



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)

Serieneinführung Trockentransformator FLIRT

Lancement en série de véhicules FLIRT équipés de transformateurs secs

Schlussbericht

Rapport final

Ueli Kramer, Matthias Tuchs Schmid, Johannes Dréwniok

SBB Schweizerische Bundesbahnen AG

Personenverkehr Flottentechnik

Wylterstrasse 125 · 3000 Bern 65 · Schweiz

Johannes.drewniok@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: 079

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 24.5.2018

Inhaltsverzeichnis

Executive Summary auf Deutsch	4
Condensé en français	5
Executive Summary in English	5
Zusammenfassung auf Deutsch	6
1. Ausgangslage	6
2. Ziel der Arbeit	6
3. Forschungsansatz und aktueller Wissensstand	6
4. Ergebnisse	7
4.1. Verifizierung der Prototypenentwicklung	7
4.2. Aufnahme Probetrieb der SBB	8
4.3. Auslieferung der Fahrzeuge	8
5. Diskussion	9
5.1. Störungsmonitoring RABe 523 066	9
5.2. Verifikation der Energieeinsparung	10
6. Schlussfolgerungen und Empfehlungen	10
Résumé en français	11
1. Situation initiale	11
2. Finalité du projet	11
3. Angle de recherche et état actuel des connaissances	11
4. Résultats	12
4.1. Vérification du développement du prototype	12
4.2. Lancement par les CFF des essais d'exploitation	13
4.3. Livraison des véhicules	13
5. Discussion	14
5.1. Monitoring des dérangements sur le RABe 523 066	14
5.2. Vérification des économies d'énergie	15
6. Conclusions et recommandations	15
7. Literaturverzeichnis, Bibliographie	16

SBB AG

Personenverkehr Flottentechnik
 Wylersstrasse 125 · 3000 Bern 65 · Schweiz
 Mobil +41 79 697 16 38
 johannes.drewniok@sbb.ch · www.sbb.ch

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Trockentransformator der ABB für die FLIRT-Fahrzeuge.

Abbildung 2: Das Prototypenfahrzeug RABe 523 066 mit Trockentransformatoren während der Störstrommessungen.

Abbildung 3: Die FLIRT 527 333 (mit ölgekühlten Transformatoren) und 523 074 (mit Trockentransformatoren) der transN. Man beachte die unterschiedliche Dachverkleidung der beiden Fahrzeuge.

Illustration 4: Transformateur sec d'ABB pour les véhicules FLIRT.

Illustration 5: Le prototype RABe 523 066 équipé de transformateurs secs durant les mesures des courants parasites.

Illustration 6: Le FLIRT 527 333 (avec transformateurs refroidis à l'huile) et le FLIRT 523 074 (avec transformateurs secs) de transN. On note la différence au niveau de la toiture entre les deux véhicules.

Executive Summary auf Deutsch

Erstmals in der Schweiz werden sogenannte Trockentransformatoren serienmässig als Haupttransformatoren in Eisenbahnfahrzeugen eingesetzt. In den Jahren 2016 und 2017 werden acht vierteilige FLIRT-Neufahrzeuge der SBB und vier FLIRT der transN durch den Lieferanten Stadler mit Trockentransformatoren ausgerüstet. Ein aktives Monitoring während der Einführung hat die Zuverlässigkeit des Systems bestätigt. Die Einführung von Trockentransformatoren führt zu Einsparungen von 78.5 MWh/a je Fahrzeug oder 7.5 % des Nettoenergieverbrauchs. Damit verändert sich der spezifische Energieverbrauch pro Bruttotonnenkilometer. Beim Referenzfahrzeug lag der mittlere Energiebedarf bei 36.66 Wh/Btkm (ausserhalb der Abstellung). Neu sinkt dieser Wert auf 33.92 Wh/Btkm. Die Einsparung wurde mittels Referenzmessungen über 12 Monate und mehr als 5'800 Zugfahrten über die gleichen Relationen nachgewiesen. Durch die lange Messdauer konnten stochastisch auftretende Ereignisse wie schlechte Witterungs- und Adhäsionsbedingungen oder sehr gute Fahrweise des Lokpersonals ausgeglichen werden. Der Unterschied im Energiebezug zwischen den Fahrzeugen mit Trockentransformator und den Referenzfahrzeugen wird deshalb ausschliesslich auf die Ausrüstung mit Trockentransformatoren zurückgeführt.

