



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)

Prototyp energieoptimierte Druckluftherzeugung in der Parkstellung NPZ Domino.

Prototype d'optimisation énergétique pour la production d'air comprimé des NTN Domino en position «Parc».

Schlussbericht

Rapport final

Johannes Estermann, Sascha Bühlmann
SBB Schweizerische Bundesbahnen AG
Wylstrasse 125 · 3000 Bern 65 · Schweiz

johannes.ester mann@sbb.ch, www.sbb.ch

Begleitgruppe

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

SBB: Sascha Bühlmann, Christian Rogger, Philippe Zimmermann, Thierry Linder, Johannes Estermann.

Impressum

Herausgeberin:

Bundesamt für Verkehr BAV

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

CH-3003 Bern

Programmleiter

Tristan Chevroulet, BAV

Projektnummer: 137

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 19.12.2019

Inhalt

Executive Summary in Deutsch	2
Résumé en français	2
Executive Summary in Englisch	3
Zusammenfassung in Deutsch.....	4
1. Ausgangslage	4
2. Ziele der Arbeit	4
3. Forschungsansatz und aktueller Wissensstand	5
4. Ergebnisse.....	5
Optimierte Einschalthysterese.....	6
Kühlölpumpen werden abgeschaltet	7
Anpassung der Fahrzeugsteuerung	8
Prototyp und Dokumentation für Serienumbau	8
Nachweis Energieverbrauch	8
Akustikmessungen in der Abstellung	10
5. Nebeneffekte	10
6. Schlussfolgerungen und Empfehlungen	11
Résumé dans une deuxième langue nationale	11
7. Conclusions et recommandations	11
Symbol- und Abkürzungsverzeichnis	13
Anhang	13

Executive Summary in Deutsch

Die Druckluftherzeugung der in Parkstellung abgestellten SBB Triebwagen vom Typ NPZ Domino ist bisher nicht optimal gelöst. Heute sind der Druckluftkompressor und die Traktionskühlung in einer gemeinsamen Verbrauchergruppen zusammengeschaltet, was zu hohem Energieverbrauch und grosser Lärmemission in der Parkstellung führt.

Neben den Massnahmen „elektrische Trennung der Druckluftversorgung von der Traktionskühlung“ sowie der „Optimierung der Einschalthysterese der Druckluftversorgungsanlage“ wurde die zusätzliche Massnahme «Abschaltung der Traktionskühlölpumpen in der Parkstellung» zur weiteren Energieeinsparungen entwickelt. Die Massnahmen greifen im Betriebszustand Schlumberbetrieb. Dieser erfolgt automatisiert 20 Minuten nach der unbesetzten Parkstellung. Die Massnahmen wurden serientauglich erarbeitet und ein Prototyp für Betriebserprobung und Verifizierung erstellt.

Die jährlichen Energieeinsparungen der drei Massnahmen werden zu 3 GWh für die Gesamtflotte oder 25.7 kWh pro Fahrzeug und Jahr berechnet. Der statische Break-Even der Umbaukosten liegt damit bei etwa 8 Jahren, hinzu kommen die Kosten für die Entwicklung der Massnahmen.

Seitens den SBB ist die Umsetzung auf der gesamten Flotte NPZ Domino beschlossen, die Serienumrüstung der Fahrzeuge wird Anfang 2020 beginnen und voraussichtlich bis Ende 2021 dauern. Nach dem ersten Prototyp, der durch das BAV ESöV 2050 Projekt geförderte ist, wurde ein weiteres Vorserienfahrzeug im November 2019 erstellt um die Serienproduktion vorzubereiten. Die Serienumrüstung der Fahrzeuge wird mit einer Förderung des BFE im Rahmen des Programms ProKilowatt gefördert.

Die Massnahmen wurden so erarbeitet, dass sie auch auf Domino Fahrzeugen der Betreiber Region-Alps und Travys umgesetzt werden kann. RegionAlps stehen den Änderungen positiv gegenüber und haben eine Bestellung in Aussicht gestellt. Definitiv entschieden hat sich der Betreiber Travys und die Umsetzung der Massnahmen auf ihren Fahrzeugen durch die SBB bestellt.

Résumé en français

Pour les automotrices CFF de type NTN Domino remises en position «Parc», la production d'air comprimé des n'est actuellement pas optimale. En effet, le compresseur d'air comprimé et le refroidissement de traction sont interconnectés dans un groupe de consommateurs commun, ce qui engendre une consommation d'énergie excessive ainsi que des émissions sonores importantes en stationnement.

Outre les mesures de «séparation électrique pour l'alimentation d'air comprimé et le refroidissement de traction» et d'«optimisation de l'hystérèse d'enclenchement de l'installation d'alimentation d'air comprimé», une mesure complémentaire de «déclenchement des pompes d'huile de refroidissement de traction en position "Parc"» a été également développée afin de générer des économies d'énergie supplémentaires. Ces mesures s'appliquent en mode veille, lequel s'active automatiquement 20 minutes après le remisage inoccupé. Les mesures ont été développées dans un souci de reproductibilité et un prototype a été créé afin de réaliser des essais en exploitation et des vérifications.

Les économies d'énergie annuelles générées par les trois mesures sont estimées à 3 GWh pour l'ensemble de la flotte ou à 25,7 kWh par véhicule et par an. Le seuil de rentabilité statique des coûts de transformation devrait être ainsi atteint en huit ans. À ces coûts s'ajoutent également les frais de développement des mesures.

Les CFF ont décidé de mettre le projet en œuvre pour l'ensemble de la flotte des NTN Domino, l'équipement en série des véhicules commencera début 2020 et s'étendra en principe jusqu'à fin 2021. Suite au premier prototype, soutenu par le projet de l'OFT SETP 2050, un autre véhicule de présérie a été construit en novembre 2019 afin de préparer la production en série. L'équipement en série des véhicules est soutenu par une subvention de l'OFEN dans le cadre du programme ProKilowatt.

