



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)



Bahnstrommessung auf Bahnfahrzeugen

Schlussbericht

Projekte Nr. 008 / 060

zur Umsetzung der Energiestrategie im öffentlichen Verkehr



John Hegarty, SBB AG
Industriestrasse 1, CH-3052 Zollikofen
john.hegarty@sbb.ch / www.sbb.ch

Gisela Hinrichs, SBB AG
Industriestrasse 1, CH-3052 Zollikofen
gisela.hinrichs@sbb.ch / www.sbb.ch

Begleitgruppe

Ammann Markus, BAV
Chevroulet Tristan, BAV
Josi Walter, BAV
Willi Hermann, BAV

Impressum

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

Programmleiter
Tristan Chevroulet, BAV

Projektnummer: 008 und 060
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.

Grafiken erstellt durch Disegnato GmbH, Redaktion durch Morf Communication AG.

Bern, den 06.06.2017

Abstrakt

Eine der wichtigsten Voraussetzungen für das Management der Energieeffizienz ist die Einführung eines zählerbasierten Energiemess- und Abrechnungssystems. Der Wandel in Richtung verbrauchsabhängige Energieverrechnung erfordert, dass die vorhandenen Fahrzeugflotten mit Energiezählern ausgestattet werden. Ziel des Projekts ist es, ein modulares System zu entwickeln und zu implementieren, um bestehende Triebfahrzeuge mit Energiemesssystemen auszurüsten. Um Betriebs- und Wartungskosten zu minimieren, wird eine einheitliche Lösung für alle Fahrzeugtypen entwickelt. Die Lösung umfasst die fahrzeugseitigen Energieberechnungs- und Datenmanagementfunktionen sowie zusammen mit den GPS- und GSM-Schnittstelleneinheiten in einem einzigen kompakten Gerät. Die Energiemesssysteme sollten mit der europäischen Norm EN50463 für die Energiemessung auf Triebfahrzeuge übereinstimmen. Wesentliche Ergebnisse des Projekts sind: Systemspezifikation, Beschaffung der Messgeräte, Auslegung der Fahrzeugintegration, Konformitätsbewertung, Implementierung eines Datenauslesesystems, Ausstattung von Fahrzeugen verschiedener Fahrzeugtypen mit Prüfsystemen, Systemintegration und Feldversuchen. Die Ergebnisse des Projekts bilden die Grundlage für die Umsetzung der Energiemessung auf allen Schweizer Zügen und die Einführung der zählerbasierten Abrechnung der Bahnenergie.

L'une des conditions essentielles de la gestion de l'efficacité énergétique est l'introduction d'un système de mesure d'énergie et de décompte à base de compteurs. Le passage à une facturation de l'énergie en fonction de la consommation impose que les flottes actuelles soient équipées de compteurs d'énergie. Le présent projet a pour objectif de développer et d'implanter un système modulaire qui permettra de doter les véhicules moteurs existants de systèmes de mesure de l'énergie. Afin de minimiser les coûts d'exploitation et d'entretien, une solution uniforme pour tous les types de véhicules sera développée. Cette solution réunit les fonctions de calcul de l'énergie et de gestion des données du véhicule ainsi que les unités d'interface GPS et GSM en un seul appareil compact. La conformité des systèmes de mesure de l'énergie à la norme européenne EN 50463 relative à la mesure d'énergie à bord des véhicules moteurs devrait être assurée. Les principaux résultats du projet sont les suivants: spécification du système, acquisition des appareils de mesure, conception de l'intégration dans les véhicules, évaluation de la conformité, implémentation d'un système de lecture des données, installation de systèmes de contrôle sur les véhicules de différents types, intégration système et tests en conditions réelles. La mise en œuvre de la mesure de l'énergie à bord de tous les trains suisses et l'introduction d'un décompte de l'énergie ferroviaire à base de compteurs s'appuient sur ces résultats.