Condensé en français

C'est la première fois que des transformateurs secs sont utilisés en série comme transformateurs principaux dans des véhicules ferroviaires en Suisse. En 2016 et 2017, huit nouveaux FLIRT des CFF à quatre éléments et quatre FLIRT de transN ont été équipés de transformateurs secs par le fournisseur Stadler. La fiabilité du système a été confirmée grâce à un monitoring actif durant la phase de lancement. L'utilisation de transformateurs secs entraîne des économies de 78,5 MWh/a par véhicule, soit 7,5% de la consommation nette d'énergie. Cette réduction modifie la consommation d'énergie spécifique par tonne-kilomètre brute. Chiffrée à 36,66 Wh/t-km brute (hors stationnement) pour le véhicule de référence, cette valeur est ramenée à 33,92 Wh/t-km brute avec un transformateur sec. L'économie a été démontrée au moyen de mesures de référence effectuées durant une période de 12 mois sur plus de 5800 courses empruntant des itinéraires identiques. La durée prolongée des mesures a permis de compenser les événements survenant de manière stochastique, tels que les mauvaises conditions météorologiques et d'adhérence ou encore les variations d'efficacité de la conduite. La différence de consommation d'énergie entre les véhicules équipés de transformateurs secs et les véhicules de référence peut ainsi être rapportée à la seule présence des transformateurs secs.

Executive Summary in English

For the first time in Switzerland, so-called dry-type transformers equipped as standard are used as main transformers in railway vehicles. In the years 2016 and 2017, eight FLIRT trainsets with four coaches for the SBB and four FLIRT trainsets for transN will be equipped with dry-type transformers by the manufacturer Stadler. Active monitoring during the implementation has confirmed the reliability of the system. The introduction of dry-type transformers leads to savings of 78.5 MWh per annum per vehicle or 7.5% of the net energy consumption. This changes the specific energy consumption per gross tonne kilometre. For the reference vehicle, the average energy consumption was 36.66 Wh / Btkm (without consumption during parking). Newly this value drops to 33.92 Wh / Btkm. The savings were proven by reference measurements over 12 months and more than 5'800 train journeys over the same relations. Due to the long measurement period, stochastic occurrences such as bad weather and bad adhesion conditions or very good driving style of the locomotive personal could be compensated. The difference in energy consumption between the vehicles with the dry-type transformer and the reference vehicles is therefore attributed exclusively to the equipment with dry-type transformers.

Zusammenfassung auf Deutsch

1. Ausgangslage

Die SBB hat sich zum Ziel gesetzt, ab 2025 jährlich 600 GWh Energie einzusparen. Die Fahrzeugflotte des Personenverkehrs trägt hierzu einen Grossteil bei. Um dieses Ziel zu erreichen, sind neue Ansätze und Technologien nötig, weshalb nun erstmals Trockentransformatoren in Serienfahrzeugen zum Einsatz kommen.

Da der gesamte Energieverbrauch des Fahrzeugs über den Traktionstransformator bezogen wird, können mit der Optimierung dieser einen Komponente grosse Energieeinsparungen erzielt werden. Gleichzeitig geht beim Rekuperieren von Bremsenergie weniger Energie verloren.

Innerhalb einer durch das BAV geförderten Machbarkeitsstudie Energieeffizienz FLIRT [1] wurde eine Potenzialschätzung zum Trockentransformator erstellt.

Im vorliegenden Projekt wird die Umsetzbarkeit und Energiesparwirkung von Trockentransformatoren in Eisenbahnfahrzeugen erstmalig in einem Serienfahrzeug in der Schweiz nachgewiesen.

