	FLG-Version nach Umsetzung des Softwarepakets	Name	Fahrzeugnummern	ETCS	Zulassungen	Typ Antriebsumrichter	Anzahl Fahrzeuge
SBB	F1	F1	Wiesental	521 001 - 012	nein	CH, DE	P1	12
			Seehas	521 201 - 209	nein	CH, DE	P1	9
			Basel (D)	521 029 - 030	nein	CH, DE	P1	2
			Basel	521 013 - 028	nein	CH, DE	P1	16
			Zug ohne ETCS	523 005 - 010	nein	CH	P1	6
			Zentral-CH	523 032 - 043	nein	CH	P1	12
SOB	F1b	Offen	FLIRT 1. Serie	526 041 - 051	nein	CH	P1	11
transN	F1c	Offen	transN	527 331 - 333	nein	CH	P1	3
SOB	F3b	Offen	FLIRT 2.Serie	526 052 – 063	nein	CH	P1	12
tpf	F3c	Offen	tpf	527 191 – 198	Ja	CH	P1	8
SBB	F2	F2	Zug mit ETCS	523 001 – 004 523 011 – 012	Ja	CH	P1	6
	F3	F4	RegiOlten I	523 044 - 056	nein	CH	P1	13
	F4a		Vaudois	523 013 - 031	ja	CH	P1	19
			RegiOlten II	523 057 - 065	ja	CH	P1	9
	F4b		RegiOlten II, mit Trockentrafo	523 066 - 073	ja	CH	P3	8
			transN	transN mit Trockentrafo	523 074 - 077	ja	CH	P3
SBB	F5	F5	TILO 4-tlg.	524 001 - 019	ja	CH, I	P2	19
	F6	F6	TILO 6-tlg.	524 101 - 117	ja	CH, I	P2	17

3. Forschungsansatz und aktueller Wissensstand

Im Rahmen einer vom BAV geförderten Machbarkeitsstudie [1] wurden verschiedene Energieeffizienzmassnahmen für den FLIRT untersucht. Gezeigt werden konnte, dass sich auch bei relativ modernen Triebfahrzeugen wie dem FLIRT die Energieeffizienz steigern lässt.

4. Ergebnisse

Die Software Energiesparpaket FLIRT beinhaltet wirtschaftlich umsetzbare Massnahmen der Bereiche Traktion, Fahrzeugbedienung und Abstellung, die in der Machbarkeitsstudie [1] identifiziert wurden.

4.4. Verbesserungen der Traktion

Die Untersuchungen der Machbarkeitsstudie [1] zeigten, dass die Zwischenkreisspannung des Antriebsumrichters noch relativ hoch ist und auch der Fahrmotorfluss optimiert werden kann. Das bisherige Pulsmuster des Antriebsumrichters wird durch das effizientere Flattop-Verfahren ersetzt. Damit wird die Fahrmotorspannung bei hoher Leistung erhöht, was eine effizientere Energieübertragung ermöglicht. Bei Stillstand des Zuges wird weder Leistung vom Traktionsstromrichter bezogen, noch wird Leistung durch Rekuperation zurückgespeist. Daher kann die Taktung des Netzstromrichters ausgeschaltet werden da der Zwischenkreis über die passiven Freilaufdioden des Netzstromrichters geladen wird. Auf den Fahrzeugen mit Italienzulassung werden die obigen Optimierungen nur innerhalb der Schweiz aktiviert.

Eine weitere wichtige Änderung ist die Einführung des Teillastbetriebs. In Abhängigkeit der geforderten Zugkraft werden nicht notwendige Fahrmotoren durch eine Taktsperre zeitweise abgetrennt, womit die Verlustleistung sinkt. Die geforderte Zugkraft wird durch die verbleibenden Fahrmotoren erzeugt.

Auf Grund hoher Zulassungsaufwände und damit verbundenen Risiken wird bei den Fahrzeugen mit Deutschlandzulassung auf eine Implementierung der Massnahmen im Bereich Traktion verzichtet.

4.5. Verbesserungen der Fahrzeugbedienung

Bereits durchgeführte Optimierungen von SBB Fahrzeugen wie dem DTZ oder dem ICN zeigen, dass auch in der Bedienung mit dem Fahrschalter noch Optimierungspotenzial schlummert. Beim FLIRT ist bisher sowohl beim Fahren als auch beim Bremsen die Zug- bzw. Bremskraft proportional zur Auslenkung des Fahrschalters geregelt. Das Lokpersonal konnte damit das Fahrzeug nur eingeschränkt energieoptimal steuern. Mit dem Energiesparpaket wird die heute auf einem FLIRT hinterlegte Kennlinie des Fahrschalters für Beschleunigung und Bremsen optimiert. Damit wird eine energetisch optimale Bedienung des Fahrzeugs durch das Lokpersonal ermöglicht.