Les mesures ont été élaborées en vue d'être mises en œuvre également sur des véhicules Domino des exploitants RegionAlps et Travys. RegionAlps est favorable aux modifications et envisage de passer une commande. L'exploitant Travys a décidé de mandater les CFF pour la mise en œuvre des mesures sur leurs véhicules.

Executive Summary in English

The generation of compressed air in parked SBB railcars of type NPZ Domino has not yet been optimally solved. Today, the pneumatic compressor and the traction cooling are interconnected in a common consumer group, which leads to high energy consumption and large noise emissions in park position.

In addition to the measures "electrical separation of the compressed air supply from the traction cooling system" and "optimization of the switch-on hysteresis of the compressed air supply system", the measure "switching-off the traction cooling oil pumps in park position" was developed to further save energy. The measures take effect in the sleep mode. This takes place automatically 20 minutes after the unoccupied parking position. The measures were developed for series production and a prototype for operational testing and verification was created.

The annual energy savings of the three measures are calculated at 3 GWh for the entire fleet or 25.7 kWh per vehicle and year. The static break-even of the production costs is around 8 years, plus the costs for the development of the measures.

The SBB has decided to implement the measures on the entire NPZ Domino fleet; the series production of the measures will begin in early 2020 and are expected to continue until the end of 2021. After the first prototype, which is funded by the FOT ESPT 2050 project, another pre-production vehicle was created in November 2019 to prepare for series production. The series production of the measures is funded by the SFOE as part of the ProKilowatt program.

The measures were developed in such way that they can also be implemented on Domino railcars operated by RegionAlps and Travys. RegionAlps are positive about the changes and have announced an order. The operator Travys has made a final decision to order the implementation of the measures on their railcars by the SBB.

Zusammenfassung in Deutsch

Der Energieverbrauch und Lärmemissionen von in unbesetzter Parkstellung abgestellten NPZ Domino Fahrzeugen wird optimiert. Die Lösungen für eine optimierte Druckluftherzeugung werden bis zur Serienreife entwickelt und ein Prototyp-Fahrzeug erstellt. Anhand des Prototypen wird die Wirksamkeit der Massnahmen im regulären Betriebseinsatz überprüft.

1. Ausgangslage

Die meisten der von 1987 bis 1996 gebauten Fahrzeuge RBDDe 560 durchliefen 2008 bis 2013 ein Komplett-Modernisierungsprogramm. Aus modernisierten Trieb- und Steuerwagen sowie neu beschafften «INOVA-Zwischenwagen» entstanden Regionalverkehrs-Kompositionen mit der Bezeichnung «NPZ Domino». Die Triebwagen werden dabei einheitlich als RBDDe 560 (94 85 7 560 XXX-X) bezeichnet. Das Modernisierungsprogramm wurde 2013 abgeschlossen.

Neben den 98 Triebwagen vom Typ RBDDe 560 NPZ Domino der SBB AG sollen auch 16 NPZ Domino der RegionAlps und 2 NPZ Domino der Travys von den Energiesparmassnahmen in der Abstellung profitieren können.

Im Rahmen der Studie zur Energie- und Lärmoptimierung der Domino Fahrzeugflotte wurden sowohl die Druckluftversorgungsanlage (DLVA) als auch die Traktionskühlanlage als hauptsächliche Energieverbraucher und Lärmverursacher in der Abstellung identifiziert (Anhang 1). Die Druckluftherzeugung der in Parkstellung abgestellten Domino ist bezüglich Lärmemission und Energieverbrauch nicht optimal gelöst. Heute sind der Druckluftkompressor und die Traktionskühlung in einer gemeinsamen Verbrauchergruppen zusammengeschaltet, was zu hohem Energieverbrauch und grosser Lärmemission in der Parkstellung führt.

2. Ziele der Arbeit

Das Ziel der Arbeit besteht darin, mittels geeigneter Massnahmen den Energieverbrauch in Zusammenhang mit der Druckluftherzeugung während der unbesetzten Parkstellung der Züge zu reduzieren. Weiter sollen Methoden zur Verlängerung der Kompressor-Standzeit entwickelt werden, wie eine Absenkung der Druckluft-Einschaltswelle in unbesetzter Parkstellung. Eine Reduktion des Abstelllärms wird neben der Reduktion des Energieverbrauchs als positive Folge erwartet.

Die folgenden Massnahmen sollen untersucht und Lösungen erarbeitet werden.

- I. Elektrische Trennung der Druckluftversorgungsanlage (DLVA) von der Traktionskühlung in unbesetzter Parkstellung. Dadurch müssen die Ventilatoren der Traktionskühlung in der unbesetzten Parkstellung des Fahrzeugs nicht mehr betrieben werden.
- II. Optimierung der Einschalt-Hysterese der DLVA in unbesetzter Parkstellung. Die Einschaltswelle der DLVA wird auf ein tieferes Niveau gesenkt, wodurch sich die Pause zwischen zwei Einschaltzyklen der DLVA in der Abstellung verlängert wird.
- III. Abschaltung der Traktionskühlpumpen in der Parkstellung, wenn der Energiebezug ab Transformator tief ist oder kein Energiebezug ab Hilfsbetriebeumrichter (HUR) vorliegt. Diese Massnahme wurde erst im Verlauf des Projekts in den Fokus genommen.

Die Massnahmen werden auf Basis von Voruntersuchungen ausgearbeitet und zur Serienreife entwickelt. Die benötigten Komponenten für den Serienumbau werden spezifiziert und eine Dokumentation der nötigen Arbeitsschritte für den Serienumbau der Fahrzeuge erstellt. Die Lösung wird so erarbeitet, dass sie auch auf NPZ Domino Fahrzeugen der Betreiber RegionAlps und Travys eingesetzt werden kann.

Die Einflüsse auf Energieverbrauch und Lärmemission in der Abstellung sollen ausgewertet werden.