2. Ziel der Arbeit

Im Rahmen dieses Projekts werden 12 Neufahrzeuge ab Werk mit Trockentransformatoren als Traktionstransformatoren ausgerüstet. Die Fahrzeuge werden gemeinsam durch die SBB (8 Fahrzeuge) und transN (4 Fahrzeuge) beschafft und der Mehraufwand für die Fahrzeuganpassungen zwischen den Bestellern geteilt.

Die beiden ölgekühlten Traktionstransformatoren eines Zuges werden durch zwei Trockentransformatoren ersetzt. Die Kühlanlage und die Dachanordnung der Fahrzeugendwagen müssen entsprechend angepasst werden. Ebenfalls sind Anpassungen in der Fahrzeugregelung nötig.

Die Rückwirkungsfreiheit der Transformatoren auf das Übertragungsnetz muss überprüft werden. Der Energieverbrauch der Fahrzeuge wird ausgewertet und mit konventionellen FLIRT Fahrzeugen der SBB verglichen.

Die Betreiber können so Erfahrungen für zukünftige Fahrzeugbeschaffungen mit dieser neuen Technik sammeln.

3. Forschungsansatz und aktueller Wissensstand

Bisher werden auf Eisenbahnfahrzeugen vor allem ölgekühlte Transformatoren mit aktiver Rückkühlung als Traktionstransformatoren eingesetzt. Die Transformatoren von Triebzügen im Leistungsbereich des FLIRT mit 15 kV 16.7 Hz können heute auch ölfrei als so genannte Trockentransformatoren ausgeführt werden.



Abbildung 1: Trockentransformator der ABB für die FLIRT-Fahrzeuge.

Durch den Wegfall des Öls kann die Aktivmasse der Leitermaterialien erhöht und die Verluste reduziert werden. Durch die tieferen Verluste fällt weniger Abwärme an, welche sonst aufwändig abgeführt werden müsste.

Dadurch werden Umwandlungsverluste im Transformator sowohl bei Energiebezug wie auch während der Rekuperation reduziert. Besonders gross ist der Einspareffekt im Teillastbetrieb, wenn nicht die volle Zugkraft der Motoren benötigt wird. Zudem entfällt die Transformatorölpumpe zur Umwälzung des Kühlöls, der Bedarf an Hilfsenergie wird gesenkt.

4. Ergebnisse

Mit der Bestellauslösung vom 14.04 2016 werden 12 FLIRT RABe 523 mit Trockentransformatoren gemeinsam durch die SBB und transN bestellt. Vier Fahrzeuge werden durch transN und acht Fahrzeuge durch die SBB bestellt. Durch die Lieferantin der Triebzüge werden die Anpassungen der Leittechniksoftware, Konstruktionszeichnungen und Elektroschemas koordiniert. Die daraus resultierenden Mehrkosten für die Anpassungen der Fahrzeuge werden von SBB und transN anteilig der bestellten Fahrzeuge getragen, wie auch die Förderung durch das Projekt ESöV 2050 des BAV anteilig der Fahrzeuge aufgeteilt wird.

4.1. Verifizierung der Prototypenentwicklung

Im Mai 2016 fand die First Article Inspection (FAI) des neuen 15kV/1100kVA Trockentransformators im ABB Trafowerk Brilon zusammen von SBB und Stadler statt.

Am 23.08.2016 folgten Störstrommessungen unter realen Bedingungen mittels Probefahrten zwischen Solothurn - Grenchen Süd – Solothurn, die erfolgreich abgeschlossen werden konnten. Die Störstrommessungen wurden während sogenannter Trapezfahrten durchgeführt: Beschleunigen von 0 bis 160 km/h und Bremsen bis 0 km/h.



Abbildung 2: Das Prototypenfahrzeug RABe 523 066 mit Trockentransformatoren während der Störstrommessungen.

4.2. Aufnahme Probetrieb der SBB

Am 26. September 2016 wurde für das erste Fahrzeug mit Trockentransformatoren RABe 523 (RegiOlten II) 94 85 0 523 066-4 durch das Bundesamt für Verkehr BAV die unbefristete Betriebserlaubnis erteilt. Diese Bewilligung gilt für den kommerziellen Betrieb des Fahrzeugs in der Schweiz. Seit die Betriebsbewilligung vorliegt, ist das Fahrzeug im Raum Olten und Luzern im kommerziellen Einsatz.

