



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)

Energiesparpaket III für DTZ

Schlussbericht

Rapport final

Johannes Estermann

SBB Schweizerische Bundesbahnen AG

Personenverkehr Flottentechnik

Wylersstrasse 125 · 3000 Bern 65 · Schweiz

Johannes.Estermann@sbb.ch · www.sbb.ch



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)

Begleitgruppe

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

Impressum

Herausgeberin:

Bundesamt für Verkehr BAV

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

CH-3003 Bern

Programmleiter

Tristan Chevroulet, BAV

Projektnummer: 51

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 24.06.2019

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	5
Résumé	6
Executive Summary	6
Zusammenfassung (deutsch)	7
1. Ausgangslage	7
2. Ziel der Arbeit	7
3. Forschungsansatz und aktueller Wissensstand	9
4. Ergebnisse	9
4.1. Verifizierung der Energieeinsparung und Diskussion	10
4.1.1. Prototypen- und Referenzfahrzeug	10
4.1.2. Erhebung des Energieverbrauchs	10
4.1.3. Abschätzung Qualität der Datenlieferung	11
4.1.4. Abstelldauer	11
4.1.5. Energieverbrauch der Fahrzeuge	14
4.1.6. Mittlerer Leistungsbezug im Stillstand	15
4.1.7. Detailvergleiche zwischen den Fahrzeugen.	16
4.1.8. Energieeinsparung	18
4.2. Verifizierung der Abstelllärm-Reduktion	18
4.3. Stand der Fahrzeugausrüstung	19
5. Schlussfolgerungen und Empfehlungen	19
Résumé (en français)	20
6. Situation initiale	20
7. Objectifs	20
8. Angle de recherche et état actuel des connaissances	22
9. Résultats	22
9.1. Vérification des économies d'énergie et discussions	23
9.1.1. Véhicule prototype et véhicule de référence	23
9.1.2. Relevé de la consommation d'énergie	23
9.1.3. Estimation de la qualité des données fournies	24
9.1.4. Durée du garage	24
9.1.5. Consommation d'énergie des véhicules	27
9.1.6. Consommation d'énergie moyenne à l'arrêt	28
9.1.7. Comparaisons détaillées des véhicules	28
9.1.8. Économies d'énergie	30
9.2. Vérification de la réduction des nuisances sonores provoquées par les véhicules garés	30
9.3. État de l'équipement du véhicule	31

10.	Conclusions et recommandations	31
11.	Anhang	32
11.1.	Erstellte Unterlagen und Dokumente	32
11.2.	Detailanalyse Energieverbrauch des Fahrzeugs 26, März 2018	33

Zusammenfassung

Auf den 61 Triebzügen der S-Bahn Zürich (2. Generation, RABe 514) werden sechs verschiedene Massnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz umgesetzt. Relevant sind insbesondere die Abschaltung des Halb- bzw. Dreiviertelzugs, womit nicht benötigte Komponenten komplett ausgeschaltet werden. Für die gesamte Flotte wird eine Einsparung von 4.1 GWh pro Jahr ausgewiesen, dies entspricht dem Stromverbrauch von über 1000 Haushalten.

Bisher konzentrierten sich Energiesparmassnahmen mittels Softwareanpassungen vor allem auf die Bereiche Heizung, Lüftung, Klimatisierung und Traktion. Die permanenten Verbraucher wie Leerlaufverluste der Transformatoren, Trafoölpumpe, Hilfsbetriebeumrichter und entsprechender Lüfter waren nicht Gegenstand der Optimierungen, da dafür oft umfangreiche Hardwareanpassungen notwendig sind. Dass die Abschaltung dieser Komponenten einen grossen Energiesparbeitrag leisten können, wurde mit diesem Projekt gezeigt.

Zusätzlich ist die pneumatische Abtrennung des Bioreaktors während der Abstellung ein Novum, diese Lösung zur Reduktion der Lärmemissionen und des Energieverbrauchs wurde schweizweit erstmalig umgesetzt. Bisher konnte die SBB damit positive Betriebserfahrungen sammeln.



Abbildung 1: DTZ im Raum Zürich

Résumé

Six mesures de hausse de l'efficacité énergétique sont actuellement mises en œuvre sur les 61 rames automotrices du réseau RER de Zurich (2^e génération, RABe 514). L'une d'entre elles, le déclenchement de la moitié ou des trois quarts du train, permet de désactiver les composants non utilisés et ainsi d'économiser 4,1 GWh par an sur l'ensemble de la flotte, soit l'équivalent de la consommation de plus de 1000 foyers.

Jusqu'à présent, les mesures d'économies d'énergie ont principalement porté sur des adaptations logicielles dans les domaines du chauffage, de la ventilation, de la climatisation et de la traction. Les consommateurs permanents occasionnant de fortes pertes à vide, tels que les transformateurs, la pompe à huile des transformateurs, les convertisseurs des services auxiliaires et leurs ventilateurs, n'étaient pas concernés par ces optimisations qui auraient souvent nécessité d'importantes modifications matérielles. Le présent projet a toutefois montré que le déclenchement de ces composants garantissait de fortes économies d'énergie.

L'isolation pneumatique du bioréacteur des véhicules garés constitue par ailleurs une nouveauté. Cette solution de réduction des émissions sonores et de la consommation d'énergie a été mise en œuvre pour la première fois à l'échelle de la Suisse. Les CFF ont enregistré jusqu'ici des résultats opérationnels positifs.

Executive Summary

Six different measures to increase energy efficiency are being implemented on the 61 multiple units of the S-Bahn Zurich (2nd generation, RABe 514). In particular, the shutdown of half or three quarters of a multiple unit are relevant, so that unneeded components are completely switched off. For the entire fleet a saving of 4.1 GWh per year is achieved, which corresponds to the power consumption of over 1000 households.

So far, energy-saving measures using software adjustments have focused primarily on the areas of heating, ventilation, air conditioning and traction. Permanent consumers like transformer idle losses, oil pumps, auxiliary converters and corresponding fans were not the subject of optimizations, as often hardware adjustments are necessary for this. The fact that the shutdown of these components can make a major contribution to saving energy was demonstrated with this project.

In addition, the pneumatic separation of the bioreactor during shutdown is a novelty, this solution for the reduction of noise emissions and energy consumption was implemented for the first time in Switzerland. So far, SBB has been able to gain positive operating experience.

Zusammenfassung (deutsch)

1. Ausgangslage

In den Vorjahren wurden bereits zwei Energiesparpakete auf den Triebzügen RABe 514 DTZ umgesetzt, bisher lag der Fokus auf der Optimierung der Traktionsumrichter sowie der Klimatisierung der Fahrgasträume während der Fahrt und in der Abstellung. Mit dem vorliegenden Energiesparpaket 3 liegt der Fokus nun auf der optimierten Steuerung der Hilfsbetriebe, was neben einer Steigerung der Energieeffizienz auch eine Verringerung von Lärmemissionen in der Abstellung bewirkt. Dadurch werden Anwohner der Abstellorte vor übermässiger Lärmemission geschützt.

Im Jahr 2010 wurde ein erstes Energiesparpaket implementiert: Durch Optimierung der Zwischenkreisspannung und dem Einführen eines Teillastbetriebes wurde der Energieverbrauch der Fahrzeuge im Betrieb reduziert.

Das Energiesparpaket II beinhaltete Verbesserungsmaßnahmen der Fahr-/ Bremskennlinie, Optimierung des Schlumberbetriebs sowie die besetzungsabhängige Aussenluftsteuerung.

Ein DTZ Triebzug besteht aus zwei identischen Halbzügen, auf beiden sind je ein Stromabnehmer, zwei Transformatoren und je einem Doppel-Hilfsbetriebeumrichter (HBU) vorhanden. Jeder HBU selber ist unterteilt und verfügt über zwei Module für das Bordnetz (3x 400 V / 50 Hz) und über zwei Batterieladegeräte. Es gibt aber nur einen Lüfter für die beiden HBU-Module. Wenn die Aussentemperaturen und der aktuelle Leistungsbezug es zulassen, soll in der Abstellung einer der beiden Halbzüge ohne Einbussen auf Verfügbarkeit oder Komfort abgeschaltet werden.

Relevant für die Einsparungen sind insbesondere die Abschaltung der Hilfsbetriebe eines Halb- oder Dreiviertelzugs bei abgestelltem Fahrzeug. Damit werden Leerlaufverluste durch nicht benötigte Komponenten reduziert.

Die gesamten Einsparungen durch das Energiesparpaket III werden mit 4 GWh pro Jahr für die Flotte von 61 Fahrzeugen prognostiziert.

Das Projekt wird im Rahmen des Energiesparprogramms der SBB durchgeführt.

Die DTZ Fahrzeuge wurden von der Firma Siemens zwischen 2006 und 2009 an die SBB geliefert und werden in der S-Bahn Zürich eingesetzt.

2. Ziel der Arbeit

Das Energiesparpaket III umfasst die folgenden sechs Einzelmassnahmen, welche durch Änderung der Fahrzeugsteuerung und Fahrzeughardware erreicht werden. Abgestellte Fahrzeuge gehen tagsüber in den Schlumberbetrieb, wenn keine Bereitstellzeit durch das Lokpersonal programmiert wurde. Ist eine Bereitstellzeit aktiv, kann in den Standbybetrieb gewechselt werden. In der Zeit zwischen 21:00 und 04:00 Uhr wird immer in den Standbybetrieb gewechselt.

Die Massnahmen im Einzelnen:

1. Halbzugabschaltung. Es werden Einsparungen durch die Vermeidung von Leerlaufverlusten der beiden Transformatoren und der beiden ausgeschalteten Hilfsbetriebeumrichter reali-

- siert. Zusätzlich wird der Hilfsbetriebeventilator abgeschaltet. Durch den Einbau von zusätzlichen Schützen können auch die Trafoölpumpen abgeschaltet werden, die bisher fest mit dem Bordnetz verbunden waren.
2. Dreiviertelzugabschaltung. Wenn die Trafoöltemperatur und die bezogene Leistung (Abhängig von Aussentemperatur) es zulassen, wird auf dem noch eingeschalteten Halbzug eines der beiden HBU-Module innerhalb des Doppel-Hilfsbetriebeumrichters sowie die dritte Trafoölpumpe abgeschaltet.
 3. Abschaltung der Fahrgastraumbeleuchtung oder Notbeleuchtung in der Abstellung. Bisher konnte die Fahrgastbeleuchtung nicht komplett ausgeschaltet werden, es war immer mindestens die Notbeleuchtung aktiv. Mittels Anpassung der Steuerung und der Hardware des Zuges kann die Notbeleuchtung nun komplett ausgeschaltet werden.
 4. Optimierung des Reinigungsbetriebs. Neu wird die Fahrgastraumbeleuchtung automatisch nach 20 Minuten deaktiviert, wenn sie für Reinigungszwecke aktiviert wurde.
 5. Reduktion des Druckluftverbrauchs durch eine pneumatische Abtrennung des Bioreaktors während des Standbybetriebs. Es wurden Ventile eingebaut, die eine zeitgesteuerte pneumatische Abtrennung des Bioreaktors durch die Leittechnik ermöglichen. Zusätzlich wird der Hauptkompressor erst bei 6 bar Speiseleitungsdruck wieder eingeschaltet statt wie bisher bei 8.5 bar.
 6. Optimierung der Führerstandsklimaanlage bei unbesetzten Führerständen.

Gemäss Projektantrag wird eine Einsparung von rund 65 MWh pro Jahr und Triebzug prognostiziert. Hochgerechnet auf die gesamte DTZ-Flotte der SBB von 61 Zügen wird ein Einsparpotential von 3.94 GWh pro Jahr erwartet. In Tabelle 1: Prognose der Energieeinsparungen gemäss Projektplan sind die Massnahmen einzeln abgeschätzt.

Prognose der Energieeinsparungen gemäss Projektplan	
Halbzugabschaltung im Schlumberbetrieb	2.60 GWh / a
Dreiviertelzugabschaltung mit Abschaltung 3. Trafoölpumpe	0.60 GWh / a
Abschaltung Fahrgastraumbeleuchtung	0.38 GWh / a
Deaktivierung des Putzbetriebs nach 20 Minuten	0.04 GWh / a
Pneumatische Abtrennung Bioreaktor	0.04 GWh / a
Optimierung Führerstandsklimaanlage	0.29 GWh / a
Gesamte Einsparungen	3.94 GWh / a

Tabelle 1: Prognose der Energieeinsparungen gemäss Projektplan

Um einen reibungslosen Rollout der Massnahmen realisieren zu können, muss die neue Fahrzeugsteuerung kompatibel zu Fahrzeugen ohne Hardwareanpassung sein. Eine wichtige Anforderung an die neue Fahrzeugsteuerung ist daher die Kompatibilität zu Fahrzeugen ohne Hardwareänderung. Hintergrund ist die benötigte Umbauzeit der Hardwareanpassung. Der Hardwareumbau zieht sich über mehrere Jahre (aufgrund eingeschränkte Werkstattkapazitäten) während die Steuerungsanpassung innerhalb eines Jahres umgesetzt werden kann.