3. Forschungsansatz und aktueller Wissensstand

In ersten Versuchen (Anhang 1) konnte die Machbarkeit der Massnahmen auf dem NPZ Domino bereits überprüft werden. Die Absenkung der Einschaltsschwelle der Druckluftversorgung wurde bereits auf den DTZ (RABe 514) Fahrzeugen der SBB umgesetzt (Energiesparpaket II).

Eine Herausforderung stellt die Anpassung des Hilfsbetriebeumrichters HUR an die neuen Lastfälle dar. Durch die Trennung der DLVA von der Traktionskühlung muss die Regelung des HUR modifiziert werden.

Durchführung und Projektierung der Arbeiten erfolgt auf Basis der Prozesse für die Vorbereitung von Änderungen mit dem Zweck der Weiterentwicklung der Flotte, Fahrzeugen, Systemen und Komponenten. Sie entsprechen den Phasen 11 bis 13 der Norm EN 50126.

4. Ergebnisse

Die Inbetriebnahme des Prototypfahrzeugs der SBB wurde am 28.10.19 im Beisein eines Vertreters von RegioAlps durchgeführt. Druckluffterzeugung wird von Traktionskühlung getrennt

Bisher war es nicht möglich den Druckluftkompressor auf dem Domino alleine zu betreiben. Druckluftkompressor und sechs Ventilatoren der Traktionskühlung bilden eine gemeinsame Last für den Hilfsbetriebeumrichter HUR.

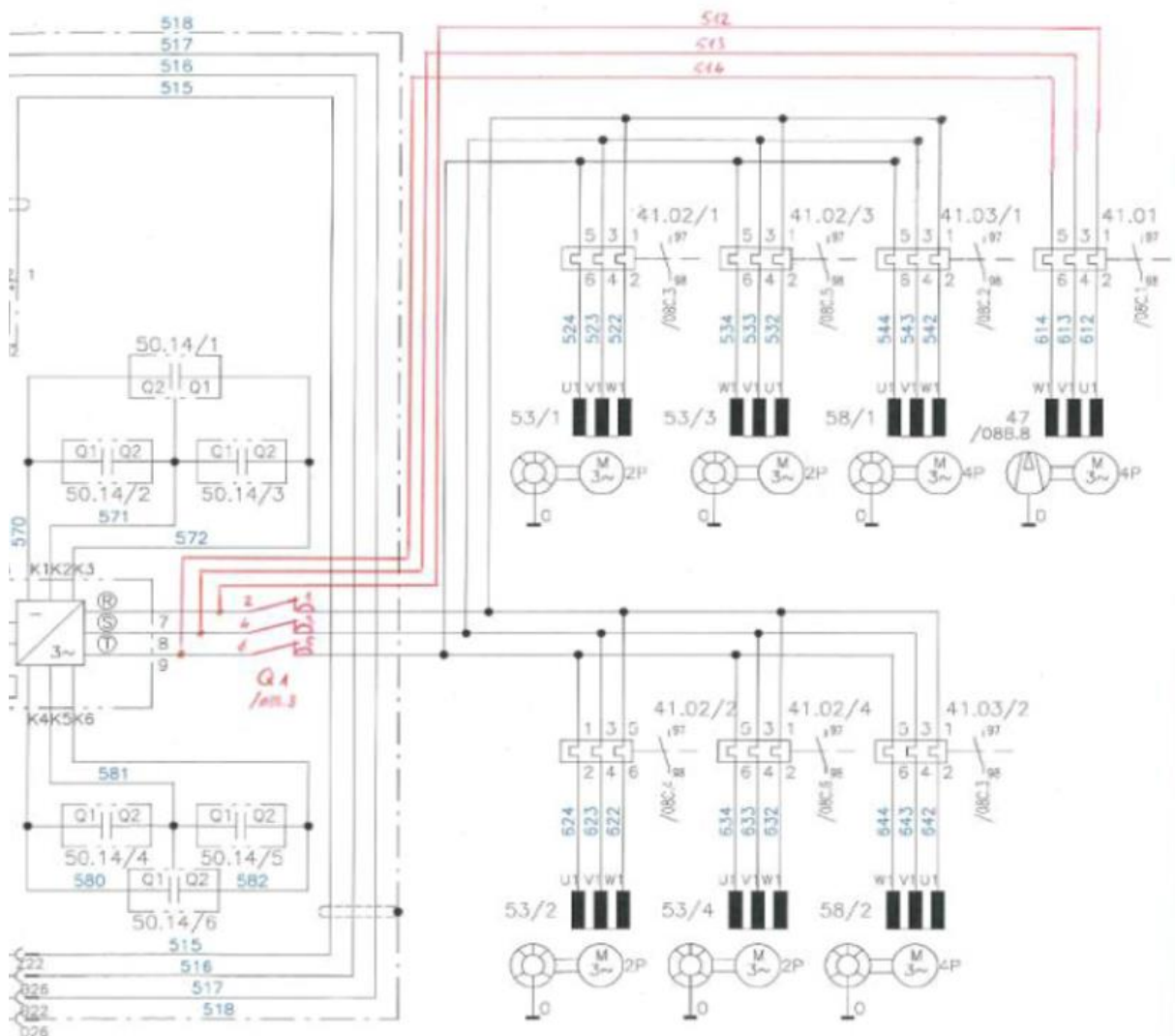


Abbildung 1: Die Last am Ausgang des HUR wird durch den Einbau des Schützes Q1 schaltbar. Der Druckluftkompressor ist mit 47 bezeichnet (oben rechts im Bild).

La charge à la sortie du convertisseur HUR est commutable grâce à la pose du contacteur Q1. Le compresseur d'air comprimé porte le chiffre 47 (en haut à droite de l'image).