Ein Messaufbau zur Auswertung der Energieeinsparung wurde installiert.

4.3. Auslieferung der Fahrzeuge

Nach der Auslieferung des Prototypen RABe 523 066 an die SBB wurden vier Fahrzeuge im Zeitraum von März bis April 2017 (RABe 523 074 bis 077) an transN ausgeliefert und in Betrieb genommen.

Es folgte die Auslieferung von sieben weiteren FLIRT (RABe 523 067 bis 073) an die SBB bis November 2017. Per Fahrplanwechsel im Dezember 2017 stehen alle acht FLIRT mit Trockentransformatoren der SBB im kommerziellen Einsatz.



Abbildung 3: Die FLIRT 527 333 (mit ölgekühlten Transformatoren) und 523 074 (mit Trocken-
transformatoren) der transN. Man beachte die unterschiedliche Dachverkleidung der beiden
Fahrzeuge.

5. Diskussion

Die Verifizierung der prognostizierten Energieeinsparung und die Sammlung von Betriebserfahrungen liegen im Versuchszeitraum im Vordergrund. Ein aktives Monitoring aller Störungsmeldungen, gezielte Begleitfahrten und Validierung des Energieverbrauches sind Massnahmen zur kontrollierten Einführung dieser Technologie in den Betrieb der SBB.

5.1. Störungsmonitoring RABe 523 066

Die Zuverlässigkeit der Trockentransformatoren des RABe 523 066 wurde ab September 2016 überwacht und ausgewertet. Das Fahrzeug wurde seit dem Start des kommerziellen Einsatzes mit Fahrgästen im Raum Olten – Luzern eingesetzt und fuhr monatlich die SBB-typischen Kilometerleistungen für diesen Fahrzeugtyp.

Bis Dezember 2017 gab es keine Störungen mit dem Trockentransformator. Aus diesem Grund wird nachfolgend hauptsächlich auf die Validierung der Energieeffizienz eingegangen.

Alle FLIRT mit Trockentransformatoren werden durch die SBB sowie die Lieferanten ABB und Stadler aktiv in den Bereichen der Definition von Wartung und Instandhaltung begleitet. Diese Tätigkeiten sind laufende Prozesse, die noch nicht abgeschlossen sind.

5.2. Verifikation der Energieeinsparung

Die Verifikation findet im Betrieb über ein Energiemessgerät der Firma microelectrica statt. Dieses dient der Verrechnung der Energiebezüge des Fahrzeugs gegenüber dem Infrastrukturbetreiber und erfüllt die entsprechenden Anforderungen an die Genauigkeit.

Zur Plausibilisierung der Messungen werden in über 5'800 Messfahrten verschiedene Szenarien berücksichtigt. Da die Messungen nicht unter Laborbedingungen durchgeführt werden, unterliegen sie Abhängigkeiten von Umgebungsbedingungen wie z.B.

- Betriebssituation: bei knapper Pünktlichkeit werden Geschwindigkeitsreserven ausgefahren um die geplante Ankunftszeit zu erreichen.
- Fahrweise des Lokpersonals: ortskundiges und erfahrenes Lokpersonal hat eine effizientere Fahrweise.
- Wetter: Temperatur, Feuchtigkeit etc. haben ebenfalls einen signifikanten Einfluss auf den Energieverbrauch.

Aus diesen Gründen werden im betrachteten Zeitraum von 12 Monaten die Fahrten miteinander verglichen sowie eine Messfahrt in Doppeltraktion zum direkten Vergleich durchgeführt.

Detaillierte Informationen zur durchgeführten Plausibilisierung sind dem Bericht [2] zu entnehmen. Darin wird eine Energieeinsparung von 7.5% ausgewiesen, was bezogen auf die acht Fahrzeuge der SBB zu einer Reduktion des Energieverbrauchs von 0.63 GWh führt. Für die vier Fahrzeuge der transN bedeutet dies eine Einsparung von 0.32 GWh/a.

6. Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Erstmals kommen Trockentransformatoren als Haupttransformatoren serienmässig in Eisenbahnfahrzeugen in der Schweiz zum Einsatz. Durch die Optimierung von nur einer zentralen Komponente wird eine hohe Energieeinsparung von 78.5 MWh pro Jahr und Fahrzeug oder 7.5% realisiert. Da kein Öl im Transformator zur Kühlung und Isolation verwendet wird, reduzieren sich Umweltbelastung und weitere Risiken markant. Weiter reduzieren sich durch die neue Technologie die Wartungs- und Instandhaltungsaufwände, was die Kosten senkt und die Wirtschaftlichkeit der Fahrzeuge steigert. Zudem entfallen Komponenten wie Pumpen, welche zum Betrieb eines konventionellen Transformators benötigt würden.

Die 12 Fahrzeuge sind per Dezember 2017 im regulären Betrieb, ohne Auffälligkeiten bei der Zuverlässigkeit. Eine definitive Aussage zur Zuverlässigkeit der Trockentransformatoren wird allerdings erst in einigen Jahren möglich sein, wenn die Datenbasis gewachsen ist.

Für zukünftige Rollmaterialbeschaffungen wird die SBB auf Trockentransformatoren setzen.

Résumé en français

1. Situation initiale

Les CFF se sont fixé comme objectif d'économiser, à partir de 2025, 600 GWh d'énergie chaque année. La flotte de la division Voyageurs y contribue pour une grande part. Pour atteindre cet objectif, il est nécessaire de déployer de nouvelles approches et technologies. C'est ainsi qu'il a été décidé d'utiliser pour la première fois des transformateurs secs sur des véhicules en série.

L'optimisation de ce composant permet de réaliser des économies importantes, car la totalité de l'énergie consommée par le véhicule passe par le transformateur de traction. La récupération de l'énergie de freinage limite parallèlement les pertes d'énergie.

L'économie potentiellement réalisable grâce aux transformateurs secs a été calculée dans le cadre d'une étude de faisabilité sur l'efficacité énergétique des véhicules FLIRT [1] subventionnée par l'OFT.

Le but du présent projet est de démontrer qu'il est possible d'utiliser des transformateurs secs dans des véhicules ferroviaires et de déterminer l'impact sur les économies d'énergie en se livrant, pour la première fois en Suisse, à une étude sur un véhicule en série.

2. Finalité du projet

Dans le cadre du projet, 12 nouveaux véhicules ont été équipés en usine de transformateurs secs en guise de transformateurs de traction. Ces véhicules ont été achetés conjointement par les CFF (8 véhicules) et transN (4 véhicules). Le surcoût généré par l'adaptation des véhicules est réparti entre les commanditaires.

Les deux transformateurs de traction refroidis à l'huile qui équipent normalement chaque train sont remplacés par deux transformateurs secs. Le système de refroidissement et l'agencement du toit sur les voitures d'extrémité doivent être modifiés en conséquence. Des ajustements sont également nécessaires au niveau de la régulation des véhicules.

Il convient de vérifier l'absence de rétroaction sur le réseau de transmission. La consommation d'énergie des véhicules est analysée et comparée avec celle de véhicules FLIRT classiques des CFF.

Les exploitants peuvent ainsi collecter des valeurs empiriques en vue de futurs achats de véhicules équipés cette nouvelle technique.

3. Angle de recherche et état actuel des connaissances

À ce jour, les véhicules ferroviaires sont généralement équipés, en guise de transformateurs de traction, de transformateurs refroidis à l'huile avec système de réfrigération active. Les transformateurs de rames automotrices dans la gamme de puissance des FLIRT avec une traction 15 kV/16,7 Hz peuvent aussi prendre aujourd'hui la forme de transformateurs secs sans huile.



Illustration 4: Transformateur sec d'ABB pour les véhicules FLIRT.

L'absence d'huile permet d'augmenter la masse active des matériaux conducteurs et de réduire les pertes. Cette diminution des pertes se traduit par une baisse de la déperdition de chaleur, qui nécessite normalement des mesures d'évacuation complexes.