3. Forschungsansatz und aktueller Wissensstand

Bisher konzentrierten sich energetische Optimierungen mittels Regelungsanpassung vor allem auf die Bereiche Heizung, Lüftung und Klimatisierung der Fahrgasträume oder Optimierung der Traktionsregelung. Die permanenten Verbraucher wie Transformatorölpumpe, Hilfsbetriebeumrichter und entsprechender Lüfter waren nicht Gegenstand von Optimierungen, da dafür teure Hardwareanpassungen notwendig sind.

Zusätzlich ist die pneumatische Abtrennung des Bioreaktors in der Abstellung ein Novum, dieser Ansatz zur Reduktion der Lärmemissionen erfolgt schweizweit erstmalig. Die pneumatische Abtrennung der Bioreaktoren führt zu einem tieferen Druckluftverbrauch in der Abstellung, was wiederum zu längeren Ruhezeiten der Druckluftkompressoren führt. Insgesamt werden die Lärmemissionen der Züge in der Abstellung reduziert. Hiervon erhofft sich die SBB positive Betriebserfahrungen.

4. Ergebnisse

Die Folgen der Anpassung der Fahrzeugsteuerung wurden mittels ausführlicher Tests und Probetriebsphasen auf Fahrzeugen überprüft (Anhang). Dabei zeigten sich Störungen mit der neuen Steuerung, die in mehrere Iterationen behoben werden mussten. Auch das neue Verhalten der Führerstandsklimaanlage musste aufgrund von Rückmeldungen des Lokpersonals angepasst werden, um ohne grössere Einbussen beim Komfort die Fahrzeuge betreiben zu können.

Die Projektumsetzung erfolgte in zwei Phasen: Aufgrund der definierten Hard- und Softwareänderungen wurde zuerst ein Prototyp erstellt, mit welchem umfangreiche Tests durchgeführt wurden. Aufgrund von Störungen mit der neuen Software auf dem Fahrzeug dauerte die Testphase etwa ein Jahr länger als geplant.

In einer zweiten Phase erfolgte der Rollout der Software auf die gesamte Flotte. Die Fahrzeugumrüstungen werden laufend im Rahmen der modularen Revisionen durchgeführt.

1. Phase: Konzeptentwurf und Erstellung Prototyp: Juli 2015 – Juli 2017
 - Engineering der Hardwareänderungen durch Fahrzeuglieferant.
 - Programmierung der Software durch Fahrzeuglieferant.
 - Umbau des Fahrzeuges und Test der Modifikationen im Betrieb.
2. Phase: Serienumbau und Rollout auf gesamte Flotte: April 2016 – Juli 2019
 - Rollout Software
 - Bereinigung der Konstruktionsstückliste und Materialnummern.
 - Erstellung technische Zeichnungen und Arbeitsanweisungen für Umbau.
 - Bestellung notwendige Materialien.
 - Serienumbau im Rahmen der modularen Revisionen (August 2017 bis Ende 2019).

Der Projektbeginn war am 1. Juli 2015, der Projektabschluss ist für Dezember 2019 geplant.

4.1. Verifizierung der Energieeinsparung und Diskussion

Für die Verifizierung der Energieeinsparung wurden die beiden Fahrzeuge 53 und 26 über den Zeitraum von 1.7.2017 bis 30.4.2018 beobachtet. Fehlende Daten für die Berechnung der Energieeinsparung über 12 Monate wurden interpoliert, in dem die Monate April 2018 und Juli 2017 doppelt gezählt wurden.

4.1.1. Prototypen- und Referenzfahrzeug

Das Fahrzeug 53 (UIC Nummer 94 85 0514 **053-3**) ist das Prototypfahrzeug für diese Massnahme. Dieses Fahrzeug wurde im Mai 2016 mit den vollständigen Hardwareumbauten und der neuen Software ausgerüstet und ist seit Ende 2016 mit dem Release 5.5.2 ausgerüstet und im Betrieb.

Das Fahrzeug 26 (UIC Nummer 94 85 0514 **026-9**) ist das Referenzfahrzeug dieser Massnahme. Auf diesem Fahrzeug war bis 24.05.2018 die Vorgänger- Software (Energiesparpaket 2, Release 5.4.0) installiert.

Beide Fahrzeuge werden mit ähnlichem Einsatzprofil im Gebiet der S-Bahn Zürich eingesetzt.

UIC Nummer	Fahrzeugtyp	Nummer des Energiezählers 1	Nummer des Energiezählers 2
94 85 0514 026-9	RABe 514	9485051402691	9485051402692
94 85 0514 053-3	RABe 514	9485051405331	9485051405332

4.1.2. Erhebung des Energieverbrauchs

Die Energieverbräuche der Fahrzeuge werden über das Energiemesssystem erhoben, welches im Rahmen des Projekts "Verursachergerechte Verrechnung des Bahnstroms" in die Bestandsflotte von SBB Personenverkehr eingebaut wird. Die Energiezähler sind in Übereinstimmung mit EN 50463 entwickelt und liefern die geforderte Genauigkeit. Zukünftig wird der tatsächliche Energieverbrauch der Fahrzeuge über dieses System verrechnet.

Je Triebzug kommen zwei Energiezähler zum Einsatz, die jeweils den Energieverbrauch und weitere Daten eines Halbzuges aufzeichnen und zur Auswertung an eine Zentrale schicken.

Das Energiemesssystem liefert Daten in Minutenauflösung. Für die Auswertung wurden

- Nettoenergiebezug [kWh],
- die zurückgelegten Meter [m] (als Indikator für «Stehen» oder «Fahren») sowie das
- Qualitätsflag Ort als Hinweis auf die Zuverlässigkeit der Lokalisierung des Fahrzeugs

ausgewertet.

Um den Energieverbrauch in der Abstellung zu ermitteln, wurden Energiewerte ausgewertet, die im Stillstand gemessen wurden («zurückgelegte Meter = 0»). Damit sind aber auch kommerzielle Halte eingeschlossen (Energieverbrauch während Wendezeiten oder Halten grösser 1 Minute an Bahnhöfen), bei denen die HLK-Verbraucher im Normalbetrieb sind. Da diese Methode aber bei Prototyp- und Referenzfahrzeug angewendet wurde, kann die Energieeinsparung abgeschätzt werden. Einzig eine Aussage zum Energieverbrauch in den Betriebsarten Schlumberbetrieb oder Standby kann nicht gemacht werden. Es wird in diesem Bericht stets der Energieverbrauch des stehenden Fahrzeugs im kommerziellen und nichtkommerziellen Betrieb ausgewertet.

4.1.3. Abschätzung Qualität der Datenlieferung

Zusammen mit den Messwerten für Energieverbräuche, Geschwindigkeit und zurückgelegter Entfernung liefert das Energiemesssystem sogenannte Qualitäts-Flags mit jedem Messpunkt, die Rückschlüsse auf die Konsistenz der Messung zulassen. Dabei wird zwischen «Messwert in Ordnung», «unsicher» oder «ungültig» unterschieden.

Die Auswertung der 1 Minuten Energiemesswerte von August 2017 während der Abstellung (Filter: zurückgelegte Wegstrecke = 0 km) zeigt, dass fast keine unsicheren Messwerte erfasst werden. Daher wird von einer guten Datenqualität ausgegangen.

Gezählt wird das Verhältnis von Messwerten mit Qualitäts-Flag Energie «unsicher» zur Gesamtzahl der Messwerte.

DHS Gerät	Monat	Anzahl unsichere Messwerte	Anzahl Messwerte gesamt	Anteil unsichere Messwerte zu Gesamtzahl Messwerte
9485051402691	Aug 17	8	25103	0.032%
9485051402692	Aug 17	18	24953	0.072%
9485051405331	Aug 17	36	16484	0.218%
9485051405332	Aug 17	27	15126	0.179%

Jedoch zeigte sich im Monat März 2018, das Fahrzeug 26 fehlerhafte, nämlich keine Ortsangaben liefert. Siehe hierzu 11.2 im Anhang.

4.1.4. Abstelldauer

Für die Energieeinsparung relevant sind die Zeiträume, in denen das Fahrzeug abgestellt ist. Die Dauer, die die Fahrzeuge in den einzelnen Betriebsarten verweilen sind in Abbildung 2 und Abbildung 3 zusammengefasst.

Die Dauer der Abstellung ist die Zeit, die das Fahrzeug stillsteht (zurückgelegte Kilometer gleich Null innerhalb einer Minute), abzüglich kommerzieller Halte an Bahnhöfen, betriebsbedingter Halte (Basis: Fahrpläne der Fahrzeuge) und der Nachlaufzeit bis zur Aktivierung des Schlumberbetriebs (Basis Softwarespezifikation). Die mittlere Abstelldauer (pro Tag 12.3 h für Fzg. 53 bzw. 12.0 h für Fahrzeug 26) ist für Fahrzeug 26 gleichzusetzen mit der Dauer des Schlumber-/Standbybetriebs, da das Fahrzeug praktisch nie ausgeschaltet war (Nettoenergiebezug gleich Null). Bei Fahrzeug 53 wird innerhalb der Abstelldauer zwischen Abstellung **ohne** aktivierter Teilzugabschaltung (beide Energiezähler aktiv) und Abstellung **mit** aktivierter Teilzugabschaltung (nur ein Energiezähler aktiv) unterscheiden.

Dauer von Betriebsarten		Fzg. 26	Fzg. 53
Fahren	h/d	9.22	8.91
Kommerzielle Halte (Schätzung)	h/d	2	2
Nachlaufzeit bis Aktivierung Schlummerbetrieb (Schätzung)	h/d	0.75	0.75
Abstellung mit aktivierter Teilzugabschaltung	h/d	0.42	7.82
Abstellung ohne aktivierter Teilzugabschaltung	h/d	11.60	4.51
Fzg. ausgeschaltet	h/d	0.01	0.01

Tabelle 2: Dauer von Betriebsarten je Fahrzeug in Stunden pro Tag; Mittelwerte eines Jahres.

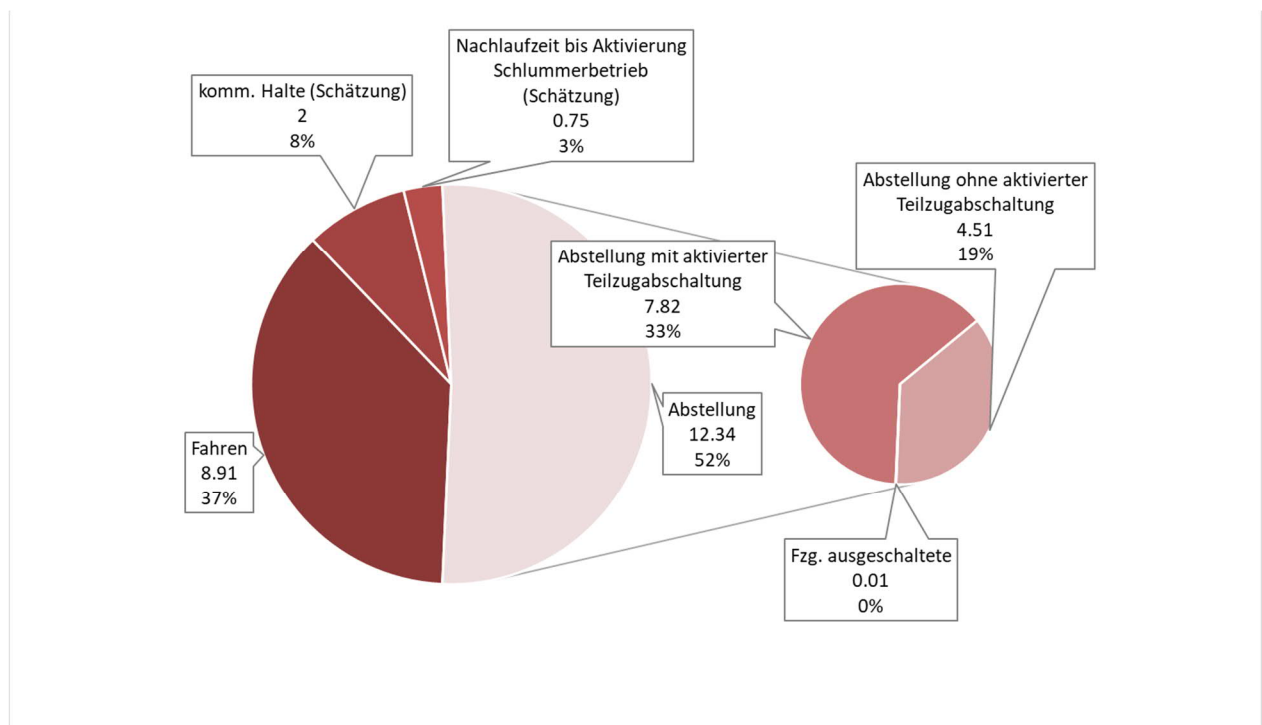


Abbildung 2: Dauer von Betriebsarten in Stunden pro Tag, Mittelwerte eines Jahres des Fahrzeugs 53. Gut zu erkennen ist die deutliche Zunahme der Abstellung mit aktivierter Teilzugabschaltung aufgrund der Energiesparmassnahme.