Der HUR wird durch den Haupttransformator mit 1000 V bei 16.7 Hz Spannung versorgt und liefert am Ausgang eine dreiphasige Wechselspannung, die in Frequenz und Spannungshöhe je nach Vorgabe der übergeordneten Regelung in drei Stufen variiert wird. Der Umrichter hat eine Stromzwischenkreisregelung die immer eine definierte Last am Ausgang verlangt, um korrekt arbeiten zu können. Der HUR ist im gleichen Kühlkreislauf wie der Traktionsumrichter integriert.

Durch die Einführung eines Trennschützes Q1 werden die Lasten der Traktionskühlung am Ausgang des HUR schaltbar gemacht (Siehe Abbildung 1). Damit kann der Druckluftkompressor einzeln gespeist werden. Jedoch muss zusätzlich die interne Regelung des HUR modifiziert werden, um die geringere Last ohne Störung bewältigen zu können. Das Lösungskonzept wird im Dokument 3 genauer beschrieben, die Versuche zur Überprüfung der HUR-Modifikation werden in den Dokumenten 4 und 5 beschrieben. Die Einstellung der HUR-Regelung auf den neuen Lastfall ist eine Herausforderung. Gleichzeitig muss berücksichtigt werden, dass auf der Fahrzeugflotte zwei Typen von Druckluftkompressoren zum Einsatz kommen, die sich in der Anschlussleistung (15 oder 20 kW) unterscheiden.

Die sogenannte Massnahme Plus wurde im Fahrbetrieb umgesetzt. Bisher wurde die volle Traktionslüftung (HUR-Stufe 3) schon ab einer Fahrzeuggeschwindigkeit von 10 km/h eingeschaltet. Dieser Wert wird auf 40 km/h erhöht um den Lärm im Rangierbetrieb zu senken.

Optimierte Einschalthysterese

Zur Reduktion des Abstelllärms wurde eine Änderung der Druckluftsteuerung erarbeitet. Der Druckschalter des Steuerwagens wird durch einen Drucksensor ersetzt. Mit dem bereits vorhandenen Drucksensor des Triebwagens ist nun eine redundante Drucküberwachung von zwei unterschiedliche Schwellwerten möglich. Einerseits werden in der besetzten Parkstellung sowie Fahrbetrieb 8 bar als Schwellwert überwacht, andererseits gilt 6 bar als Schwellwert in der unbesetzten Parkstellung.

Der Schwellwert von 6 bar muss noch durch weitere Messungen verifiziert werden. Kriterium ist, zuverlässig zu verhindern, dass der Druck unter 5.5 bar sinkt, womit es in unbesetzter Parkstellung zu einer Hauptschalterauslösung kommen würde. In Folge ist das Fahrzeug komplett ausgeschaltet und es drohen Zugausfälle durch verlängerter Inbetriebnahmedauer.

Der Druckschwellwert für die unbesetzte Parkstellung kann Parametrierung jederzeit angepasst werden. Der gemessene Druck in Trieb- und im Steuerwagen wird ständig verglichen. Besteht für länger als 30 Sekunden eine Druckdifferenz zwischen grösstem und kleinstem gemessenen Druck von über 0.8 bar, wird eine Fehlermeldung ausgegeben.

Fällt in Vielfachsteuerung (Mehrfachtraktion) der niedrigste gemessene Druck unter die gerade geltende Einschaltchwelle (6 bar im Schlumberbetrieb, sonst 8 bar) werden die Kompressoren aller Triebwagen der Mehrfachtraktion eingeschaltet. Die Kompressor-Einschaltbefehle werden entsprechend zwischen den Fahrzeugen übertragen.

Mit der Einführung der erweiterten Einschalthysterese werden für das Lokpersonal 2 Minuten mehr Zeit eingeplant um die Fahrzeuge für den kommerziellen Einsatz in Betrieb zu nehmen. Da der Luftdruck auf 6 bar statt bisher 8 bar absinken darf, muss der Zeitbedarf des Kompressors entsprechend kompensiert werden.

Kühlölpumpen werden abgeschaltet

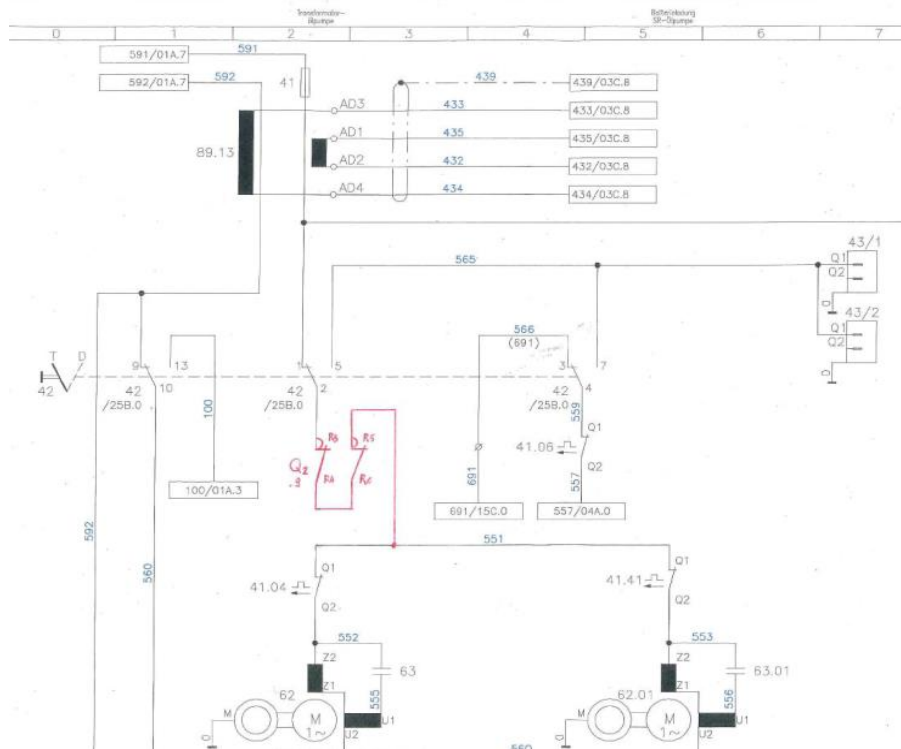


Abbildung 2: Modifikation der Pumpensteuerung mittels Schütz Q2 für Transformator- (62) und Umrichter Kühlung (62.01).