One of the most important conditions for managing energy efficiency is the introduction of a meter-based energy settlement and billing system. The change towards metered energy settlement requires that the existing fleet of vehicles be equipped with energy meters. The aim of the project is to design and implement a modular system to equip existing fleets with energy measurement systems. In order to minimize operation and maintenance costs, a single uniform solution for all vehicle types will be developed. The solution incorporates the energy calculation and data handling functions together with GPS and GSM interface units into a single compact device. The energy measurement systems should be conform to the EN50463 European standard for energy measurement on board trains. Key results from the project will be: system specification, procurement of measuring device, design of vehicle integration, procedure for conformity assessment, implementation of a Data Collection Service, equipment of vehicles of different vehicle types with test systems, system integration and field tests. The results from the project will provide a basis for the implementation of energy metering on all Swiss trains and the introduction of meter-based billing of rail energy.

Inhaltsverzeichnis

1. Management Summary (Deutsch)	6
2. Management Summary (Français)	10
3. Abkürzungen	15
4. Ziele und Umfang des Projekts	16
4.1. Auslöser und Motivation	16
4.2. Vorteile der Energieabrechnung auf Basis von Energiemesssystemen	16
4.3. Ziele des Projekts	17
4.4. Projektumfang	17
4.5. Erwartete Ergebnisse	18
4.6. Finanzielle Unterstützung	18
5. Grundlagen	19
5.1. Marktmodell Bahnstrom Schweiz	19
5.2. Normen und Richtlinien	20
5.3. Funktionale Struktur des Energiemesssystems	21
6. Verrechnungssystem	23
6.1. Grundprinzip	23
6.2. Funktionsweise	24
6.3. Zulassung zur Ist-Abrechnung	25
7. Vorgehen im Projekt	26
7.1. Projektphasen	26
7.1.1. Phase 1: Studie und Grobkonzept	26
7.1.2. Phase 2: Detailkonzept, Entwicklung und Test	26
7.1.3. Phase 3: Funktionserweiterung und Betriebserprobung	27
7.1.4. Projektabschluss	28
7.2. Einbezug anderer Bahnen und Projektkommunikation	28
7.3. Service-Leistung Bahnstrommessung	29
7.4. Beteiligung des BAV	30
8. Projekt-Ergebnisse	31
8.1. Gesamtkonzept	31
8.2. Anforderungsspezifikation und –beschaffung	32
8.3. Energiemessgerät	33
8.3.1. Funktionsmodule des Energiemessgeräts	33
8.3.2. Installations- und Wartungssoftware	34
8.4. Messwandler	35
8.5. Data Collection Service (DCS)	36
8.6. EMS Integration Design	38
8.6.1. Betriebsmitteltypen	38
8.6.2. Fahrzeugtypen	38
8.7. EMS Installation Design	39
8.7.1. Vorgehen	39
8.7.2. Installation des Energiemesssystems	39

8.8.	Fahrzeugumbau	41
8.9.	Betriebserprobung.....	42
	8.9.1. <i>Verifikation der Funktionstüchtigkeit und Zuverlässigkeit</i>	42
	8.9.2. <i>Fehleranalyse und -behebung</i>	42
8.10.	Konformitätsbewertung	44
	8.10.1. <i>Ziele und Nutzen</i>	44
	8.10.2. <i>Bewertungsmethode</i>	44
	8.10.3. <i>Begutachtungsplan</i>	45
	8.10.4. <i>Nachweisdokumentation</i>	46
8.11.	Systemintegration	47
9.	Schlussfolgerungen und Ausblick	49
9.1.	Projektverlauf	49
9.2.	Vorteile für die Bahnunternehmen	49
9.3.	Nutzen der Projekt-Beteiligung des BAV	49
9.4.	Projektergebnisse und Zielerreichung	50
9.5.	Ausblick.....	50
Abbildungen	51	
Anhang	52	
	Anhang 1: <i>Anforderungsspezifikation Energiemessgerät</i>	52
	Anhang 2: <i>Anforderungsspezifikation Data Collection Service (DCS)</i>	52
	Anhang 3: <i>Systembeschreibung EMS-Integration</i>	52
	Anhang 4: <i>Systembeschreibung Fahrzeugintegration (Beispiel)</i>	52
	Anhang 5: <i>Liste der benötigten Dokumente</i>	52
	Anhang 6: <i>Typenprüfung (Beispiel)</i>	52
	Anhang 7: <i>Stückprotokoll (Beispiel)</i>	52
	Anhang 8: <i>Konzept für die Aufrechterhaltung</i>	52
	Anhang 9: <i>FRACAS-Bericht</i>	52
	Anhang 10: <i>Beispiel-Auswertungen der ECOLogic-Messdaten</i>	52
	Anhang 11: <i>Präsentation EVU Runde Tisch, Februar 2015</i>	52
	Anhang 12: <i>Informationsbrief an die EVU, Oktober 2015</i>	52
	Anhang 13: <i>Fachartikel im „European Railway Review“, Januar 2016</i>	52