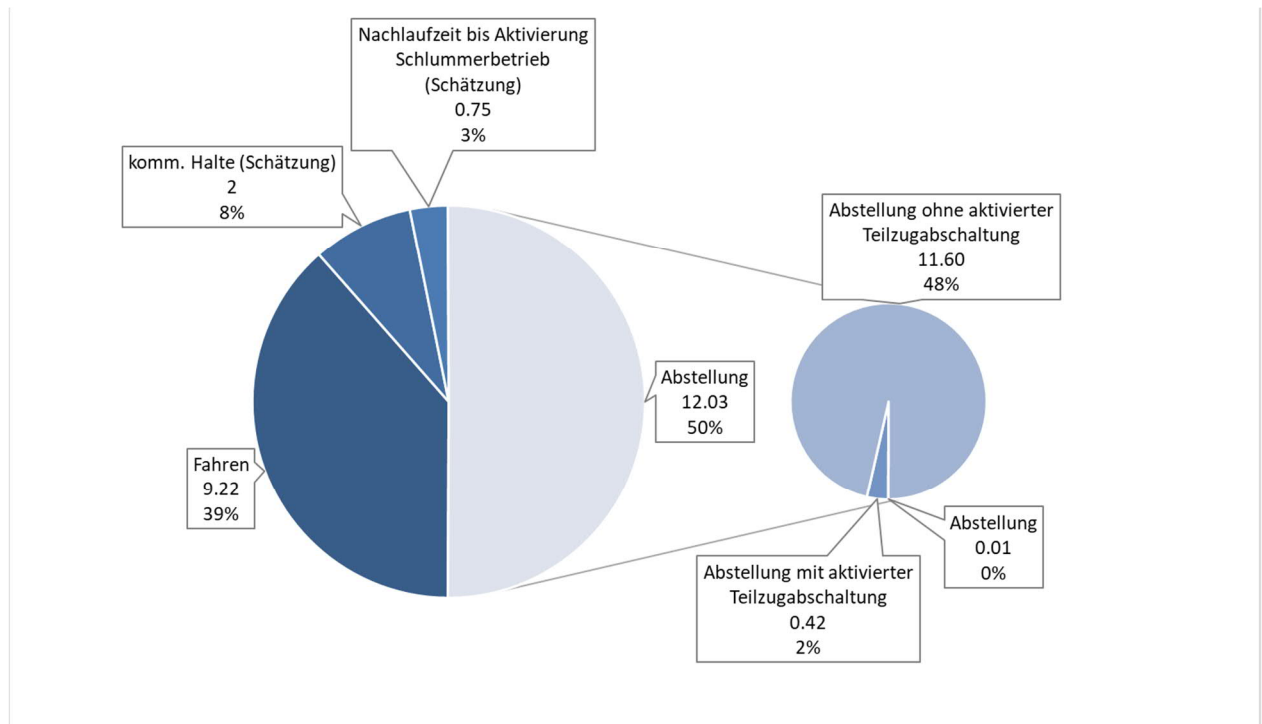


Abbildung 3: Dauer von Betriebsarten in Stunden pro Tag, Basis: Mittelwerte eines Jahres, Fahrzeug 26.

4.1.5. Energieverbrauch der Fahrzeuge

In Tabelle 3 und Tabelle 4 sind die wichtigsten Kenngrössen zum Energieverbrauch des Beobachtungszeitraums zusammengefasst, sowie auf 12 Monate hochgerechnet. Pro Monat ist der relative Energieverbrauch der Fahrzeuge in Abbildung 4 dargestellt aus.

Wichtige Kenngrössen und Ergebnisse der Fahrzeuge Zeitraum 1.7.2017 bis 30.4.2018					
Fahrzeug	Fahrleistung [km]	Relativer Energieverbrauch [Wh/Btkm]	Energieverbrauch im Stillstand [kWh]	Stillstand gesamt [h]	Stunden ohne Energiebezug (Fahrzeug ausgeschaltet) [h]
26	145803	39.69	237717	4475	40
53	148775	37.06	182185	4454	60

Tabelle 3: Wichtige Kenngrössen und Ergebnisse der Fahrzeuge

Hochrechnung auf 12 Monate				
Fahrzeug	Relativer Energieverbrauch gesamt [Wh/Btkm]	Mitt. Leistungsbezug im Stillstand [kW]	Einsparung im Stillstand	Einsparung auf Gesamtenergieverbrauch bezogen
26	39.82	52.52		
53	36.82	39.92	24%	7%

Tabelle 4: Wichtige Kenngrössen und Ergebnisse der Fahrzeuge im Beobachtungszeitraum und hochgerechnet auf 12 Monate.

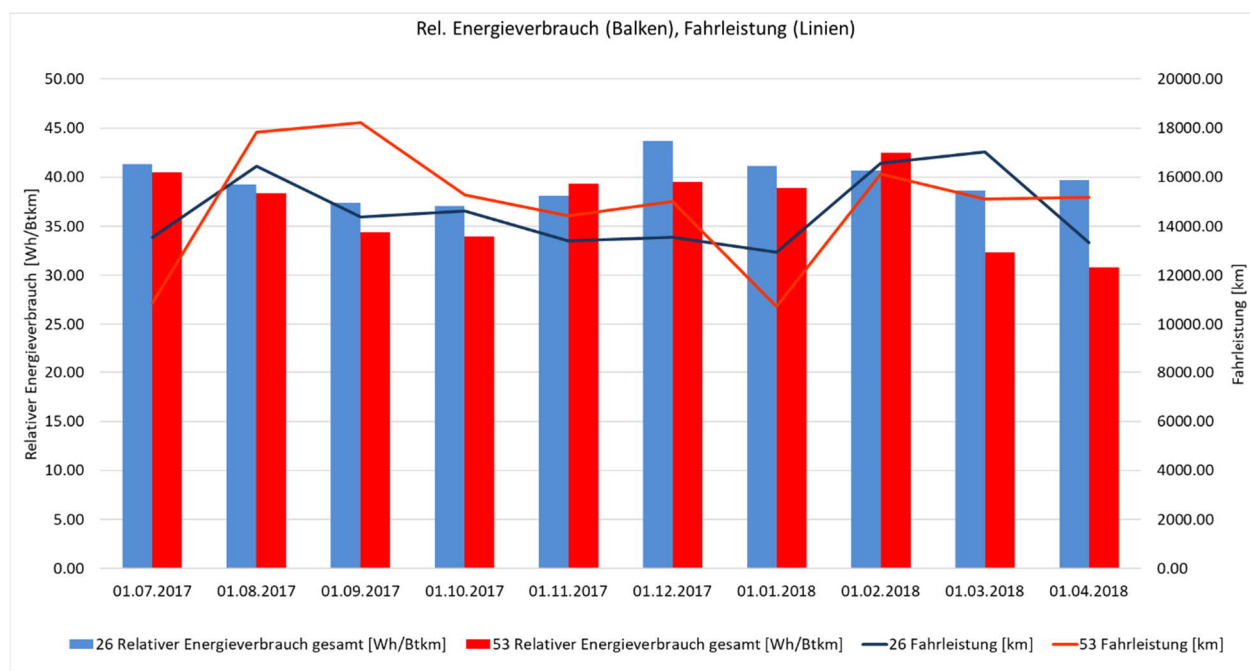


Abbildung 4: Relativer Energieverbrauch in Wh/Btkm und Fahrleistung pro Monat. Blau für Fahrzeug 26, in Rot für Fahrzeug 53.

4.1.6. Mittlerer Leistungsbezug im Stillstand

In Abbildung 5 ist je Fahrzeug der mittlere Netto-Leistungsbezug pro Stunde Stillstand (berechnet aus dem Energiebezug $\text{kWh} / \text{h} = \text{kW}$) sowie die Anzahl Stunden im Stillstand je Monat dargestellt. Der mittlere Leistungsbezug schwankt von Monat zu Monat entsprechen den Jahreszeiten und dem daraus resultierenden Leistungsbedarf für Heizung oder Kühlung. Deutlich erkennbar ist, dass das Fahrzeug 53 (Rot) im Stillstand immer weniger Leistung bezieht, wie Vergleichsfahrzeug 26 (Blau). Eher warm war der Januar 2018, was sich in einem tiefen Leistungsbezug der Fahrzeuge widerspiegelt. Eher kalt war dagegen der Februar 2018, da trotz einer tiefen Stillstandsdauer der Leistungsbezug hoch war.

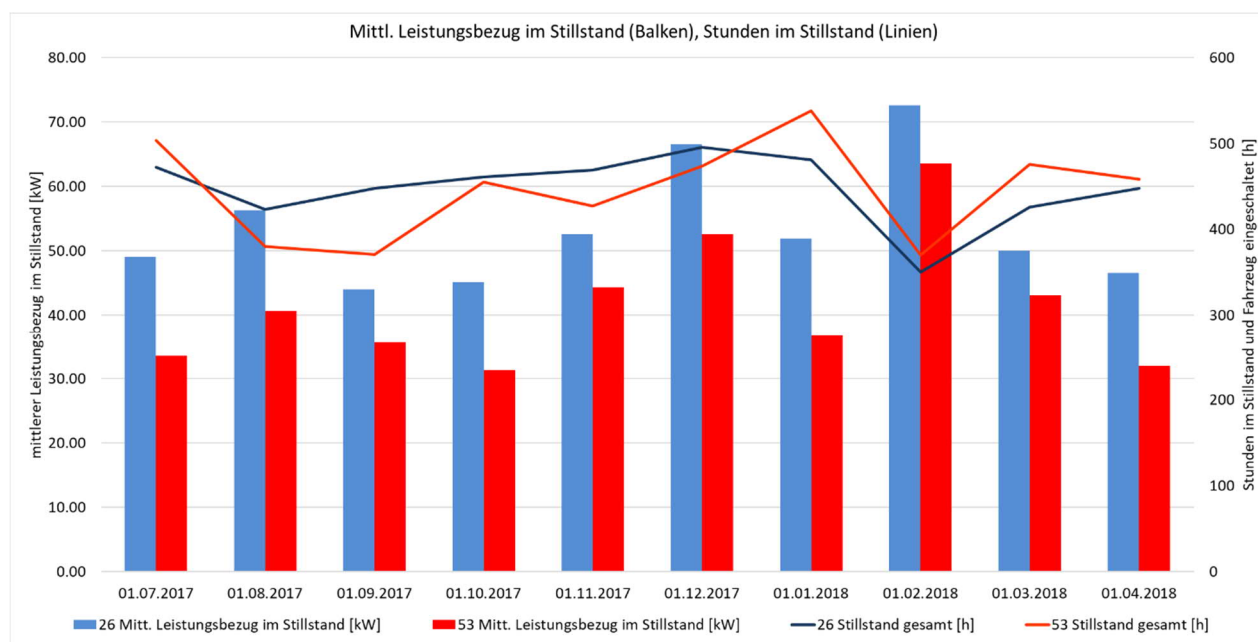


Abbildung 5: Mittlerer Netto-Leistungsbezug im Stillstand (Balken) sowie Anzahl Stunden im Stillstand je Monat. Blau für Fahrzeug 26, in Rot für Fahrzeug 53.

4.1.7. Detailvergleiche zwischen den Fahrzeugen.

Zur Veranschaulichung der Wirkungsweise der Teilzugabschaltung wurden folgende Darstellungen erstellt. Abbildung 6 zeigt das Fahrzeug 53 im September 2017. Dargestellt ist der Energieverbrauch des ganzen Monats im Stillstand, geordnet nach Tagesstunden. Der Heizenergiebedarf am Morgen ist deutlich zu erkennen. Der minimale Energieverbrauch (grün), entspricht dem Verbrauch bei aktivierter Teilzugabschaltung und ist deutlich tiefer als der minimale Energieverbrauch des Fahrzeugs 26 in der folgenden Abbildung.