Modification de la commande des pompes à l'aide du contacteur Q2 pour le refroidissement du transformateur (62) et du convertisseur (62.01).

Haupttransformator und Traktionsumrichter des Dominos werden mit Öl gekühlt. Das Fahrzeug verfügt über zwei getrennte Ölkreisläufe. Ein Ölkreislauf dient der Kühlung des Haupttransformators und hat einen Übertemperaturschwellwert von 95° C. Der andere Ölkreislauf dient der Kühlung des Traktionsumrichters und des HUR, der Übertemperaturschwellwert liegt bei 60° C. Die Zirkulation des Kühlöls zwischen den Komponenten und den Rückkühlern wird mit zwei Pumpen sichergestellt, Abbildung 2. Bisher sind beide Pumpen eingeschaltet, sobald der Zug ab Fahrdrat oder über eine Depotspeisung mit Energie versorgt wird.

Im Verlauf des Projekts zeigt sich, dass die Leistungsaufnahme der beiden Pumpen (zusammen 3.55 kW) als Abwärme dem Kühlöl zugeführt wird. Dies führt zu einer signifikanten Erwärmung des Kühlöls. Ist die Öltemperatur jedoch zu hoch, kann die Massnahme I nicht aktiv werden, da die Ventilatoren des Ölrückkühlers durch den HUR gespeist werden müssen.

Die Lösung ist die Integration eines weiteren Schützes zur elektrischen Abtrennung der beiden Kühlölpumpen. Wenn die Öltemperatur unter 45° C liegt, der Energiebezug ab Transformator tief ist und kein Energiebezug ab Hilfsbetriebeumrichter vorliegt, werden die Pumpen in unbesetzter Parkstellung ausgeschaltet. Eine Überwachung des Energiebezugs des Transformators und des Hilfsbetriebeumrichters, sowie durch periodisches Einschalten der Ölpumpen ist sichergestellt, dass es zu keiner Überhitzung des Öls kommt. Alle drei Stunden werden die Pumpen für zehn Minuten eingeschaltet, um eine etwaige Erwärmung des Kühlöls messen zu können.

Die Erwärmung des Transformators wurde in ausführlichen Tests überprüft und eine Überwachungslogik in der Fahrzeugsteuerung integriert.

Anpassung der Fahrzeugsteuerung

Mit der Einführung der Änderungen wird nach 20 Minuten in unbesetzter Parkstellung durch die Fahrzeugsteuerung ein Schlummermodus aktiviert. Hierfür wird eine entsprechende Prozessvariable eingeführt. Im Schlumberbetrieb schaltet die Fahrzeugsteuerung unter bestimmten Kriterien den HUR auf Teillastbetrieb um und trennt Fahrmotorventilatoren und Ölpumpen ab. Der Schlumberbetrieb wird durch das Besetzen des Fahrzeugs (Verlassen der unbesetzten Parkstellung) beendet. Die Fahrzeugsteuerung wurde gemäss Anhang 7 BCA 20193523 Lastenheft Domino Release 3.20 spezifiziert und angepasst.

Die Software der Fahrzeugleittechnik ist so gestaltet, dass während der Umbauphase Fahrzeuge mit unterschiedlichen Softwareständen in Vielfachsteuerung verkehren können.

Prototyp und Dokumentation für Serienumbau

Bis November 2018 wurde der Prototyp RDe 560 250 im SBB Werk Yverdon erstellt, wo auch die Abnahme erfolgte. Ab November 2018 war das Prototypfahrzeug zusammen mit einem Steuerwagen vom Typ ABt als zweiteiliger Zug im kommerziellen Einsatz. Die neue Software und die volle Funktionalität der Lärmreduktion waren aktiv. Einzig die erweiterte Drucklufthysterese war inaktiv, um den Zug in Vielfachsteuerung mit weiteren Dominozügen einsetzen zu können.

Parallel zum Probebetrieb wurde die Industrialisierung der Änderungen für die Serienproduktion vorangetrieben. Die benötigten Komponenten wurden spezifiziert und eine Dokumentation für die Prototypenerstellung liegen vor.

Nachweis Energieverbrauch

Neben den 98 Triebwagen vom Typ RDe 560 NPZ Domino der SBB AG können auch 16 NPZ Domino der RegionAlps und 2 NPZ Domino der Travys von den Energiesparmassnahmen in der Abstellung profitieren. Diese 117 Fahrzeuge werden der folgenden Auswertung zugrunde gelegt.

Um Häufigkeit und Periodendauer der Aktivität der Druckluftversorgungsanlage (DLVA) mit der bisherigen Hysterese 8/10 bar abzuschätzen, wurde der Energieverbrauch von Domino Zügen während der Abstellung ausgewertet (Abbildung 3). Zufällig wurden Fahrzeuge ausgewählt und deren Energiever-

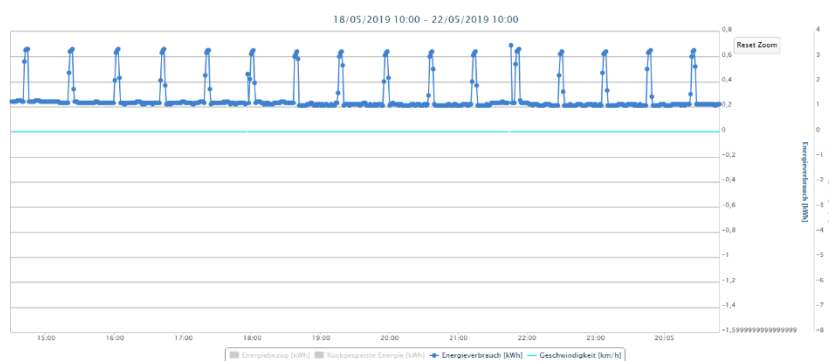


Abbildung 3: Typischer Energiebezug [kWh] des RDe 560 254, Ausschnitt vom 19.05.2019, 15:00 bis 20.05.2019 1:00 Uhr, Abstellung in Biel. Basis: 1-Minute Werte.