Parallel zur Änderung der Fahrzeugsteuerung werden ausserhalb dieses Projekts weitere Rastpunkte im Fahrschalter bei ca. 75% Zugkraft bzw. 50% Bremskraft eingefügt. Damit bekommt das Lokpersonal haptische Rückmeldungen, wenn die Hebelstellung die energetisch optimalen Bereiche für Zug- und Bremskräfte überschreitet.

4.6. Verbesserungen der Abstellung

Der Schlummerbetrieb ist aus Sicht der Fahrzeugleittechnik ein Betriebszustand des abgestellten und nicht mit Passagieren besetzten Fahrzeugs. Das Einleiten und Verlassen des Schlummerbetriebs erfolgt durch die Fahrzeugleittechnik nach bestimmten Kriterien. Bisher wurde der

Schlumberbetrieb aktiviert, wenn das Fahrzeug 30 Min. in Parkstellung stand. Aufgrund von Erfahrungen aus anderen Projekten soll unter Berücksichtigung von weiteren Kriterien, wie z.B. der Fahrgastraumbeleuchtung diese Zeit verkürzt werden um zusätzliche Energie einzusparen. Die Ansteuerung der Stromrichter- und des Transformatorkühlung wird angepasst. Eine Erhöhung der Einschaltsschwelle führt zu einer Reduktion der Ventilationsdauer. Dadurch wird eine effektivere Kühlung erwartet, die weniger lang läuft.

Die Einschaltsschwelle der Druckluftversorgung wird neu während des Schlumberbetriebs auf 6 bar abgesenkt, von bisher 8 bar. Die Ausschaltsschwelle auf 9 bar gesenkt, von bisher 10 bar. Der mittlere Druck im System wird damit reduziert, entsprechend reduzieren sich auch die Luftverluste durch Leckagen. Zusätzlich werden allen FLIRT Fahrzeugen der SBB mit einem Überströmventil für den Bioreaktor ausgerüstet. Das Überströmventil trennt den Bioreaktor bei einem Druck von unter 8 bar pneumatisch ab. Dadurch wird der Druckluftverbrauch auf den Fahrzeugen in der Abstellung reduziert. Beide Optimierungen zusammen führen zu längerer Standzeit des Kompressors und helfen, die Lärmemission des Fahrzeugs in der Abstellung zu reduzieren.

4.7. Kooperation der EVU

Koordiniert durch die SBB sollen die Energieeffizienzmassnahmen auch auf den FLIRT-Fahrzeugen der SOB, tpf und transN umgesetzt werden. Positive Gespräche zwischen den Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU) haben stattgefunden und die gemeinsame Beschaffung der Software wurde besprochen.

Durch die Lieferantin wird eine Basissoftware entwickelt, welche die Änderungen über alle FLIRT Teilflotten aller Fahrzeugbetreiber identisch umsetzt. In einem zweiten Schritt muss für jede FLIRT Teilflotte eine fahrzeugspezifische Anpassung der Basissoftware erfolgen, welche die jeweiligen technischen Besonderheiten der Teilflotte berücksichtigt. Erst diese flottenspezifische Software kann auf dem jeweiligen Fahrzeugtyp eingesetzt werden.

Zwischen SBB, SOB, tpf und transN wurde im September 2016 vereinbart, die Einmalkosten der Basissoftwareentwicklung entsprechend der Anzahl Fahrzeuge je EVU aufzuteilen.

Zunächst bestellt die SBB die Softwareänderung für ihre Fahrzeuge.

Mit der Lieferantin wurde vereinbart, dass Einmalkosten für die Erstellung der Basissoftware und Teile der Zulassungsaufwände bei einer Bestellung der Software durch weitere EVU an die SBB zurückvergütet werden.

Die Aufwände für Studien- und Spezifikationsarbeiten seitens SBB sollen durch die SBB an die übrigen EVU verrechnet werden, sobald diese ihre Fahrzeuge umrüsten. Somit profitieren auch EVU mit wenig Fahrzeugen vom Energiesparpaket, ohne hohe Einmalkosten finanzieren zu müssen, während für die SBB die Einmalkosten etwas reduziert werden. Bis zur Bestellung durch weitere EVU trägt jedoch die SBB das Risiko der vollen Entwicklungskosten alleine.