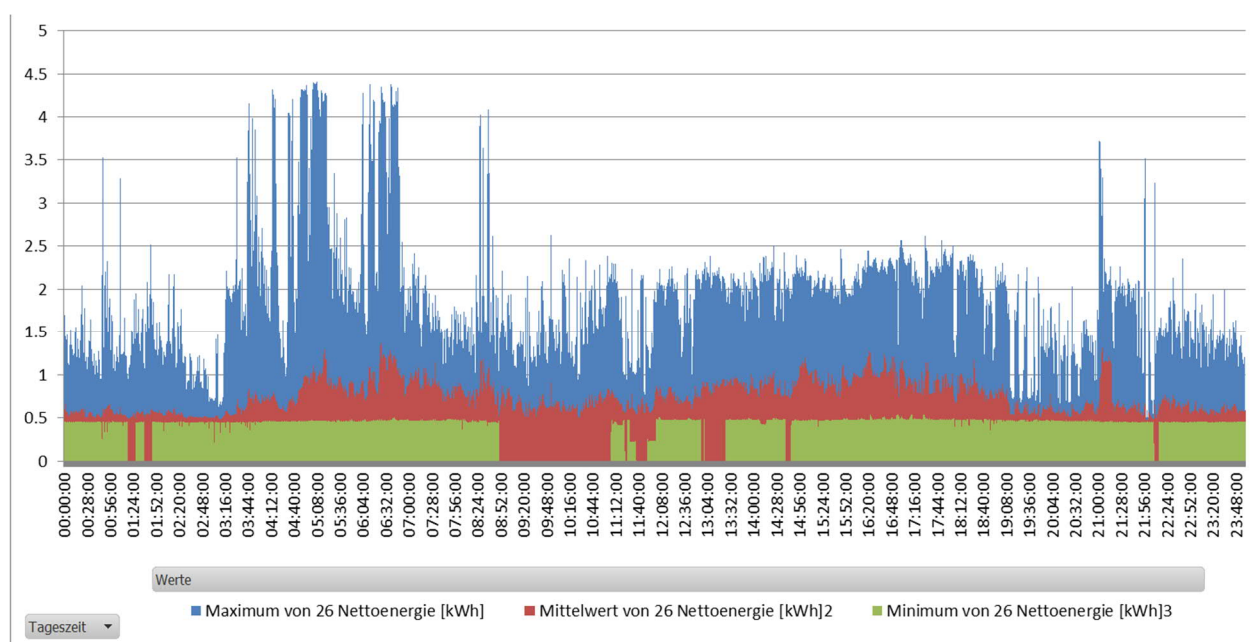
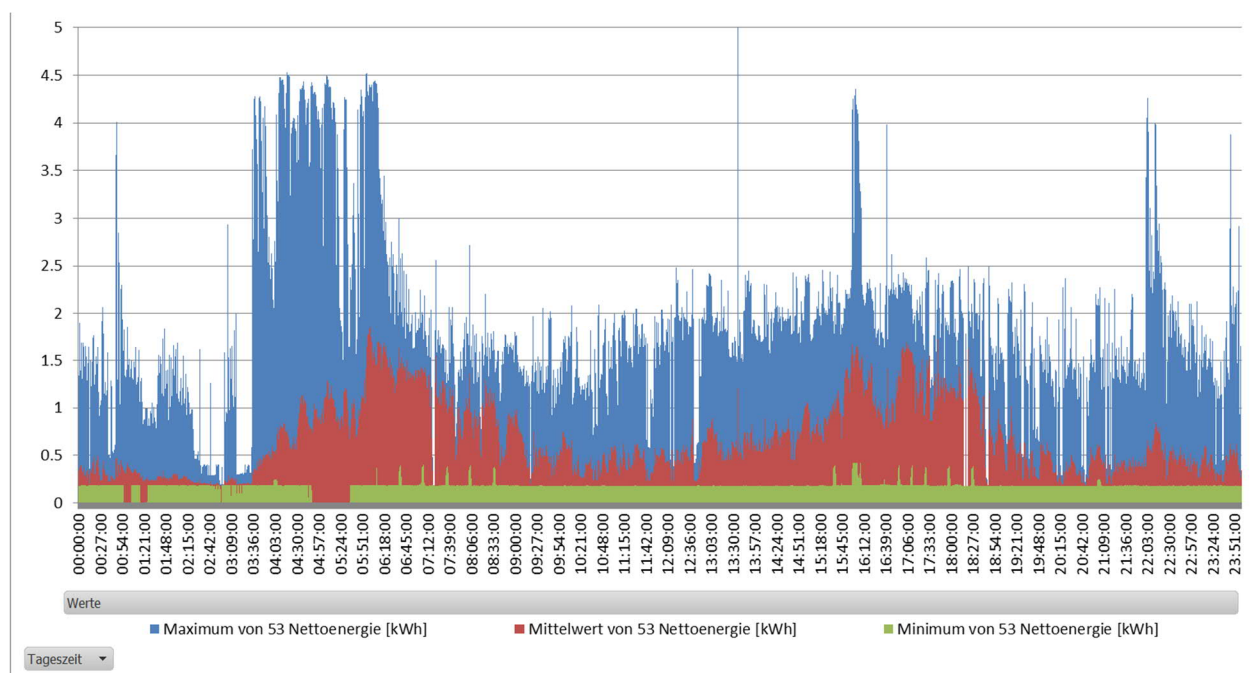


Abbildung 8 zeigt die Stunden der Teilzugabschaltung für Fahrzeug 53 je Halbzug. Rote und orange Balken repräsentieren je einen Teilzug. Die Lücke zur helloranen Linie (Stunden im Stillstand) entspricht der Dauer der Abstellung ohne aktive Teilzugabschaltung. Auffällig ist der Monat Februar 2018, aufgrund der tiefen Aussentemperaturen wurde die Teilzugabschaltung kaum aktiviert. Eine Aktivierung der Teilzugabschaltung ist nur möglich, wenn die Heizleistung klein genug ist, um den Zug mit nur einem Trafo mit Energie versorgen zu können und die Aussentemperaturen über 6 °C liegen.

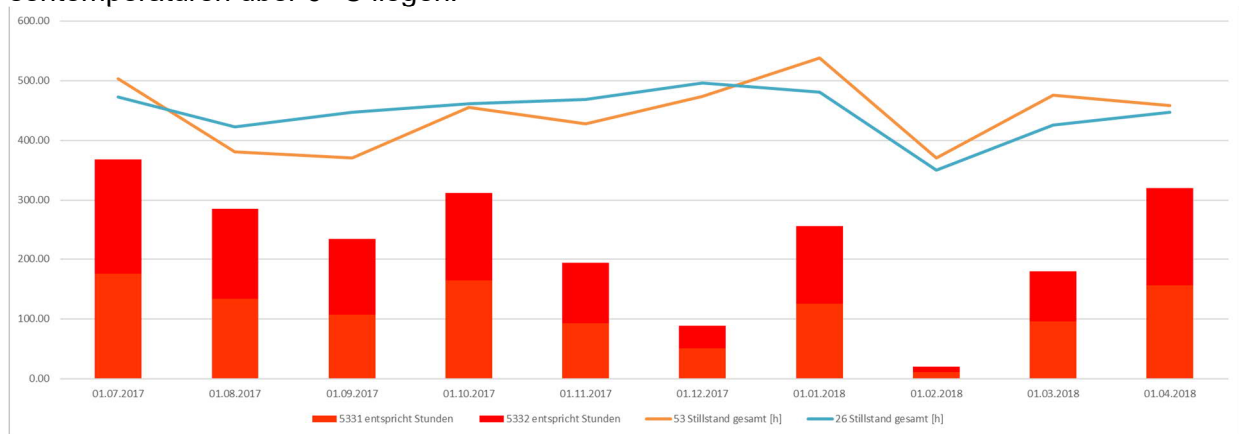


Abbildung 8: Stunden der Teilzugabschaltung für Fahrzeugs 53 je Halbzug. Rote und orange Balken repräsentieren je einen Teilzug. Stunden im Stillstand (Linien) der Fahrzeuge 26 (blau) und 53 (orange) pro Monat.

4.1.8. Energieeinsparung

Unter Annahme von vergleichbarer Fahrleistung pro Jahr der DTZ Züge wird die Energieeinsparung der Gesamtflotte von 61 Fahrzeugen zu 4.1 GWh berechnet. Aufgrund von möglichen Fehlerquellen und Unsicherheiten der langen Messzeiträume wird von einer Fehlertoleranz von +/- 5 % ausgegangen.

Damit wird die Prognose der Energieeinsparung aus dem Projektantrag leicht übertroffen.

4.2. Verifizierung der Abstelllärm-Reduktion

Der Abstelllärm der Fahrzeuge konnte mit den umgesetzten Massnahmen erheblich reduziert werden. Genauere Informationen hierzu liefert der Messbericht 1, welcher dem BAV vorliegt.

4.3. Stand der Fahrzeugausrüstung

Per Anfang November 2018 sind alle 61 RABe 514 DTZ mit der neuen Software ESP 3 ausgerüstet. Über den vollen Hardware-Umbau verfügen 55% aller Fahrzeuge oder 33 Züge.

Auftragsnummer	Auftr	Gesamt	Abgeschlossen	Offen	Quote
153467681	RABe 514 ESP: Hardwareumbau	61	33	28	55%
153467775	RABe 514 ESP: Softwareupdate	61	61	0	100%

5. Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Auf den 61 Triebzügen der S-Bahn Zürich (2. Generation, RABe 514) werden sechs verschiedene Massnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz umgesetzt. Relevant sind insbesondere die Abschaltung des Halb- bzw. Dreiviertelzugs, womit nicht benötigte Komponenten komplett ausgeschaltet werden. Für die gesamte Flotte wird eine Einsparung von 4.1 GWh pro Jahr ausgewiesen, dies entspricht dem Stromverbrauch von über 1000 Haushalten.

Bisher konzentrierten sich Energiesparmassnahmen mittels Softwareanpassungen vor allem auf die Bereiche Heizung, Lüftung, Klimatisierung und Traktion. Die permanenten Verbraucher wie Leerlaufverluste der Transformatoren, Trafoölpumpe, Hilfsbetriebeumrichter und entsprechender Lüfter waren nicht Gegenstand der Optimierungen, da dafür oft umfangreiche Hardwareanpassungen notwendig sind. Dass die Abschaltung dieser Komponenten einen grossen Energiesparbeitrag leisten können, wurde mit diesem Projekt gezeigt.

Zusätzlich ist die pneumatische Abtrennung des Bioreaktors während der Abstellung ein Novum, diese Lösung zur Reduktion der Lärmemissionen und des Energieverbrauchs wurde schweizweit erstmalig umgesetzt. Bisher konnte die SBB damit positive Betriebserfahrungen sammeln.

Résumé (en français)

6. Situation initiale

Au cours des années précédentes, deux paquets de mesures d'économies d'énergie ont déjà été mis en œuvre sur les rames automotrices RABe 514 DTZ. Ils mettaient l'accent sur l'optimisation des convertisseurs de traction et de la climatisation des compartiments voyageurs pour les trains en marche et les trains garés. Ce troisième paquet de mesures d'économies d'énergie se concentre sur l'optimisation de la commande des services auxiliaires. Il vise ainsi à augmenter l'efficacité énergétique et à réduire les émissions sonores provoquées par les véhicules garés afin de protéger les riverains des lieux de garage contre des nuisances sonores excessives.

Le premier paquet de mesures d'économies d'énergie, mis en œuvre en 2010, a permis de réduire la consommation d'énergie des véhicules en service via l'optimisation de la tension du circuit intermédiaire et l'introduction d'un mode de charge partielle.

Le deuxième paquet de mesures d'économies d'énergie contenait des améliorations de la courbe de traction/freinage, l'optimisation du mode de veille prolongée, ainsi que la régulation de l'air extérieur en fonction de l'occupation des voitures.

Une rame automotrice DTZ se compose de deux demi-trains identiques équipés chacun d'un pantographe, de deux transformateurs et d'un double convertisseur des services auxiliaires (HBU). Chaque HBU est subdivisé et dispose de deux modules pour le réseau de bord (3 x 400 V/50 Hz) et de deux chargeurs de batteries. Un seul ventilateur est installé pour les deux modules HBU. Si les températures extérieures et la consommation du moment le permettent, il convient de déclencher l'un des deux demi-trains garés sans altérer la disponibilité ni le confort.

Le déclenchement des services auxiliaires de la moitié ou des trois quarts d'un train garé est particulièrement significatif pour les économies. Il permet de réduire les pertes à vide des composants dont le fonctionnement n'est pas nécessaire.

Les économies globales obtenues grâce au troisième paquet de mesures d'économies d'énergie sont estimées à 4 GWh par an pour les 61 véhicules de la flotte.

Le projet est réalisé dans le cadre du programme d'économies d'énergie des CFF.

Les véhicules DTZ ont été livrés aux CFF par l'entreprise Siemens entre 2006 et 2009 et sont utilisés sur le réseau RER de Zurich.