Consommation d'énergie typique [kWh] de la RDe 560 254, extrait du 19.5.2019, 15h00 au 20.5.2019 1h00, garage à Biel/Bienne. Base: valeurs pour une minute.

brauch analysiert. Dabei wurden unterschiedliche Jahreszeiten gewählt, um etwaigen Einfluss der Aussenlufttemperatur sichtbar zu machen. Die gemittelten Häufigkeiten und Dauer der Kompressor-Aktivitäten sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Über alle Fahrzeuge ergibt sich eine mittlere Dauer der Kompressoraktivität von 4:52 Min und eine Periodendauer von 49 Min. Die unterschiedlichen Werte der Fahrzeuge werden auf Unterschiede im technischen Zustand wie Dichtheit, Leckage oder Schöpfleistung der Kompressoren zurückgeführt.

Zurzeit werden die Einschalt- sowie die Stillstandsdauer des Druckluftkompressors an einem Prototyp genauer untersucht.

Fahrzeug	Anzahl Wagen im Zug	Datum	Dauer pro Druckerhöhung von 8 auf 10 bar [Min]	Periodendauer	Häufigkeit DLVA Aktivität pro Stunde [dezimal]	Kommentar
560 226	3	23.07.2019	0:04:30	00:57:40	1.04	Heissester Tag im Jahr
560 226	3	06.02.2019	0:04:44	01:03:51	0.94	Kältester Tag im Jahr
560 219	3	23.07.2019	0:06:15	01:14:18	0.81	Heissester Tag im Jahr
560 254	3	19.05.2019	0:04:45	00:36:44	1.63	Übergangszeit
560 254	3	06.02.2019	0:04:18	00:39:16	1.53	Kältester Tag im Jahr
560 252	3	18.05.2019	0:04:36	00:43:30	1.38	Übergangszeit
560 252	3	18.10.2019	0:04:55	00:32:05	1.87	Übergangszeit

Tabelle 1: Mittlere Häufigkeit und Dauer der Kompressoraktivitäten zufällig ausgewählter Domino Triebwagen.

Massnahme I: Elektrische Trennung der Druckluftversorgungsanlage von der Traktionskühlung.

Der Energieverbrauch der zukünftig abgetrennten Traktionskühlung ist aus Messungen bekannt. Anhand der mittleren Dauer der Kompressoraktivität (Tabelle 1) und der durchschnittlichen Abstelldauer der Fahrzeuge wird die Energieeinsparung der Massnahme berechnet.

Massnahme II: Optimierung der Einschalt-Hysterese der DLVA in unbesetzter Parkstellung.

Die Einschaltdauer des Kompressors verlängert sich um den Faktor 1.6 für die erweiterte Druckluft-Hysterese 6 auf 10 bar. Leider fehlen präzise Messungen für das Abklingen der Druckluft von 10 auf 6 bar für den Domino. Bisher konnte die erweiterte Hysterese nämlich nicht im kommerziellen Einsatz getestet werden, aufgrund von Einschränkungen bei der Vielfachsteuerung. Vom Triebzug FLIRT ist jedoch bekannt, dass sich die Stillstandsdauer des Kompressors um den Faktor 2.4 für das Abklingen der Druckluft von 10 auf 6 bar verlängert. Mit dieser Annahme lässt sich die Energieeinsparung für den Domino berechnen.

Massnahme III: Abschaltung der Traktionskühlölpumpen in der Parkstellung.

Der Energieverbrauch der Traktionskühlölpumpen ist aus Messungen bekannt, die tatsächliche mittlere Häufigkeit der Pumpenabtrennung im Schlumberbetrieb jedoch nicht, da der eingesetzte Datenlogger fehlerhaft war. Je nach Strombelastung des Transformators werden die Pumpen auch im Schlumberbetrieb aktiviert. Folgende Annahmen wurden getroffen: 10 Wochen pro Jahr verhindern hohe oder tiefe Aussentemperaturen die Abschaltung der Pumpen (Kühlbedarf Ölkühler oder Heizbedarf Fahrgastraum); DLVA ist zu 6.5% eingeschaltet; für 10 Min. pro 3 Stunden im Schlumberbetrieb laufen die Pumpen. Die tatsächliche mittlere Ausschaltdauer der Kühlölpumpen wird im weiteren Verlauf des Projekts validiert.

Einsparungen der Energiesparmassnahmen auf dem Domino		
Einsparung durch Abtrennung der Traktionslüfter pro Jahr pro Flotte	1.41	GWh
Einsparung durch Absenkung der Hysterese im Schlumberbetrieb pro Flotte pro Jahr	0.29	GWh
Einsparung durch Abschaltung der Ölpumpen pro Flotte pro Jahr	1.31	GWh
Gesamteinsparung der Flotte Domino pro Jahr	3.01	GWh
Einsparung pro Fahrzeug pro Jahr	25.72	kWh

Eine detaillierte Zusammenstellung der Berechnungen findet sich im Anhang 30.

Das Potenzial der Energieeinsparungen für alle 117 Triebwagen beläuft sich auf 3 GWh oder 25.7 kWh pro Fahrzeug pro Jahr.