4.8. Projektdurchführung

Durch die SBB wurde ein Lastenheft [2] ausgearbeitet, in welchem die gewünschte Softwareänderungen beschrieben sind. Die betroffenen Fahrzeuge und umzusetzenden Massnahmen sind in Tabelle 1 dargestellt.

Durch die Lieferantin wurden Angebote für Änderung der Leittechniksoftware aller beteiligten EVU erarbeitet. Die Massnahmen wurden anschliessend mit der zu erwarteten Wirtschaftlichkeit bewertet und eine Auswahl von wirtschaftlichen Massnahmen für die Umsetzung bestimmt. Die Break-Even Dauer der einzelnen Massnahmen lag dabei zwischen 3 Jahren für die Anpassung der Fahrbremsoptimierung und 11 Jahren für die Anpassung der Druckluftversorgung. Über das ganze Projekt wurde ein Break-Even innerhalb von 4 Jahren erwartet, ab dem Zeitpunkt der Einführung auf den Fahrzeugen.

Im Dezember 2016 wurde die Softwareänderung Energiesparpaket FLIRT durch die SBB bestellt, zunächst für die Flotten FLIRT Regi0ltenII und Vaudois. Für die Softwareänderung der älteren FLIRT Flotten der SBB wurden in 2017 ein weiterer Vertrag unterzeichnet.

Im Juli 2017 wurden durch die SBB Angebote an SOB, tpf und transN verschickt, um die Einmalkosten der SBB für Studien- und Spezifikationsarbeiten mit den übrigen EVU zu anteilig der betroffenen Fahrzeuge zu teilen. In den Angeboten sind anteilige Kostenreduktionen durch die Förderung des BAV aus diesem Projekt bereits enthalten. Als erstes EVU hat transN in Aussicht gestellt, die Softwareänderung für ihre vier Neufahrzeuge, die identisch zu SBB Fahrzeugen sind, über die SBB zu bestellen.

Die Lieferantin erstellte ein Pflichtenheft der Softwareänderung [3]. Ein Review des Pflichtenheftes durch die SBB hat bis Anfang November 2017 stattgefunden und wurde mit der Freigabe des Dokuments abgeschlossen. In dem Pflichtenheft definierte die Lieferantin alle umzusetzenden Massnahmen, die in die neue Software einfliessen sollen.

In einem Terminplan [4] wurde die Umrüstung der SBB FLIRT Fahrzeuge mit der Lieferantin vereinbart. Besonders herausfordernd war es, neben weiteren Projekten Fahrzeuge für die Typentestperioden zu bekommen. Priorität ist, den kommerziellen Betrieb ohne Einschränkungen aufrecht zu erhalten. Hieraus entstanden verschiedene Terminverzögerungen von bis zu einem Jahr.

Nachdem die Softwareänderung (Basisentwicklung und flottenspezifische Anpassungen) für die erste Teilflotte F4b (FLIRT mit Trockentransformatoren) durch die Lieferantin erstellt war, konnten die Typentests gestartet werden.

Die Typentests der neuen Fahrzeugsoftware zusammen mit der neuen Software für die Antriebsumrichter konnten schlussendlich vom März bis Mai 2018 auf einem Prototypfahrzeug FLIRT Regi0lten II mit Trockentransformator erfolgreich stattfinden.

Die unbefristete Betriebsbewilligung wurde durch das BAV am 2.10.2018 für die SBB Fahrzeuge 94 85 0 523 066-073 (Teilflotte 4b) erteilt (Anhang [6]). Für die restlichen Teilflotten sind die notwendigen Nachweise noch ausstehend.

Am 19.11.2018 wurde der Probebetrieb auf Fahrzeug 523 067 gestartet, ein weiteres Fahrzeug folgte kurz darauf. Ein Monitoring wurde installiert und lieferte laufend Daten über den Zustand der Fahrzeuge.

Für die übrigen FLIRT Teilflotten, die nicht in Italien verkehren, starteten die jeweiligen flottenspezifischen Anpassungen Ende 2018. Die Typentests wurden auf den jeweiligen Teilflotten im

ersten Halbjahr 2019 durchgeführt, die Änderungszulassungen im Herbst 2019 beim BAV beantragt. Die Planung sieht vor, per Ende November 2019 je zwei Fahrzeuge je Teilflotte in einen mehrmonatigen Probetrieb zu schicken, bevor ab Anfang 2020 die Softwareänderung auf alle betroffenen Teilflotten ausgerollt werden kann.