1. Management Summary (Deutsch)

Nutzen der Energiemessung

Die Einführung von Energiemesssystemen auf allen Triebfahrzeugen ist ein wesentlicher Erfolgsfaktor zur Erreichung der Energiesparziele im Bereich Bahnstrom. Erfahrungen und einzelne Referenzmessungen haben gezeigt, dass Abweichungen zwischen dem effektiven und dem mit relativen Verbrauchswerten je Zuggattung berechneten Bahnstromverbrauch bestehen. Messsysteme sind die Grundlage für eine verbrauchs- und verursachergerechte Verrechnung und schaffen so indirekt monetäre Anreize für die Verkehrsunternehmen zum Sparen von Bahnstrom. Zudem stellen sie als Grundlage zur Verbrauchssteuerung und -optimierung die notwendige Transparenz im Energieverbrauch bereit. Die Daten können auch ausgewertet und so zur Förderung der effizienten Nutzung des Bahnstroms herangezogen werden.

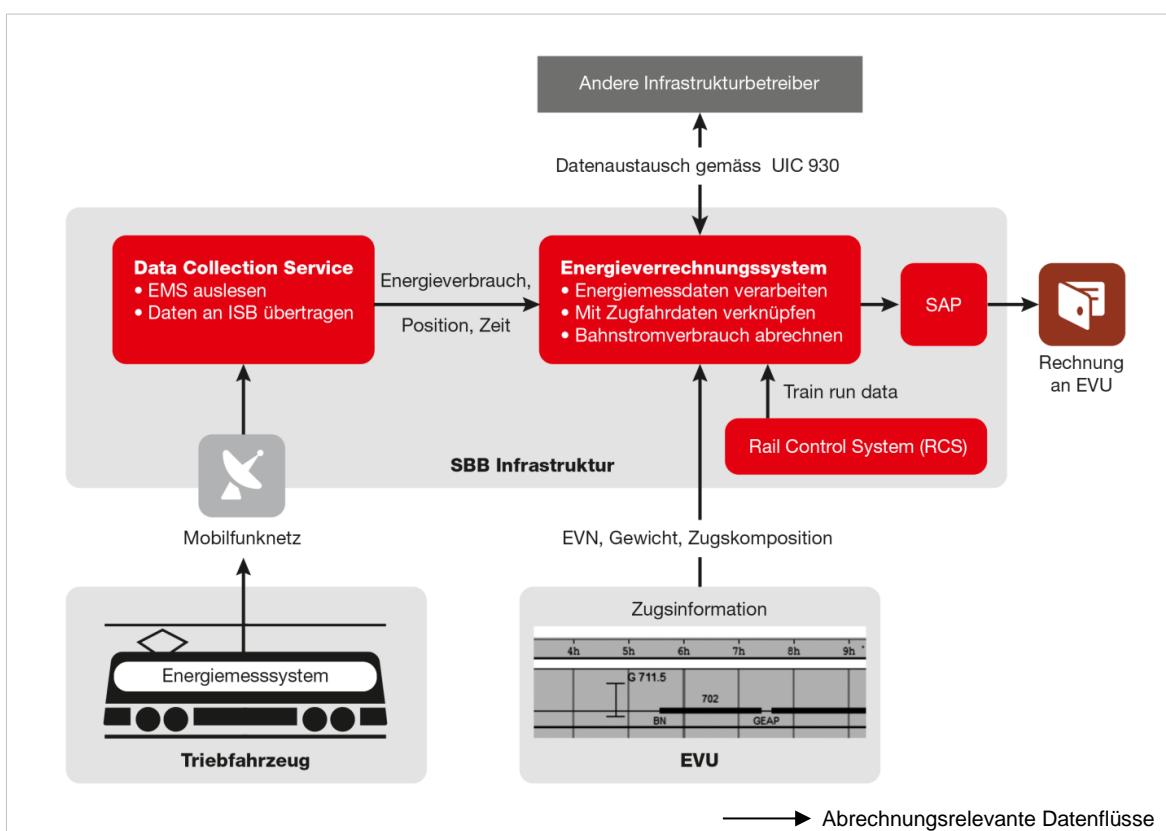


Abbildung 1: Systemübersicht Energieabrechnungssystem mit Ist-Verrechnung

Die Einführung solcher Systeme stellt jedoch eine erhebliche Initialinvestition und somit eine grosse Hürde für die Umsetzung durch die Bahnunternehmen dar. Aus diesem Grund hat SBB Infrastruktur mit Unterstützung des BAV ein Projekt zur Spezifikation, Entwicklung und Erprobung eines standardisierten Energiemesssystems realisiert.

Projektumfang und -ergebnisse

Das Projekt umfasste im Wesentlichen:

- Spezifikation und Entwicklung eines standardisierten Energiemessgeräts
- Engineering und Einbau von Energiemesssystemen in mehreren Triebfahrzeugen
- Bereitstellung des Auslesesystems

- Durchführung einer Betriebserprobung des Gesamtsystems

Die Hauptergebnisse des Projekts sind:

- Anforderungsspezifikation für das Messgerät
- Beschaffung eines kompakten Energiemessgerätes, konform zu EN50463, inkl. Installationssoftware
- Bereitstellung eines Systems für die Fernauslesung der Messdaten via Mobilfunk
- Einbauengineering für 25 Fahrzeugtypen