7. Objectifs

Le troisième paquet de mesures d'économies d'énergie inclut les six interventions décrites ci-après. Leur mise en œuvre requiert une modification de la commande embarquée et du hardware des rames. La journée, les véhicules garés se mettent en mode de veille prolongée si aucun temps de préchauffage/prérefroidissement n'a été programmé par le personnel des locs. Si un temps de préchauffage/prérefroidissement est activé, il est possible de basculer en standby. Les trains passent automatiquement en standby entre 21h00 et 4h00.

Les interventions sont décrites ci-dessous.

7. Déclenchement d'une moitié de train. Des économies sont générées en évitant les pertes à vide des deux transformateurs et des deux convertisseurs des services auxiliaires déclenchés. Le

ventilateur des services auxiliaires est également coupé. L'intégration de contacteurs supplémentaires permet d'arrêter également les pompes à huile des transformateurs, lesquelles étaient jusqu'à présent couplées en permanence au réseau de bord.

8. Déclenchement des trois quarts du train. Si la température de l'huile des transformateurs et la consommation de courant (en fonction de la température extérieure) du demi-train enclenché le permettent, un des deux modules HBU au sein du double convertisseur des services auxiliaires ainsi que la troisième pompe à huile de transformateur sont déclenchés.
9. Déclenchement de l'éclairage des compartiments voyageurs ou de l'éclairage de secours des véhicules garés. Jusqu'à présent, il n'était pas possible de déclencher intégralement l'éclairage des compartiments voyageurs: l'éclairage de secours restait au minimum toujours actif. L'adaptation de la commande et du hardware du train permet désormais de désactiver intégralement l'éclairage de secours.
10. Optimisation du mode nettoyage. Si l'éclairage des compartiments voyageurs est activé à des fins de nettoyage, il est désormais automatiquement désactivé au bout de 20 minutes.
11. Réduction de la consommation d'air comprimé via une isolation pneumatique du bioréacteur en standby. Des valves ont été installées pour permettre l'isolation pneumatique temporisée du bioréacteur via l'électronique de commande. En outre, le compresseur principal se réenclenche à présent à partir de 6 bars de pression dans la conduite d'alimentation au lieu des 8,5 bars usuels.
12. Optimisation de la climatisation dans les cabines de conduite inoccupées.

Conformément à la demande de projet, les économies d'énergie devraient s'élever à quelque 65 MWh par an et par rame automotrice. Si l'on rapporte ces prévisions à l'ensemble des 61 DTZ de la flotte des CFF, le potentiel d'économies devrait être de 3,94 GWh par an. Le Tableau 5 présente une estimation pour chacune des mesures.

Économies d'énergie attendues dans le cadre du projet	
Déclenchement d'une moitié de train en mode de veille prolongée	2,60 GWh/a
Déclenchement des trois quarts du train et de la troisième pompe à huile de transformateur	0,60 GWh/a
Déclenchement de l'éclairage du compartiment voyageurs	0,38 GWh/a
Désactivation du mode nettoyage après 20 minutes	0,04 GWh/a
Isolation pneumatique du bioréacteur	0,04 GWh/a
Optimisation de la climatisation dans la cabine de conduite	0,29 GWh/a
Économies totales	3,94 GWh/a

Tableau 5: économies d'énergie attendues dans le cadre du projet

Pour permettre le déploiement fluide des mesures, la nouvelle commande embarquée doit être compatible avec les véhicules sans adaptation du hardware. Cette exigence envers la nouvelle commande est fondamentale. La modification du hardware va en effet s'étendre sur plusieurs années (en raison des capacités restreintes des ateliers), tandis que l'adaptation de la commande embarquée peut être réalisée en un an.

8. Angle de recherche et état actuel des connaissances

Jusqu'à présent, les optimisations énergétiques ont porté sur l'adaptation de la régulation dans les domaines du chauffage, de la ventilation et de la climatisation des compartiments voyageurs ou la gestion de la régulation de la traction. Les consommateurs permanents, tels que la pompe à huile des transformateurs, les convertisseurs des services auxiliaires et leurs ventilateurs, n'étaient pas concernés par ces optimisations qui auraient souvent nécessité de coûteuses modifications matérielles.

L'isolation pneumatique du bioréacteur des trains garés constitue par ailleurs une nouveauté. Cette solution de réduction des émissions sonores a été mise en œuvre pour la première fois à l'échelle de la Suisse. L'isolation pneumatique du bioréacteur permet de réduire la consommation en air comprimé des trains garés, allongeant ainsi les temps de repos des compresseurs à air comprimé. Dans l'ensemble, les émissions sonores provoquées par les trains garés sont réduites. Les CFF espèrent enregistrer des résultats opérationnels positifs.

9. Résultats

Les conséquences de l'adaptation de la commande embarquée ont été analysées dans le cadre de nombreux tests et de phases d'exploitation pilote (Anhang), ce qui a permis l'identification de dérangements. La levée de ces derniers a nécessité plusieurs interventions successives. Le nouveau comportement de la climatisation de la cabine de conduite a dû être également adapté suite aux feed-back du personnel des locs afin de pouvoir utiliser les véhicules sans trop altérer le confort.

La mise en œuvre du projet s'est déroulée en deux phases: dans un premier temps, un prototype a été mis au point sur la base des modifications matérielles et logicielles définies afin de réaliser des tests approfondis. La phase de test a duré un an de plus que prévu en raison de problèmes rencontrés avec le nouveau logiciel embarqué.

Le déploiement du logiciel dans toute la flotte a été réalisé dans le cadre d'une seconde phase. Les modifications des véhicules sont effectuées en continu lors des révisions modulaires.

3. Phase: projet de concept et mise au point d'un prototype: juillet 2015 – juillet 2017
 - Ingénierie des modifications du hardware par le fournisseur du véhicule
 - Programmation du logiciel par le fournisseur du véhicule
 - Transformation du véhicule et test des modifications en service
4. Phase: transformation de série et déploiement dans toute la flotte: avril 2016 – juillet 2019
 - Déploiement du logiciel
 - Révision de la nomenclature de fabrication et des numéros d'articles
 - Établissement des dessins techniques et des instructions de travail pour la transformation
 - Commande des articles nécessaires
 - Transformation de série dans le cadre des révisions modulaires (d'août 2017 à fin 2019)

Le projet a débuté le 1^{er} juillet 2015 et devrait s'achever en décembre 2019.

9.1. Vérification des économies d'énergie et discussions

Les véhicules 53 et 26 ont été observés sur la période du 1^{er} juillet 2017 au 30 avril 2018 afin de vérifier les économies d'énergie. Les données manquantes pour le calcul des économies sur 12 mois ont été extrapolées en comptant deux fois les mois d'avril 2018 et de juillet 2017.

9.1.1. Véhicule prototype et véhicule de référence

Le véhicule 53 (numéro UIC 94 85 0514 **053**-3) est le prototype utilisé pour cette mesure. Il a été équipé en mai 2016 du hardware requis et du nouveau logiciel. Il est en service et dispose de la version 5.5.2 depuis 2016.

Le véhicule 26 (numéro UIC 94 85 0514 **026**-9) est le véhicule de référence de cette mesure. Il était équipé de la version logicielle précédente jusqu'au 24 mai 2018 (paquet de mesures d'économies d'énergie 2, version 5.4.0).

Ces deux véhicules sont utilisés pour des profils d'intervention similaires dans la zone du RER Zurich.

Numéro UIC	Type de véhicule	Numéro du compteur d'énergie 1	Numéro du compteur d'énergie 2
94 85 0514 026 -9	RABe 514	9485051402691	9485051402692
94 85 0514 053 -3	RABe 514	9485051405331	9485051405332

9.1.2. Relevé de la consommation d'énergie

Les consommations d'énergie des véhicules sont relevées à l'aide du système de mesure idoine, mis en place au sein de la flotte actuelle de CFF Voyageurs dans le cadre du projet de facturation du courant de traction basée sur le principe du responsable-payeur. Les compteurs d'énergie sont développés conformément à la norme EN 50463 et répondent aux exigences en matière de précision. À l'avenir, la consommation d'énergie effective des véhicules sera facturée via ce système. Chaque rame automotrice est équipée de deux compteurs qui enregistrent respectivement la consommation d'énergie et d'autres données d'un demi-train, puis les envoient à une centrale pour analyse.

Le système de mesure d'énergie fournit des données toutes les minutes. L'analyse portait sur

- la consommation d'énergie nette [kWh],
- les mètres parcourus [m] (en tant qu'indicateur des phases d'«immobilisation» ou de «circulation») et
- l'indicateur qualitatif «lieu» pour la fiabilité de la localisation du véhicule.

La consommation d'énergie des trains garés a été calculée sur la base des valeurs énergétiques mesurées à l'arrêt («mètres parcourus = 0»). Elle englobe ainsi également les arrêts commerciaux (consommation d'énergie pendant les temps de rebroussement ou les arrêts de plus d'une minute en gare) au cours desquels les consommateurs CVC fonctionnent normalement. Cette méthode ayant été appliquée pour le véhicule prototype et le véhicule de référence, il est possible d'estimer les économies d'énergie réalisées. En revanche, il n'est pas possible d'évaluer la consommation d'énergie en mode de veille prolongée/standby. Le présent rapport évalue systématiquement la consommation d'énergie du véhicule à l'arrêt en mode commercial et non commercial.

9.1.3. Estimation de la qualité des données fournies

Le système de mesure fournit des valeurs sur les consommations d'énergie, la vitesse et la distance parcourue, assorties d'indicateurs qualitatifs pour chaque point mesuré, qui permettent de tirer des conclusions sur la cohérence des mesures. À cet égard, chaque valeur de mesure est considérée comme «correcte», «non fiable» ou «non valable».

L'analyse des valeurs mesurées toutes les minutes en août 2017 des véhicules garés (filtre: distance parcourue = 0 km) montre que la quasi-totalité des valeurs relevées sont fiables. Par conséquent, la qualité des données est considérée comme bonne.

L'analyse repose sur le ratio entre les valeurs de mesure avec l'indicateur qualitatif d'énergie «non fiable» et le nombre total de valeurs de mesure.

Appareil DHS	Mois	Nombre de valeurs de mesure non fiables	Nombre total de valeurs de mesure	Part de valeurs non fiables par rapport au nombre total de valeurs de mesure
9485051402691	Août 2017	8	25103	0,032%
9485051402692	Août 2017	18	24953	0,072%
9485051405331	Août 2017	36	16484	0,218%
9485051405332	Août 2017	27	15126	0,179%

On a constaté que le véhicule 26 n'a pas fourni d'indications correctes en mars 2018 (absence de localisation). Voir à ce sujet le point 11.2 en annexe.

9.1.4. Durée du garage

Les périodes de garage du véhicule sont importantes pour les économies d'énergie. La durée que les véhicules passent dans les différents modes est indiquée aux illustrations 2 et 3.

La durée du garage correspond à la durée d'immobilisation du véhicule (zéro kilomètre parcouru pendant une minute), déduction faite des arrêts commerciaux en gare, des arrêts d'exploitation (base: horaires des véhicules) et du temps requis jusqu'à la réactivation du mode de veille prolongée (base: spécification du logiciel). La durée de garage moyenne (12h30 par jour pour le véhicule 53 et 12h00 par jour pour le véhicule 26) équivaut pour le véhicule 26 à la durée du mode de veille prolongée/standby étant donné que le véhicule n'est quasiment jamais déclenché (consommation d'énergie nette égale à zéro). S'agissant de la durée de garage du véhicule 53, on fait la distinction entre le garage **sans** déclenchement actif d'une partie du train (deux compteurs d'énergie actifs) et le garage **avec** déclenchement actif d'une partie du train (un seul compteur d'énergie actif).