Akustikmessungen in der Abstellung

Vom 19. Bis 21. Juni 2019 wurde der Domino Prototyp als vierteiliger Zug auf seine akustischen Eigenschaften untersucht. Der Zug bestand aus dem Triebwagen RBDe 560 250, zwei INOVA Zwischenwagen, davon einer mit WC und einem Steuerwagen ABt. Die Dauerschallpegel des Domino Zugs halten die Vorgaben der SBB überwiegend ein. Hier macht es sich bezahlt, dass die HLK von Fahrgastraum und Führerstand sowie der Fahrmotorkühler im Schlumberbetrieb inaktiv sind. Es zeigte sich, dass bisher weniger bekannte Lärmquellen wie etwa der BUR (Bordnetzumrichter) auffällige Messwerte lieferten, nachdem die grösste bisherige Lärmquelle, nämlich die Traktionskühlung, dank diesem Projekt massiv verbessert werden konnte. Weitere Details sind dem Messbericht (siehe Anhang 29) zu entnehmen.

Es zeigte sich jedoch, dass die in der Akustikmessungen erhobenen Aktivitätsanteile der DLVA nicht plausibel sind. Diese werden nun durch Logger-Messungen erneut untersucht und ausgewertet.

Aufgrund des Kühlkonzepts der Traktions- und Hilfsbetriebelemente muss die Öltemperatur in unbesetzter Parkstellung zunächst unter 45° C sinken, damit der Schlumberbetrieb aktiv wird. Dies kann an heissen Sommertagen bei aufgeheiztem Gleisbett längere Zeit in Anspruch nehmen und bedeutet, dass bis zur Unterschreitung der Temperaturschwelle die Ventilatoren mit entsprechendem Energieverbrauch und Lärmemission an den Abstellorten laufen.

5. Nebeneffekte

Im September 2019 wurde ein weiterer Prototyp in Biel umgebaut, um den Start der Serienausrüstung im Januar 2020 vorzubereiten. Bis dahin werden die nötigen Dokumente finalisiert und letzte Validierungen an den Fahrzeugen vorgenommen. Die Beschaffung des Materials muss bis dahin abgeschlossen werden.

Neben der Energieeinsparung und dem reduzierten Abstelllärm bietet die Umsetzung weitere Vorteile:

- Der Kompressor wird weniger häufig gestartet, dies wirkt sich positiv auf die Lebensdauer der Schaltelemente und den Motor aus.
- Durch die Absenkung der Druckluft-Einschaltschwelle nach unten ist der durchschnittliche Druck tiefer. Damit verursachen allfällige Leckagen einen geringeren parasitären Energieverbrauch.
- Die Ausschaltung der Kühlölpumpen wirkt sich positiv auf den Verschleiss aus.
- Die Gelegenheit einer Anpassung der Fahrzeugsteuerung wurde auch genutzt, um eine Reduktion der Fahrgeräusche umzusetzen. Im Rangierbetrieb wird die Fahrmotorkühlung zukünftig erst ab 45 km/h statt bisher bereits ab 12 km/h bei laufendem Kompressor auf Stufe 3 erhöht. Dies reduziert die Lärmemission rangierender Fahrzeuge im Bereich von Bahnhöfen und Abstellfeldern.

Während des Probebetriebs des Prototyps RBDe 250 kam es in der heissesten Nacht 2019 zu einer Temperaturlösung der Ölkühlung. Die Abklärungen zeigten eine Lücke in der Überwachung der Öltemperatur, die durch eine Anpassung der Steuerung der Ölpumpen behoben wird. Zukünftig werden die Ölpumpen auch während des Energiebezugs ab Hilfsbetriebeumrichter eingeschaltet, denn Transformator und Hilfsbetriebeumrichter teilen sich eine Ölkühlung. Somit wird eine Überhitzung verhindert.

6. Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Die Druckluftherzeugung der in Parkstellung abgestellten SBB Triebwagen vom Typ NPZ Domino ist bisher nicht optimal gelöst. Heute sind der Druckluftkompressor und die Traktionskühlung in einer gemeinsamen Verbrauchergruppen zusammengeschaltet, was zu hohem Energieverbrauch und grosser Lärmemission in der Parkstellung führt.

Neben den Massnahmen „elektrische Trennung der Druckluftversorgung von der Traktionskühlung“ sowie der „Optimierung der Einschalthysterese der Druckluftversorgungsanlage“ wurde die zusätzliche Massnahme «Abschaltung der Traktionskühlpumpen in der Parkstellung» zur weiteren Energieeinsparungen entwickelt. Die Massnahmen greifen im Betriebszustand Schlumberbetrieb. Dieser erfolgt automatisiert 20 Minuten nach der unbesetzten Parkstellung. Die Massnahmen wurden serientauglich erarbeitet und ein Prototyp für Betriebserprobung und Verifizierung erstellt.

Die jährlichen Energieeinsparungen der drei Massnahmen werden zu 3 GWh für die Gesamtflotte oder 25.7 kWh pro Fahrzeug berechnet. Der statische Break-Even der Umbaukosten liegt damit bei etwa 8 Jahren, hinzu kommen die Kosten für die Entwicklung der Massnahmen.

Seitens den SBB ist die Umsetzung auf der gesamten Flotte NPZ Domino beschlossen, die Serienumrüstung der Fahrzeuge wird Anfang 2020 beginnen und voraussichtlich bis Ende 2021 dauern. Nach dem ersten Prototyp, der durch dieses ESöV Projekt geförderte ist, wurde ein weiteres Vorserienfahrzeug im November 2019 erstellt um die Serienproduktion vorzubereiten. Die Serienumrüstung der Fahrzeuge wird mit einer Förderung des BFE im Rahmen des Programms ProKilowatt gefördert.

Die Lösung wurde so erarbeitet, dass sie auch auf Domino Fahrzeugen der Betreiber RegionAlps und Travys umgesetzt werden kann. RegionAlps stehen den Änderungen positiv gegenüber und haben eine Bestellung in Aussicht gestellt. Definitiv entschieden haben sich die Betreiber Travys und die Umsetzung der Massnahmen auf ihren Fahrzeugen durch die SBB bestellt.