Aufgrund von anderen, höher priorisierten Projekten auf den SBB FLIRT Teilflotten mit Italienzulassung können die Energiesparmassnahmen dort aktuell nicht umgesetzt werden. Erst nach Abschluss dieser laufenden Projekte ist eine Umsetzung möglich, frühestens gegen Ende 2020.

5. Diskussion

Um den Energieverbrauch der Traktionsoptimierungen auszuwerten wurden am 12.06.2019 Messfahrten mit dem Fahrzeug RABe 523 067 durchgeführt. Das Fahrzeug verfügt über Trockentransformatoren und die neue Rastrierung der Fahrschalter. Alle HLK-Verbraucher, Kundeninformationssysteme und die Fahrgastraumbeleuchtung waren während der Messungen ausgeschaltet. Der Energieverbrauch wurde mittels Energiezähler des Fahrzeugs (1 sec. Werte) sowie Datenaufzeichnung der Leittechnik Prozesswerte (0.1 sec Werte) ermittelt. Es wurden 3 Fahrtenpaare mit neuer Software und 2 Fahrtenpaare mit alter Software durchgeführt.

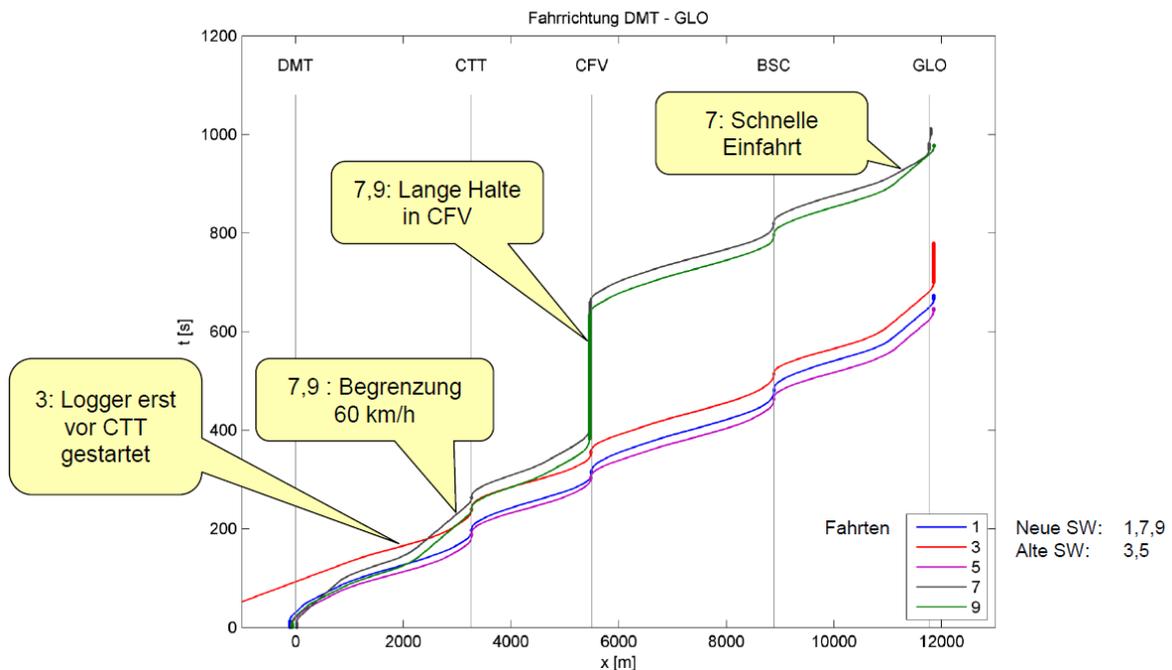


Abbildung 1: Weg-Zeit Diagramm der Validierung Teil Traktion: Messfahrten zwischen Delémont (DMT) und Glovelier (GLO) vom 12.06.2019 mit alter und neuer Software. Fahrzeug: RABe 523 067 mit Trockentransformatoren.

Der Einfluss der Druckluftkompressor-Aktivität, die während einzelner Fahrten stattfand, wurde herausgerechnet. Ebenfalls wurden längere Halte und die potenzielle Energie durch geografische Höhenunterschiede der Strecke rechnerisch berücksichtigt.