Cela limite les pertes de conversion dans le transformateur aussi bien lors de la fourniture d'énergie que durant la récupération. L'économie réalisée est particulièrement élevée en mode de charge partielle, quand une partie seulement de l'effort de traction des moteurs est requise. En outre, le système n'a pas besoin de pompe pour assurer la circulation de l'huile de refroidissement, ce qui diminue les besoins en énergie auxiliaire.

4. Résultats

Le 14 avril 2016, les CFF et transN ont passé une commande conjointe de 12 FLIRT RABe 523 équipés de transformateurs secs. Quatre de ces véhicules ont été commandés par transN et les huit autres par les CFF. La société fournissant les rames automotrices s'est chargée de coordonner les modifications à apporter au logiciel de la logique de commande, aux dessins de construction et aux schémas électriques. Les surcoûts entraînés par l'adaptation des véhicules sont supportés par les CFF et transN au prorata des véhicules commandés; la subvention accordée par le projet SETP 2050 de l'OFT est de même répartie au prorata.

4.1. Vérification du développement du prototype

En mai 2016, les CFF et Stadler ont procédé ensemble au contrôle des premiers articles de production (FAI) pour le nouveau transformateur sec 15 kV/1100 kVA dans l'usine de transformateurs ABB de Brilon.

Le 23 août 2016, des mesures des courants parasites ont été effectuées dans des conditions réelles lors de courses d'essai sur la ligne Soleure–Granges Sud–Soleure; ces mesures ont été concluantes. Les mesures des courants parasites ont eu lieu lors de courses «en trapèze» (accélération de 0 à 160 km/h et freinage jusqu'à 0 km/h).



Illustration 5: Le prototype RABe 523 066 équipé de transformateurs secs durant les mesures des courants parasites.

4.2. Lancement par les CFF des essais d'exploitation

Le 26 septembre 2016, l'Office fédéral des transports a accordé une autorisation d'exploitation non limitée dans le temps pour le premier véhicule équipé de transformateurs secs, à savoir le RABe 523 (RegiOlten II) 94 85 0 523 066-4. Cette autorisation est valable pour l'exploitation commerciale en Suisse. Depuis l'obtention de l'autorisation d'exploitation, le véhicule est en service commercial dans la région d'Olten et de Lucerne.

Un dispositif de mesure a été installé afin d'analyser les économies d'énergie réalisées.

4.3. Livraison des véhicules

Après la livraison du prototype RABe 523 066 aux CFF, quatre véhicules (RABe 523 074 à 077) ont été livrés à transN en mars et avril 2017 et mis en service.

Sept autres FLIRT (RABe 523 067 à 073) ont ensuite été livrés aux CFF jusqu'au mois de novembre 2017. Au changement d'horaire de décembre 2017, les huit FLIRT des CFF équipés de transformateurs secs étaient en service commercial.



Illustration 6: Le FLIRT 527 333 (avec transformateurs refroidis à l'huile) et le FLIRT 523 074 (avec transformateurs secs) de transN. On note la différence au niveau de la toiture entre les deux véhicules.

5. Discussion

Durant la période d'essai, priorité est donnée à la vérification des économies d'énergie pronostiquées et à la collecte de données empiriques en cours d'exploitation. Les mesures mises en place pour contrôler l'exploitation de cette technologie au sein des CFF comprennent un monitoring actif de toutes les annonces de dérangement, des courses accompagnées ciblées et la validation de la consommation d'énergie.

5.1. Monitoring des dérangements sur le RABe 523 066

La fiabilité des transformateurs secs du RABe 523 066 a fait l'objet d'une surveillance à partir du mois de septembre 2016 et les résultats obtenus ont été analysés. Depuis le lancement de l'exploitation commerciale avec des passagers, le véhicule est en service dans la région d'Olten et de Lucerne et a accompli chaque mois des prestations kilométriques habituelles pour ce type de véhicule aux CFF.

Un premier bilan au mois de décembre 2017 ne fait état d'aucun dérangement. Les paragraphes qui suivent se concentrent donc avant tout sur la validation de l'efficacité énergétique.