Résumé dans une deuxième langue nationale

7. Conclusions et recommandations

Pour les automotrices CFF de type NTN Domino remises en position «Parc», la production d'air comprimé des n'est actuellement pas optimale. En effet, le compresseur d'air comprimé et le refroidissement de traction sont interconnectés dans un groupe de consommateurs commun, ce qui engendre une consommation d'énergie excessive ainsi que des émissions sonores importantes en stationnement.

Outre les mesures de «séparation électrique pour l'alimentation d'air comprimé et le refroidissement de traction» et d'«optimisation de l'hystérèse d'enclenchement de l'installation d'alimentation d'air comprimé», une mesure complémentaire de «déclenchement des pompes d'huile de refroidissement de traction en position "Parc"» a été également développée afin de générer des économies d'énergie supplémentaires. Ces mesures s'appliquent en mode veille, lequel s'active automatiquement 20 minutes après le remisage inoccupé. Les mesures ont été développées dans un souci de reproductibilité et un prototype a été créé afin de réaliser des essais en exploitation et des vérifications.

Les économies d'énergie annuelles générées par les trois mesures sont estimées à 3 GWh pour l'ensemble de la flotte ou à 25,7 kWh par véhicule et par an. Le seuil de rentabilité statique des coûts de transformation devrait être ainsi atteint en huit ans. À ces coûts s'ajoutent également les frais de développement des mesures.

Les CFF ont décidé de mettre le projet en œuvre pour l'ensemble de la flotte des NTN Domino, l'équipement en série des véhicules commencera début 2020 et s'étendra en principe jusqu'à fin 2021. Suite au premier prototype, soutenu par le projet de l'OFT SETP 2050, un autre véhicule de présérie a été construit en novembre 2019 afin de préparer la production en série. L'équipement en série des véhicules est soutenu par une subvention de l'OFEN dans le cadre du programme ProKilowatt.

La solution a été élaborée en vue d'être mise en œuvre également sur des véhicules Domino des exploitants RegionAlps et Travys. RegionAlps est favorable aux modifications et envisage de passer une commande. L'exploitant Travys a décidé de mandater les CFF pour la mise en œuvre des mesures sur leurs véhicules.

Énergie économisée grâce aux mesures sur les Domino		
Économie générée par la séparation des ventilateurs de traction, par an et par flotte	1,41	GWh
Économie générée par l'abaissement de l'hystérèse en mode veille, par flotte et par an	0,29	GWh
Économie générée par le déclenchement des pompes à huile, par flotte et par an	1,31	GWh
Économie totale annuelle pour la flotte Domino	3,01	GWh
Économie par véhicule et par an	25,72	kWh

Symbol- und Abkürzungsverzeichnis

DLVA Druckluftversorgungsanlage

HUR Hilfsbetriebeumrichter

Anhang

1. Lärmoptimierung und Energiesparpotential Domino, CAA 20126782 000 V6, Christian Rogger, 29.11.2016, SBB AG.
2. Bericht Abstelllärm Domino, CAA 20170678 000 V1, Sascha Bühlmann, 25.09.2017.
3. CAA 20184864 Grobkonzept Massnahme I, Séparation des ventilateurs de refroidissement.
4. «00_Domino_Mesures_HUR80_Réduction_Bruit_PZI_V1.0-f.pdf » Machbarkeitsprüfung, P. Zimmermann
5. «01_Domino_Mesures_HUR80_Réduction_Bruit_PZI_V1.0-f.pdf » □ beschreibt unseren Messungen zur Verfeinerung der HUR-Einstellung
6. Mesures HUR 80, Domino, réduction du bruit
7. BCA 20193523 Lastenheft Domino Release 3.20

Umbaudokumentation für Serienrollout der Massnahmen

8. BBA20231149_Domino_TW_et_SW_Réduction_du_bruit
9. BBA20231154_Blocage_porte_1ère_classe_ABt
10. BBA20231157_Mise_en_service_optimisée
11. BBAxxxxxxx_Modification_des_cartes_de_commande_HUR80
12. BBAxxxxxxx_für IBS
13. AAZxxxxxxx_Delta_Verkabelungliste_RBDe560
14. AAZxxxxxxx_Delta_Verkabelungliste_Abt
15. Kostenzusammenstellung, J. Estermann, 25.11.2019, 20191125 Kosten Domino 137.pdf
16. Inbetriebnahmeprotokoll des Prototyps; P. Zimmermann, 22.10.2018; CAA20205490_DO HW IBN.pdf

Unterlagen des Grobkonzepts.

Massnahme 1

17. BBA 20194796 001 01 DO réduction du bruit - Travaux Mesure 1
18. BBA 20194796 050 01 DO réduction du bruit-Schéma EL Mesure 1
19. BBA 20194796 060 01 DO réduction du bruit - Liste câb RBDe, (Ohne Seite 13)

Massnahme 2

20. BBA 20199303 001 01 DO réduction du bruit - Travaux Mesure 2
21. BBA 20199303 050 01 DO réduction du bruit-Sch EL Sw Mesure 2
22. BBA 20199303 051 01 DO réduction du bruit-Sch EL Tw Mesure 2
23. BBA 20199303 052 01 DO réduction du bruit-Sch PN Sw Mesure 2
24. BBA 20199303 060 01 DO réduction du bruit - Liste câb ABt

Massnahme Plus ist im Kapitel 5.6.1 vom CAA 20185506 kurz erklärt.

25. BBA 20199321 001 01 DO réduction du bruit - Travaux Mesure +
26. BBA 20194796 051 01 DO réduction du bruit-Schéma EL Mesure +
27. BBA 20194796 060 01 DO réduction du bruit - Liste câb RBDe, (Nur Seite 13)

28. Energieeffizienzpotential einer veränderten Drucklufthysterese im Schlumberbetrieb bei FLIRT-Fahrzeugen, Chr. Vögtli, SBB AG, 08.08.2016
29. Akustikmessung in der Abstellung Flotte Domino, C90522/01, Müller-BBM, 25.10.2019.
30. Berechnung der Energieeinsparung Domino Druckluftherzeugung, J. Estermann, 19.12.2019