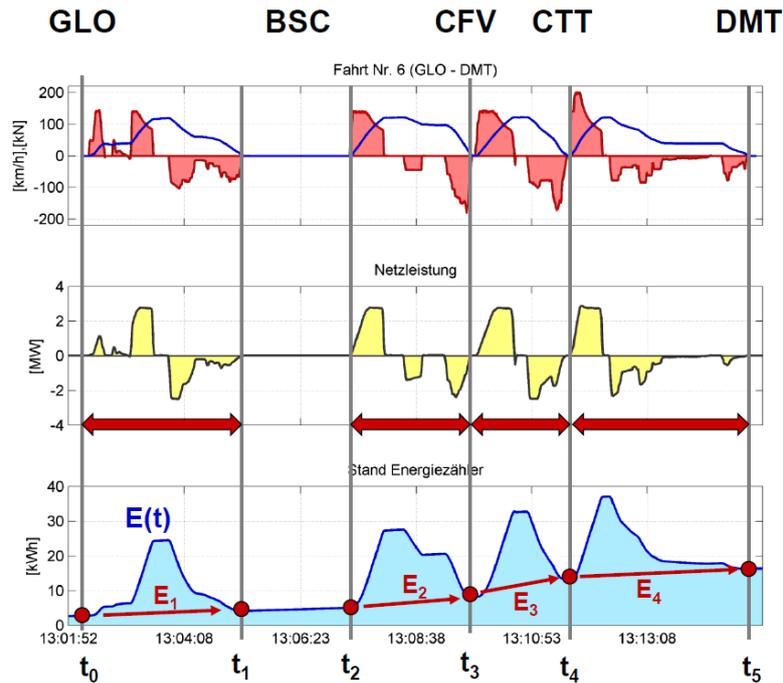


Abbildung 2: Ermittlung des Energieverbrauchs. Geschwindigkeit, Zugkraft, Leistungsbezug und Energie über der Zeit. Längere Halte werden nicht berücksichtigt.

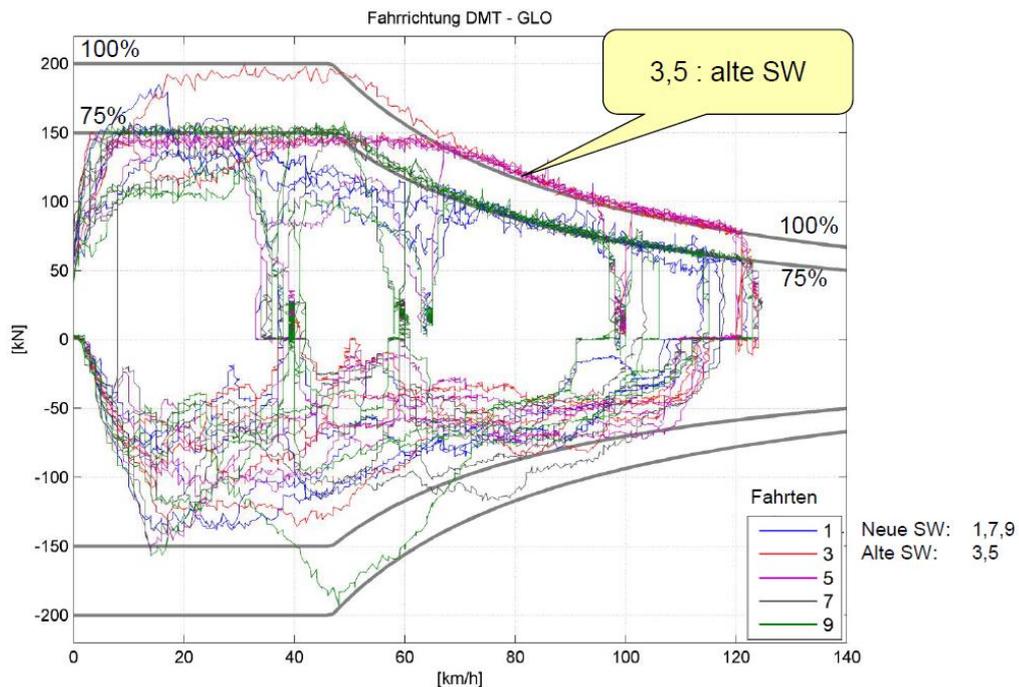


Abbildung 3: Z-V Diagramm der Messfahrten. Zu erkennen ist, dass bei 75% Fahrshalterstellung mit der neuen Software auch nur 75% der Zugkraft im Bereich der Leistungshyperbel zur Verfügung steht.