Durée des modes d'exploitation		Véh. 26	Véh. 53
Circulation	h/j	9,22	8,91
Arrêts commerciaux (estimation)	h/j	2	2
Temps requis jusqu'à l'activation du mode de veille prolongée (estimation)	h/j	0,75	0,75
Garage avec déclenchement actif d'une partie du train	h/j	0,42	7,82
Garage sans déclenchement actif d'une partie du train	h/j	11,60	4,51
Véhicule déclenché	h/j	0,01	0,01

Tableau 6: durée des modes d'exploitation de chaque véhicule en heures par jour; valeurs moyennes d'une année

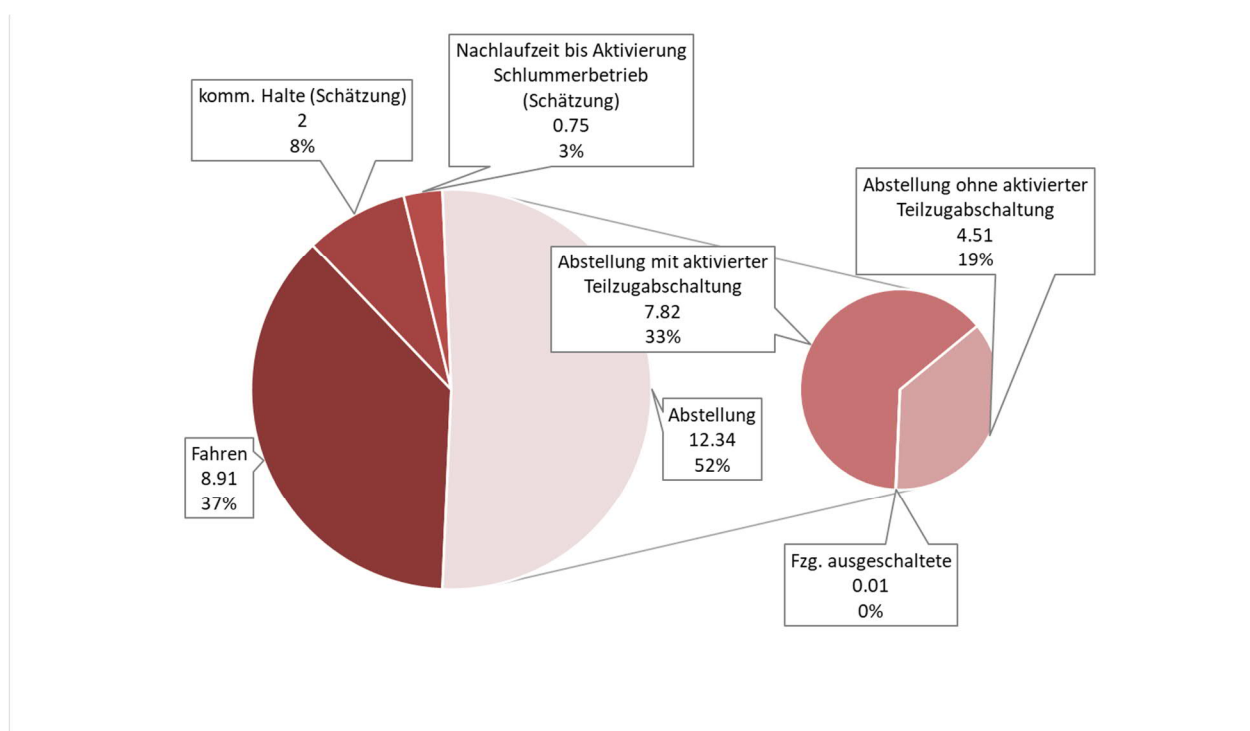


Illustration 9: durée des modes d'exploitation en heures par jour, valeurs moyennes d'une année du véhicule 53; identification d'une hausse du garage avec déclenchement actif d'une partie du train imputable à la mesure d'économies d'énergie

Textes d'aide pour les graphiques:

Circulation
Arrêts commerciaux (estimation)
Temps requis jusqu'à l'activation du mode de veille prolongée (estimation)
Garage avec déclenchement actif d'une partie du train
Garage sans déclenchement actif d'une partie du train
Véhicule déclenché
Valeur moyenne en heures à l'arrêt par jour ($v = 0$ km/h), basée sur les deux véhicules

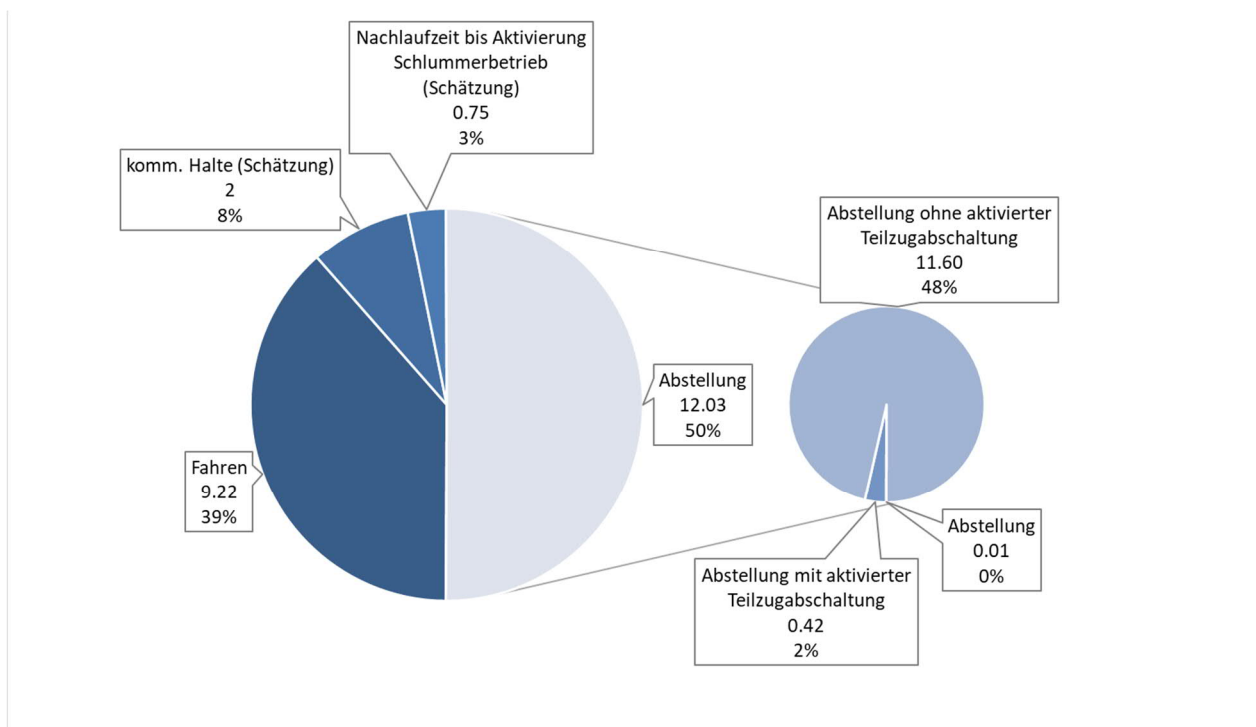


Illustration 10: durée des modes d'exploitation en heures par jour, base: valeurs moyennes d'une année, véhicule 26

9.1.5. Consommation d'énergie des véhicules

Le Tableau 7 répertorie les principaux critères d'appréciation de la consommation d'énergie sur la période d'observation, ainsi qu'une extrapolation sur 12 mois. La consommation d'énergie relative mensuelle des véhicules est représentée sur Illustration 11.

Critères d'appréciation importants et résultats des véhicules Période du 1 ^{er} juillet 2017 au 30 avril 2018					
Véhicule	Prestation kilométrique [km]	Consommation d'énergie relative [Wh/t-km brute]	Consommation d'énergie à l'arrêt [kWh]	Arrêt total [h]	Heures sans consommation d'énergie (véhicule déclenché) [h]
26	145 803	39,69	237 717	4475	40
53	148 775	37,06	182 185	4454	60

Extrapolation sur 12 mois				
Véhicule	Consommation d'énergie relative totale [Wh/t-km brute]	Consommation d'énergie moyenne à l'arrêt [kW]	Économies à l'arrêt	Économies rapportées à la consommation d'énergie totale
26	39,82	52,52		
53	36,82	39,92	24%	7%

Tableau 7: critères d'appréciation importants et résultats des véhicules dans la période d'observation et extrapolés sur 12 mois

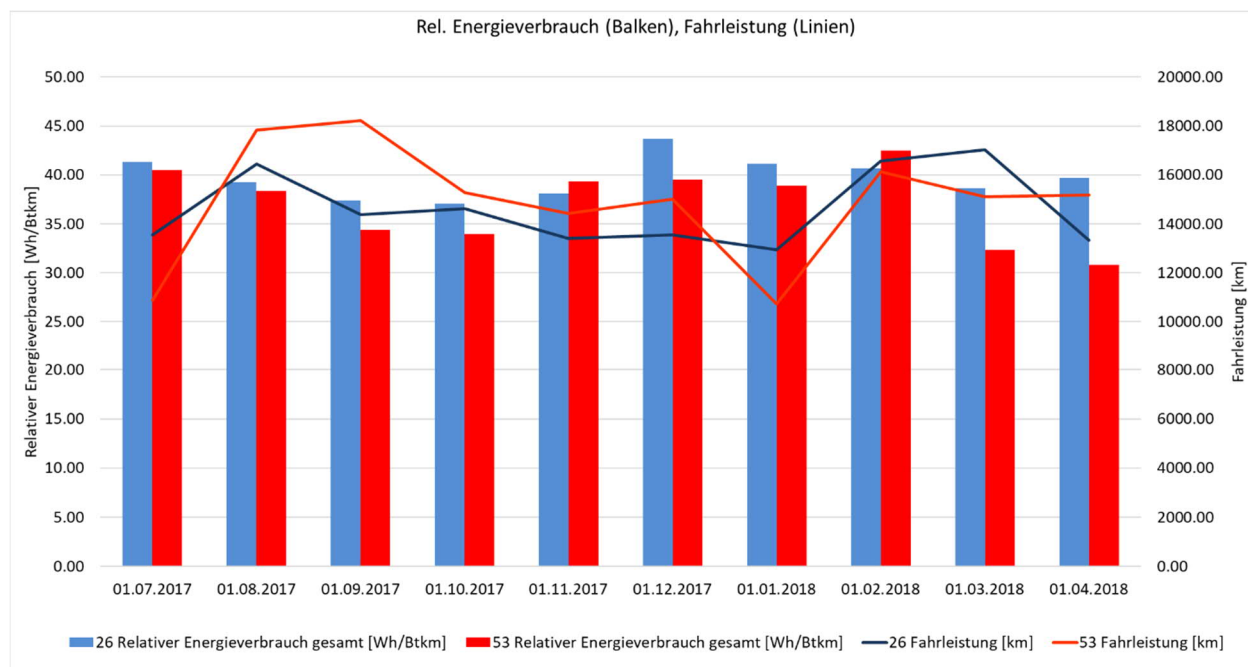


Illustration 11: consommation d'énergie relative en Wh/t-km brute et prestation kilométrique par mois; barres bleues pour le véhicule 26 et barres rouges pour le véhicule 53

9.1.6. Consommation d'énergie moyenne à l'arrêt

L'Illustration 12 représente la consommation d'énergie nette moyenne de chaque véhicule par heure à l'arrêt (calculée à partir de la consommation d'énergie kWh/h = kW), ainsi que le nombre d'heures à l'arrêt par mois. La consommation d'énergie moyenne varie chaque mois, selon les saisons et les besoins d'énergie subséquents pour le chauffage ou le refroidissement. Il apparaît clairement que le véhicule 53 (en rouge) consomme toujours moins d'énergie à l'arrêt que le véhicule de référence 26 (en bleu). Le mois de janvier 2018 a été plutôt chaud ce qui se reflète dans la faible consommation des véhicules. Au contraire, le mois de février 2018 a été plutôt froid comme le montre la consommation élevée malgré une durée d'arrêt réduite.