Les mesures de maintenance et d'entretien sont en cours de définition par les CFF et par les fournisseurs ABB et Stadler pour tous les véhicules FLIRT équipés de transformateurs secs. Il s'agit ici de processus continus qui ne sont pas encore clôturés.

5.2. Vérification des économies d'énergie

La vérification se fait en cours d'exploitation au moyen d'un appareil de mesure d'énergie de la société microelectrica. Ce dispositif sert à calculer l'énergie captée par le véhicule par rapport au gestionnaire de l'infrastructure et répond aux exigences de précision requises.

La plausibilité des mesures est vérifiée sur la base de différents scénarios durant plus de 5800 courses de mesure. Comme les mesures ne sont pas effectuées dans des conditions de laboratoire, elles dépendent de facteurs extérieurs tels que

- la situation de l'exploitation: pour assurer la ponctualité dans certaines circonstances, les véhicules puisent dans les réserves de vitesse afin de combler leur retard;
- la manière de conduire du personnel des locomotives: les conducteurs expérimentés et connaissant bien les lieux ont une conduite plus efficace;
- les conditions météorologiques: la température, l'humidité, etc. ont également une influence significative sur la consommation d'énergie.

Les courses effectuées durant la période considérée de 12 mois sont donc comparées entre elles et une course de mesure en double traction est effectuée à titre de comparaison directe.

On trouvera dans le rapport [2] des informations détaillées sur le contrôle de la plausibilité. Il en ressort une économie d'énergie de 7,5%, ce qui, rapporté aux huit véhicules des CFF, équivaut à une réduction de la consommation d'énergie de 0,63 GWh. Pour les quatre véhicules de transN, l'économie est de 0,32 GWh/a.

6. Conclusions et recommandations

C'est la première fois que des transformateurs secs sont utilisés en série comme transformateurs principaux dans des véhicules ferroviaires en Suisse. L'optimisation d'un seul composant central permet de réaliser des économies d'énergie significatives de 78,5 MWh par an et par véhicule, soit 7,5%. L'absence d'huile pour le refroidissement et l'isolation dans le transformateur réduit de façon sensible les nuisances pour l'environnement et divers autres risques. La nouvelle technologie simplifie également la maintenance et l'entretien, ce qui abaisse les coûts et accroît la rentabilité des véhicules. Elle supprime en outre des composants tels que les pompes, nécessaires au bon fonctionnement des transformateurs classiques.

L'exploitation des 12 véhicules n'a révélé jusqu'au mois de décembre 2017 aucun problème de fiabilité. Il faut toutefois attendre quelques années pour disposer d'une base de données plus large et pouvoir se prononcer définitivement sur la fiabilité de cette technologie.

Pour leurs futurs achats de matériel roulant, les CFF vont miser sur des transformateurs secs.

7. Literaturverzeichnis, Bibliographie

- [1] Johannes Dréwniok, Ueli Kramer, Matthias Tuchs Schmid, **Machbarkeitsstudie Energieeffizienz FLIRT**, P-059, https://www.bav.admin.ch/dam/bav/de/dokumente/themen/umwelt/energiestrategie-projekte/schlussbericht_059.pdf.download.pdf/Machbarkeitsstudie_Energieeffizienz_FLIRT_BAV-Layout%20v6.pdf 08.03.2018
- [2] Matthias Tuchs Schmid, Ueli Kramer, **FLIRT - Trockentrafo. Wirkungsnachweis der Energieeffizienzmassnahme**, CAA 20191779, SBB, 20.03.2018, SBB internes Dokument.
- [3] **Betriebsbewilligung RABe 523 066** vom 26.09.2016, BAV, internes Dokument.
- [4] **Konformitätserklärung RABe 523 066** vom 04.07.2016, Stadler Bussnang AG, internes Dokument.
- [5] Johannes Dréwniok, **Zwischenbericht „Start kommerzieller Betrieb 1. FLIRT mit Trockentransformator“**, SBB, 21.12.2016. V 1.0, SBB internes Dokument.
- [6] Leonard Sandoz, **Zwischenbericht „Projekt 079 Serieneinführung Trockentransformator FLIRT“**, transN, 21.07.2017, Rev. 1.2, transN internes Dokument.