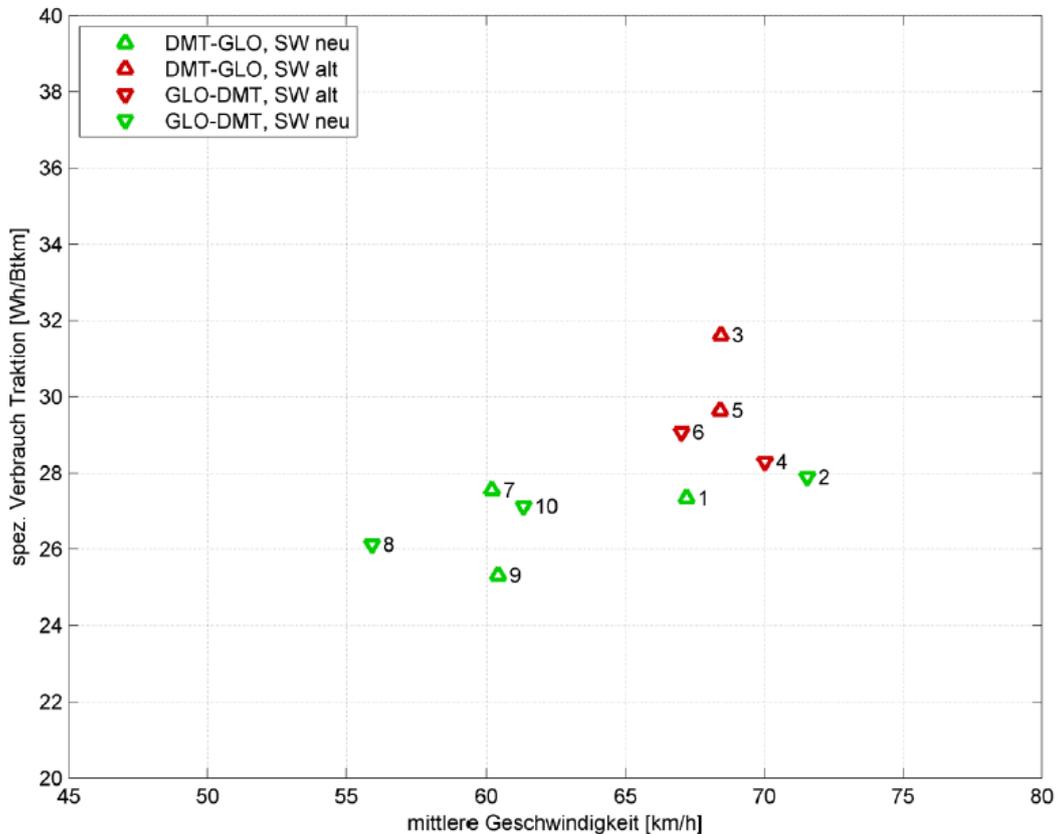


Abbildung 4: Spezifischer Energieverbrauch der Messfahrten in Abhängigkeit der mittleren Geschwindigkeit. Grün: neue Software, rot: alte Software.

Fazit: Durch die Traktionsoptimierung und die verbesserte Fahrzeugbedienung (neue Kennlinie des Fahr Schalters) verbraucht das Testfahrzeug etwa 2 Wh/Btkm weniger Energie.

In der früheren Auswertung der FLIRT Fahrzeuge zur Einführung der Trockentransformatoren wurde ein mittlerer Energiebedarf von 33.92 Wh/Btkm ohne Energieverbrauch in der Abstellung aber einschliesslich HLK-Verbrauch ausgewiesen.

Hochgerechnet ergibt eine Effizienzsteigerung von 2 Wh/Btkm eine Reduktion des Energiebedarfs von 6.2% im Fahrbetrieb. Die Einsparung wird bei FLIRT Fahrzeugen mit konventionellen Transformatoren noch grösser ausfallen, da deren Energieverbrauch höher ist, als der von Trockentransformator-Fahrzeugen.

Die Auswertung der Verbesserungen in der Abstellung konnte bisher nicht durchgeführt werden, da die nötigen Messdaten nicht verfügbar waren. Diese wird mit der Inbetriebnahme weiterer Fahrzeuge im Probetrieb erfolgen.

In der Studie [1] wurde das Einsparpotenzial während des Fahrbetriebs für die Flotte 4a auf etwa 9 % geschätzt. Dabei ist aber zu berücksichtigen, dass die Flotte 4a mit konventionellen Traktionstransformatoren ausgerüstet sind. Das hier betrachtete Fahrzeug 523 067 verfügt über Trockentransformatoren, welche bereits eine Verbesserung des Energieverbrauchs von 7 % gegenüber konventionellen Fahrzeugen erreichen. Des Weiteren handelt es sich bei durchgeführten Messungen um Stichproben auf einer ausgewählten Strecke mit entsprechend hoher Unsicherheit bei einer Übertragung der Ergebnisse auf die Gesamtflotte. Es wird daher erwartet, dass bei Auswertung einer grösseren Anzahl Fahrzeuge über mehrere Monate Betrieb die Einsparungen in der erwarteten Grössenordnung liegen werden.

6. Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Die wirtschaftlich umsetzbaren Energiesparmassnahmen der Machbarkeitsstudie [1] wurden unter der Leitung der SBB entwickelt und spezifiziert. Um die Energieeffizienzmassnahmen auf den FLIRT-Fahrzeugen der SBB, SOB, tpf und transN umsetzen zu können, wurde die Leittechniksoftware so spezifiziert, dass zunächst eine einheitliche Basissoftware für die Fahrzeugen aller beteiligten Betreiber entwickelt wurde. Diese kann auf die jeweilige Teilflotte angepasst werden. Zunächst wurde die Basissoftware für Teilflotten der SBB angepasst. Durch die SBB wurden Typentests und Probefahrten durchgeführt.

Der Break-Even der Investition wird innerhalb von 4 Jahren ab dem Zeitpunkt der Installation der Software auf den Fahrzeugen erwartet.

Auf Messfahrten wurde eine Energieeinsparung von ca. 2 Wh/Btkm durch Traktions- und Fahrzeugbedienungs-Optimierungen nachgewiesen, was etwa 6.2 % des Gesamtenergieverbrauchs entspricht. Die Auswertung der Verbesserungen in der Abstimmung konnte bisher nicht durchgeführt werden. Es wird aber von einer weiteren Effizienzsteigerung ausgegangen.

Zwischen den Bahnbetreibern SBB, SOB, tpf und transN wurde vereinbart, dass Einmalkosten für die Erstellung der Basissoftware, Teile der Zulassungsaufwände sowie Studien- und Spezifikationsarbeiten der SBB bei einer Bestellung der Software durch weitere EVU an die SBB zurückvergütet werden.

Somit profitieren auch EVU mit wenig Fahrzeugen von den Massnahmen, ohne die hohen Einmalkosten alleine tragen zu müssen. Bis zur Bestellung durch weitere EVU trägt jedoch die SBB das Risiko der vollen Entwicklungskosten alleine.

In der Machbarkeitsstudie wurden auch Energieeffizienzpotenziale identifiziert, welche zusätzliche Hardwareanpassungen bedingen. Diese Massnahmen wurden aufgrund einer Kosten- /Nutzen Überlegungen zurückgestellt für spätere Optimierungen der FLIRT-Fahrzeuge.

Aufgrund der Ergebnisse der Arbeiten wird die Empfehlung an die beteiligten EVU gegeben, die Softwareänderung Energiesparpaket im Rahmen einer regulären Softwareänderung so bald als möglich auf den eigenen Teilflotten umzusetzen. So kann sichergestellt werden, dass sich die Änderung über die Restlaufzeit der Fahrzeuge durch Energieminderkosten finanziert.

Résumé en français

2. Objectifs du projet

L'objectif du programme d'économie d'énergie FLIRT est le suivant:

- hausse notable de l'efficacité énergétique des véhicules FLIRT en exploitation et en stationnement.

Les paquets de travail ci-après seront mis en œuvre dans le cadre du projet:

- développement et coordination d'une coopération entre les entreprises suisses de transport ferroviaire CFF, SOB, TPF et transN en vue de la mise en œuvre du programme d'économie d'énergie sur les rames automotrices FLIRT;
- élaboration de spécifications du logiciel et suivi de la création du programme par les CFF;
- réalisation et évaluation par les CFF d'une phase d'essais de type sur des prototypes de véhicules;
- réalisation et évaluation par les CFF d'un essai d'exploitation du logiciel sur des prototypes de véhicules.

La mise en œuvre du programme d'économie d'énergie nécessite la création de logiciels pour les véhicules, l'homologation des modifications pour les pays concernés et l'équipement en série des rames FLIRT. Au regard des prescriptions de la direction de projet SETP de l'OFT, le développement des logiciels pour les véhicules, l'homologation des modifications et l'équipement en série ne relèvent toutefois pas des mesures de soutien du projet.

4.4. Coopération entre les ETF

Les CFF coordonneront la mise en œuvre des mesures d'efficacité énergétique dans les véhicules FLIRT du SOB, des TPF et de transN. Les entreprises de transport ferroviaire (ETF) impliquées ont pris part à des rencontres constructives et discuté de l'acquisition commune du logiciel.

Le fournisseur développera un logiciel de base qui permettra une mise en œuvre identique des modifications dans les véhicules FLIRT de tous les exploitants. Dans un second temps, le logiciel sera adapté aux spécificités techniques de chaque flotte. Seule cette version adaptée sera ensuite implémentée dans les différents types de véhicules.