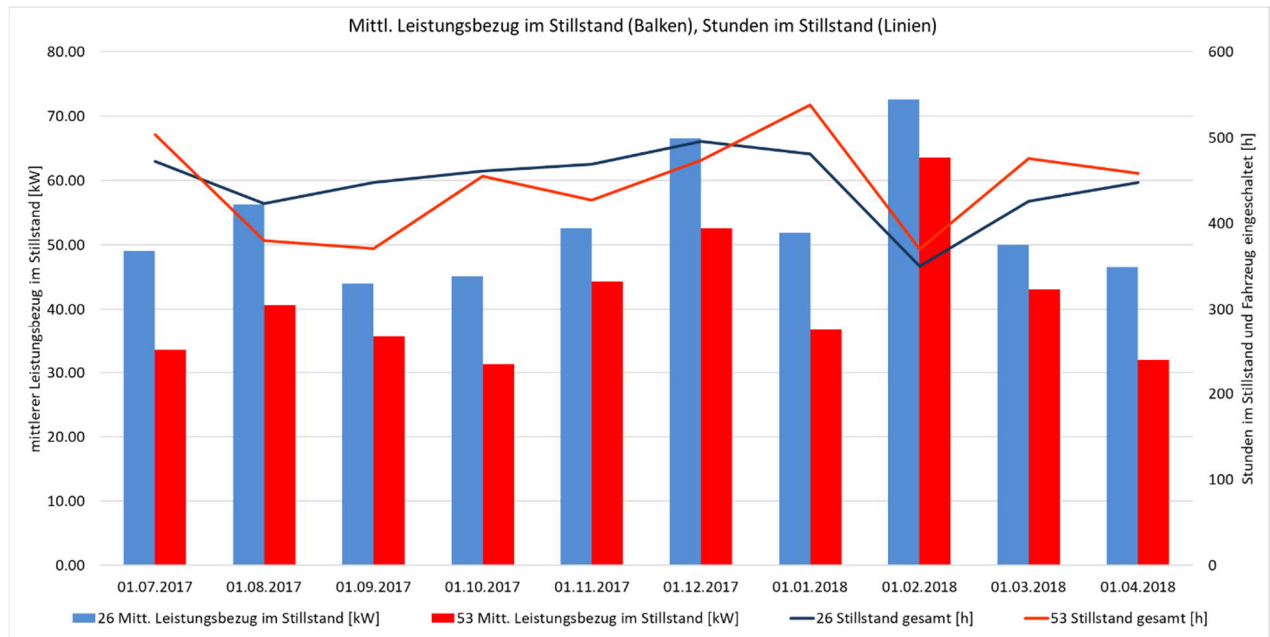
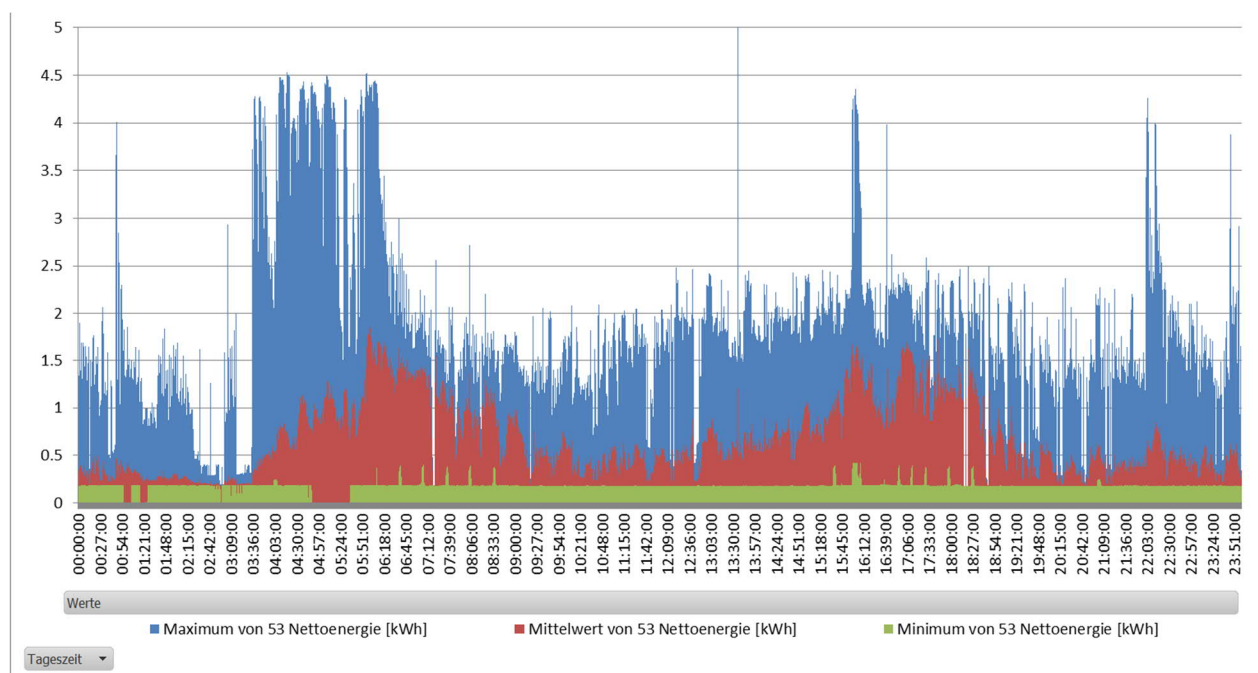


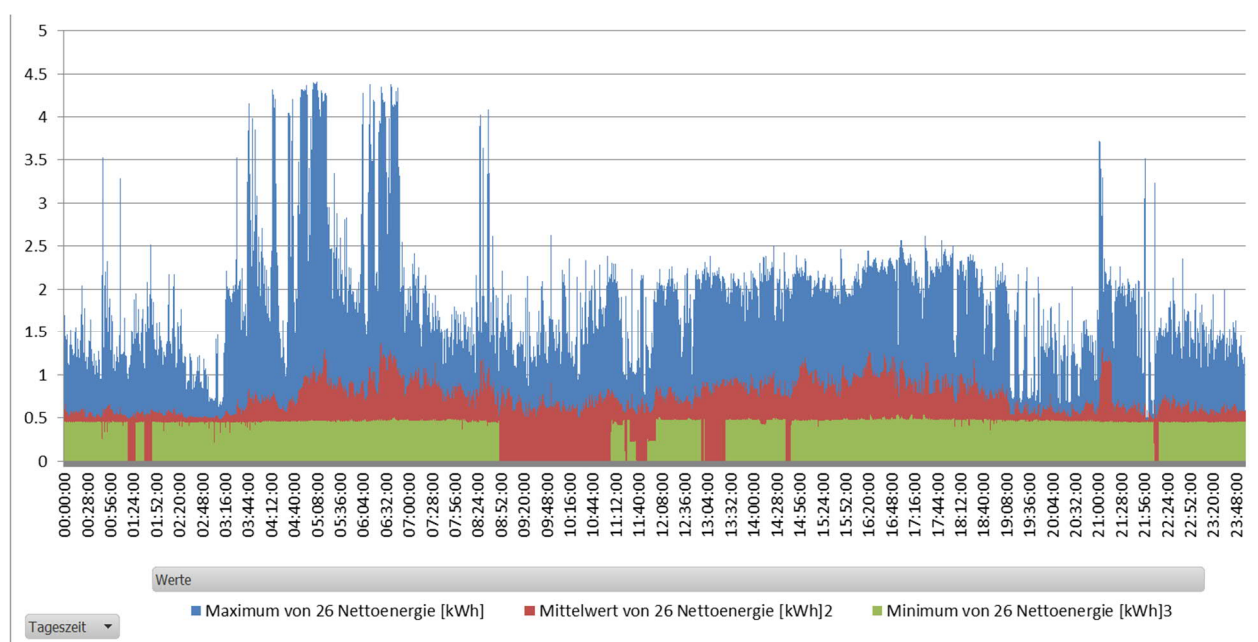
Illustration 12: consommation nette moyenne à l'arrêt (barres) et nombre d'heures à l'arrêt par mois; barres bleues pour le véhicule 26 et barres rouges pour le véhicule 53

9.1.7. Comparaisons détaillées des véhicules

Les représentations ci-après illustrent l'impact du déclenchement de parties du train. L'illustration 13 montre la consommation d'énergie du véhicule 53 à l'arrêt, en fonction des heures de la journée, pour tout le mois de septembre 2017. Les besoins en énergie de chauffage le matin sont bien visibles. La consommation d'énergie minimale (en vert) correspond à la consommation en cas de déclenchement actif de parties du train et est nettement inférieure à la consommation d'énergie minimale du véhicule 26 visible dans l'illustration suivante.

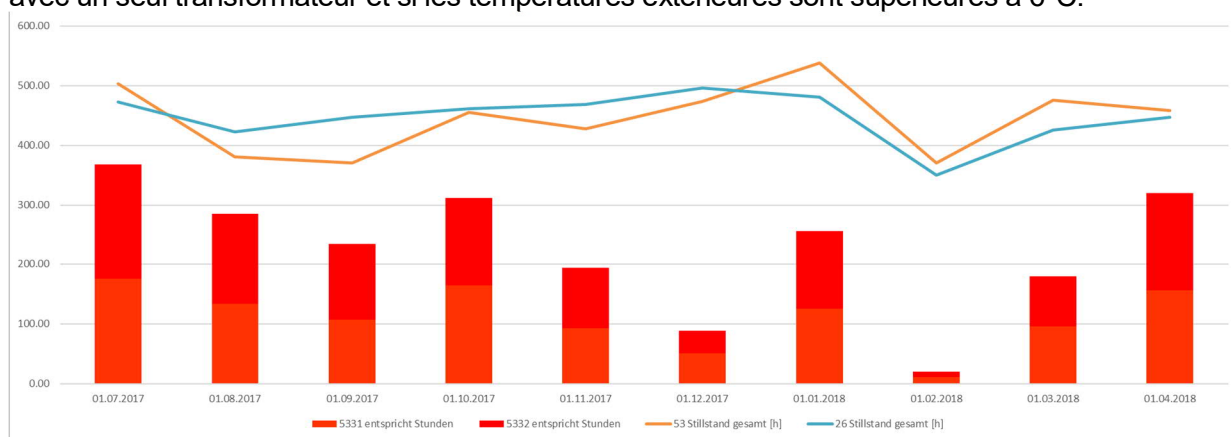


L'illustration 13 montre la consommation d'énergie du véhicule 53 à l'arrêt, en fonction des heures de la journée, pour tout le mois de septembre 2017. Les besoins en énergie de chauffage le matin sont bien visibles. La consommation d'énergie minimale (en vert) correspond à la consommation en cas de déclenchement actif de parties du train et est nettement inférieure à la consommation d'énergie minimale du véhicule 26 visible dans l'illustration suivante.



L'illustration 14 montre la consommation d'énergie du véhicule 26 à l'arrêt, en fonction des heures de la journée, pour tout le mois de septembre 2017. Les besoins en énergie de chauffage le matin sont bien visibles. La consommation d'énergie minimale (en vert) est nettement plus élevée que celle du véhicule 53 dans l'illustration précédente.

L'illustration 15 présente les heures de déclenchement de parties du véhicule 53 par demi-train. Les barres rouges et orange représentent chacune une partie du train. L'écart par rapport à la courbe orange clair (heures à l'arrêt) correspond à la durée du garage sans déclenchement actif de parties du train. Le mois de février 2018 se distingue le peu d'activations du déclenchement de parties du train en raison des températures extérieures basses. L'activation n'est possible que si la puissance de chauffage requise est suffisamment faible pour pouvoir alimenter le train en énergie uniquement avec un seul transformateur et si les températures extérieures sont supérieures à 6°C.



L'illustration 15 montre les heures de déclenchement de parties du véhicule 53 par demi-train. Les barres rouges et orange représentent chacune une partie du train. Heures à l'arrêt (courbes) des véhicules 26 (en bleu) et 53 (en orange) par mois.

9.1.8. Économies d'énergie

En admettant que les trains DTZ enregistrent une prestation kilométrique annuelle comparable, les économies d'énergie des 61 véhicules de la flotte sont estimées à 4,1 GWh. En raison des sources d'erreur possibles et des incertitudes liées aux longues périodes de mesure, on inclut une tolérance à l'erreur de +/- 5%.

Les prévisions d'économies d'énergie indiquées dans la demande de projet sont ainsi légèrement dépassées.

9.2. Vérification de la réduction des nuisances sonores provoquées par les véhicules garés

Les nuisances sonores provoquées par les véhicules garés ont été considérablement réduites par les mesures mises en œuvre. Les informations détaillées correspondantes figurent dans le rapport de mesure 1 remis à l'OFT.

9.3. État de l'équipement du véhicule

Début novembre 2018, les 61 rames RABe 514 DTZ ont toutes été équipées du nouveau logiciel ESP 3. Le nouveau hardware a été installé dans 33 trains, soit 55% de la flotte.

Numéro d'ordre	Ordre	Total	Clôturé	Ouvert	Taux
153467681	RABe 514 ESP: modification du hardware	61	33	28	55%
153467775	RABe 514 ESP: mise à jour du logiciel	61	61	0	100%

10. Conclusions et recommandations

Six mesures de hausse de l'efficacité énergétique sont actuellement mises en œuvre sur les 61 rames automotrices du réseau RER de Zurich (2^e génération, RABe 514). L'une d'entre elles, le déclenchement de la moitié ou des trois quarts du train, permet de désactiver les composants non utilisés et ainsi d'économiser 4,1 GWh par an sur l'ensemble de la flotte, soit l'équivalent de la consommation de plus de 1000 foyers.

Jusqu'à présent, les mesures d'économies d'énergie ont principalement porté sur des adaptations logicielles dans les domaines du chauffage, de la ventilation, de la climatisation et de la traction. Les consommateurs permanents occasionnant de fortes pertes à vide, tels que les transformateurs, la pompe à huile des transformateurs, les convertisseurs des services auxiliaires et leurs ventilateurs, n'étaient pas concernés par ces optimisations qui auraient souvent nécessité d'importantes modifications matérielles. Le présent projet a toutefois montré que le déclenchement de ces composants garantissait de fortes économies d'énergie.

L'isolation pneumatique du bioréacteur des véhicules garés constitue par ailleurs une nouveauté. Cette solution de réduction des émissions sonores et de la consommation d'énergie a été mise en œuvre pour la première fois à l'échelle de la Suisse. Les CFF ont enregistré jusqu'ici des résultats opérationnels positifs.