En septembre 2016, les CFF, le SOB, les TPF et transN ont convenu de répartir les frais uniques de développement du logiciel de base en fonction du nombre de véhicules de chaque ETF.

Les CFF commanderont tout d'abord les modifications du logiciel pour leurs propres véhicules. Selon un accord avec le fournisseur, les frais uniques de développement du logiciel de base ainsi qu'une partie des charges d'homologation en cas de commande par d'autres ETF seront reversés aux CFF.

Les frais d'études et de spécification assumés par les CFF seront imputés aux autres ETF dès que ces dernières transformeront leurs véhicules. De cette manière, les ETF gérant un parc de véhicules limité pourront elles aussi profiter du programme d'économie d'énergie sans devoir financer les frais uniques élevés et, pour leur part, les CFF bénéficieront d'une légère baisse de

ces mêmes frais. En attendant la commande par d'autres ETF, les CFF supportent totalement e risque inhérent aux coûts de développement dans leur ensemble.

6. Conclusions et recommandations

Sous la direction des CFF, diverses mesures d'économie d'énergie définies dans l'étude de faisabilité [1] ont été développées puis spécifiées dans un souci de rentabilité économique. Pour permettre la mise en œuvre optimale de ces mesures dans les véhicules FLIRT des CFF, de SOB, des TPF et de transN, une version de base du logiciel de technique de commande a été conçue pour les véhicules de tous les exploitants impliqués. Celle-ci pourra ensuite être adaptée à chaque flotte partielle. Dans un premier temps, le logiciel de base a été modifié pour des flottes partielles des CFF. Ces derniers ont réalisé divers essais de type et d'exploitation. Le seuil de rentabilité des investissements est escompté dans les quatre années suivant l'installation du logiciel.

Les courses de mesure ont permis d'identifier un potentiel d'économie énergétique d'environ 2 Wh/t-km brute grâce à la traction et à la commande optimisées des véhicules, ce qui correspond à 6,2% de la consommation d'énergie totale. À ce jour, il n'a pas encore été possible d'évaluer les améliorations pendant le stationnement des rames. Toutefois, on mise là encore sur une hausse de l'efficacité énergétique.

Les exploitants impliqués dans le projet, à savoir les CFF, le SOB, les TPF et transN, se sont entendus sur le remboursement aux CFF des frais uniques de création du logiciel de base, d'une partie des charges d'homologation ainsi que des frais d'études et de spécification financés par les CFF en cas de commande du programme par d'autres ETF.

Les ETF gérant une flotte de véhicules limitée pourront donc, elles aussi, profiter des mesures prises, sans devoir assumer seules les coûts uniques élevés. En attendant la commande par d'autres ETF, les CFF supportent totalement le risque inhérent aux coûts de développement dans leur ensemble.

L'étude de faisabilité a également mis en lumière un potentiel d'économie d'énergie nécessitant des adaptations du matériel informatique. Suite à une analyse coûts/utilité, ces mesures ont été reportées et seront intégrées à de futurs programmes d'optimisation des véhicules FLIRT.

Au regard des résultats des travaux réalisés, il est recommandé aux ETF participantes d'implémenter le nouveau logiciel aussi rapidement que possible dans le cadre des mesures ordinaires de modification de logiciels. La diminution des frais énergétiques permettra de financer le programme pour la durée de vie restante des véhicules.

7. Symbol- und Abkürzungsverzeichnis

EVU Eisenbahnverkehrsunternehmen

8. Anhang

- [1] Machbarkeitsstudie (BAV Projekt „059 Studie Energiesparpaket FLIRT“) https://www.bav.admin.ch/dam/bav/en/dokumente/themen/umwelt/energiestrategie-projekte/schlussbericht_059.pdf.download.pdf/Machbarkeitsstudie_Energieeffizienz_FLIRT_BAV-Layout%20v6.pdf
- [2] Lastenheft Energiesparpaket FLIRT 1.0, AAZ 11544436, 08.07.2018.
- [3] SW-Änderungsauswirkungsanalyse zu Release 1.0.0.2, Dokument 522678 B, CAA 20173529 25.10.2017. Gekürzte Version.
- [4] Energieeffizienz_Umsetzungsplanung_31.08.2017.pdf, S7435901 vom 31.12.2017
- [5] Typentestplanung FLIRT
- [6] Betriebsbewilligung FLIRT Trockentrafo
- [7] Übersicht über aufgelaufene Kosten und Planung der Projektkosten.