11. Anhang

11.1. Erstellte Unterlagen und Dokumente

Im Rahmen dieser Arbeiten wurden die folgenden Unterlagen erstellt.

1. Prüfbericht «Messung Aussenlärm im Schlummerbetrieb DTZ RABe 514 ESP III», C89998/01
2. Software Release Note, CAA 20119905
3. Lastenheft RABe 514 Energiesparpaket III, BCA 20119894
4. Pflichtenheft RABe 514 Rel 5.5.2, CAA 20119900
5. Validierungstests RABe 514 Rel 5.5.1, CAA 20119911
6. Regressionstests RABe 514 Rel 5.5.2, CAA 20119913
7. Bedienhandbuch und Ergänzungen RABe 514, 20000908 und 20022214
8. Kostenzusammenstellung DTZ ESP 3.xlsx

11.2. Detailanalyse Energieverbrauch des Fahrzeugs 26, März 2018

Im März 2018 wurden von Zug 26 (Referenzfahrzeug) auffallend viele Energiewerte mit ungültigen Ortsangaben aufgezeichnet (zurückgelegten km=0, Qualitäts-Flag «Ungültig»). Eine genauere Analyse zeigt, dass in dem Zeitraum mit ungültigen Ortsangaben sowohl Fahr- wie auch Standzeiten fallen (Abbildung 16, Abbildung 17, Abbildung 18).

Dies wurde in dieser Auswertung mathematisch korrigiert, indem Energieverbräuche mit ungültigem Ortskoordinaten der Betriebsart Fahren zugeschlagen wurden.

Wird der Energieverbrauch mit ungültiger Ortsangabe dem Zustand Fahren zugeschlagen, wird der Energieverbrauch etwas verfälscht (Mehrverbrauch). Zusätzlich wird der Energieverbrauch der Abstellung verfälscht (Minderverbrauch). Ausserdem liegen für diesen Zeitraum keine Informationen über gefahrene Kilometer vor.

Insgesamt entsprechen die fehlerhaften Daten einem Energieverbrauch von 13.4 MWh, 37% des Monatsverbrauchs März 2018 des Fahrzeugs 26.

Mehrheitlich fährt der Zug im Zeitraum mit fehlerhaften Ortsangaben. Eine Zurechnung der fehlerhaften Werte zum Zustand Fahren scheint als einfache Abhilfe angemessen.

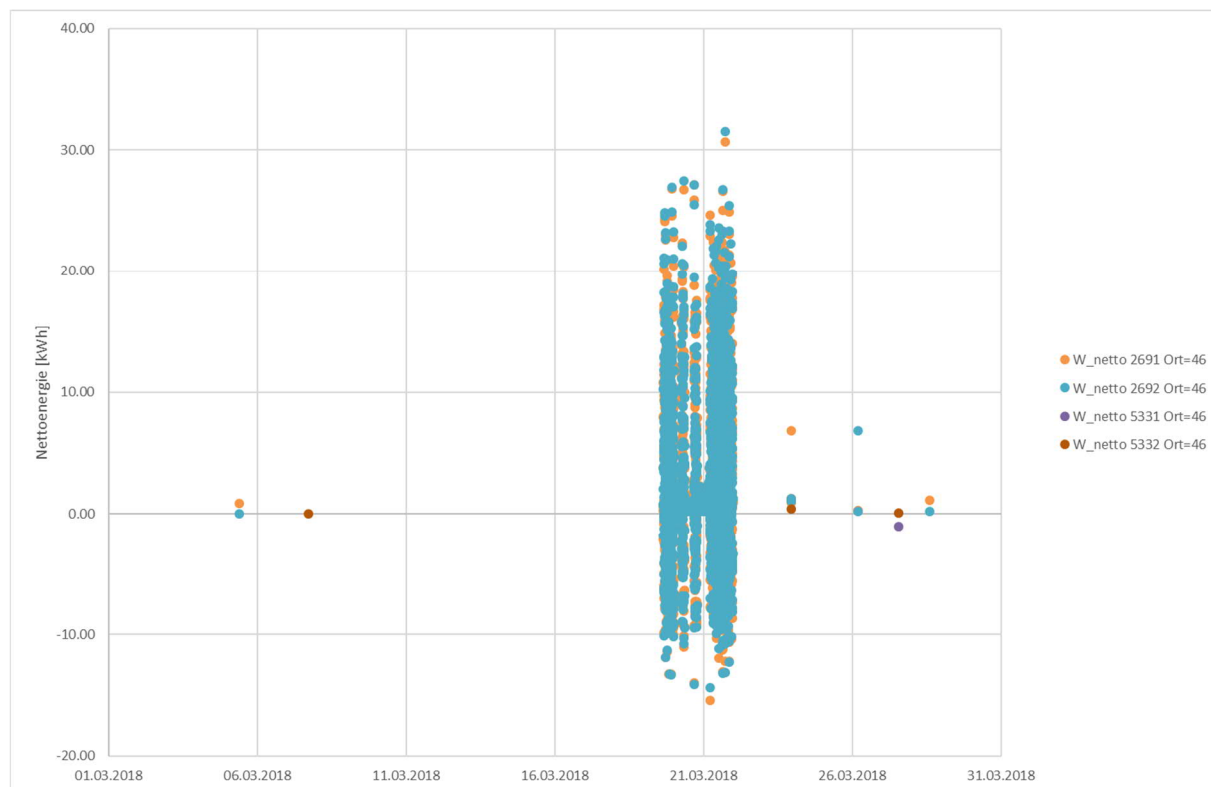


Abbildung 16: Datenanalyse Monat März 2018, Energiewerte mit ungültiger Ortsangabe. Auffällig viele ungültige Ortsangaben treten bei Fahrzeug 26 im Zeitraum 19.03.2018 16:18 Uhr bis 21.03.2018 22:57 Uhr auf.

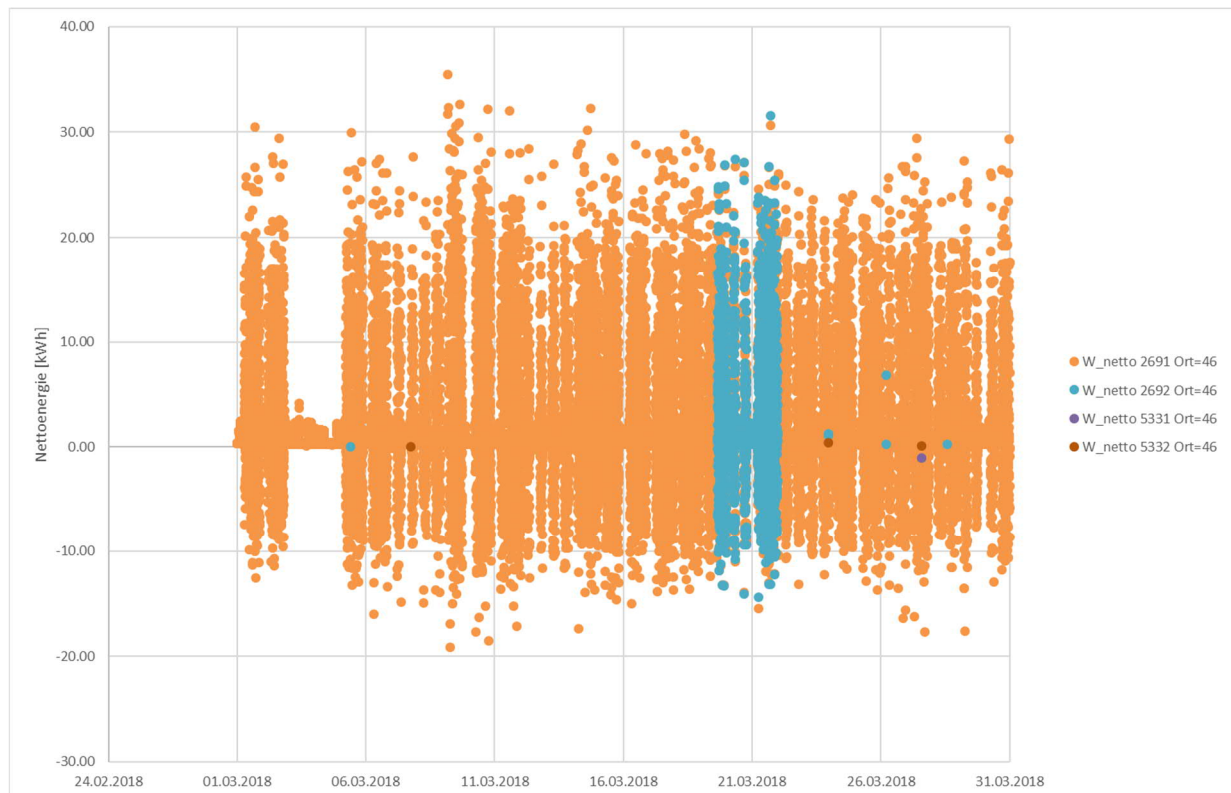


Abbildung 17: Orange: Nettoenergieverbrauch aller Werte im März, Zähler 2691. Blau: ungültige Werte des Zähler 2692. Bei Fahrzeug 53 traten nur punktuell ungültige Werte auf. Aufgrund des Bildes kann davon ausgegangen werden, dass nur die Ortsangaben ungültig waren. Das Muster des Verbrauchs scheint über den ganzen Monat plausibel zu sein. Damit wird eine fehlerhafte Energiemessung ausgeschlossen.

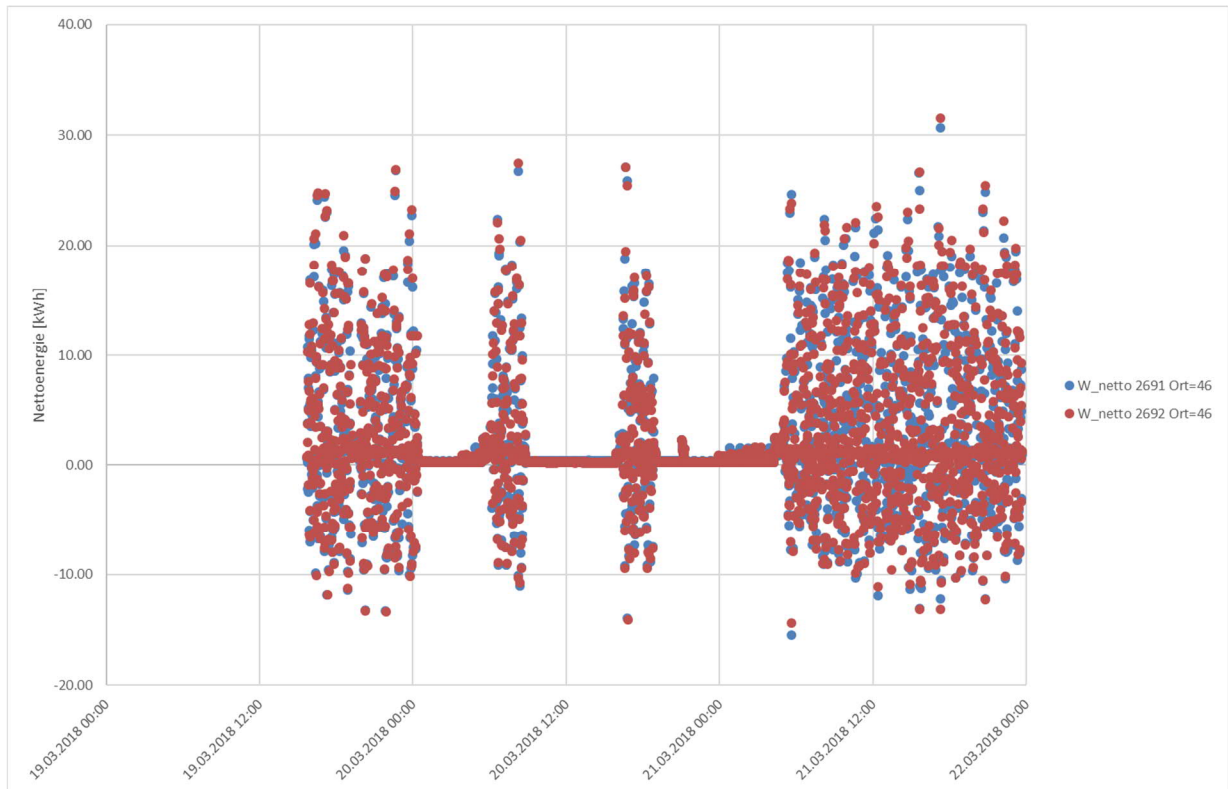


Abbildung 18: Vergrößerung des relevanten Datenbereichs 19.3.2018 bis 21.3.2018; Nettoenergie in kWh der beiden Zähler des Zuges 26 mit ungültiger Ortsangabe.