- Ausrüstung von 92 Fahrzeugen mit Energiemesssystemen, auf Basis des Standardgerätes
- Durchführung einer umfassenden Betriebserprobung des gesamten Systems, inkl. Datenübermittlung an das SBB Verrechnungssystem bzw. an die DB Energie
- Methodik und Standardablauf für die Erstellung der Konformitätsnachweisdokumente und die Durchführung der Konformitätsbewertung nach EN50463 bzw. TSI LOC&PAS
- Aufbau einer Messdienstleistung, welche anderen Bahnen die Mitnutzung des Auslesesystems ermöglicht

Standardlösung für die Schweiz

Kernziel des Projekts war die Bereitstellung einer einheitlichen Energiemesssystemlösung, welche von allen schweizerischen Bahnunternehmen eingesetzt werden kann. Dadurch sollten die Aufwände der einzelnen Bahnen für die Ausrüstung von bestehenden Fahrzeugflotten mit Energiemesssystemen reduziert und die Forderung nach Umsetzung einer schweizweiten Ist-Verrechnung erfüllt werden. Weiter galt es, ein zentrales System für die Fernauslesung und Weitergabe der Messdaten an das Verrechnungssystem zu realisieren.

Bei der Konzeption und Beschaffung des Energiemesssystems wurde ein universell einsetzbares Messgerät als zentrales Element der Lösung definiert. Die wichtigsten Kriterien waren einerseits die Konformität zur Europäischen Norm EN 50463 „Bahnanwendungen – Energiemessung auf Bahnfahrzeuge“. Andererseits sollte das Gerät möglichst kompakt sein, damit es in sämtlichen Fahrzeugtypen eingebaut werden kann. Die Festlegung der EN Norm als Grundanforderung stellt klare und einheitlich geregelte Anforderungen an die Messgeräte sowie deren Überprüfbarkeit sicher und bildet so ein wichtige Grundlage für die Akzeptanz der Energiemessung in anderen Ländern.



Abbildung 2: Elemente der Systemlösung von Microelettrica Scientifica SA1

¹ ECOModule, ECOTool und ECOLogic sind Trademarks der Firma Microelettrica Scientifica SA

Abnahmetest und Betriebserprobung

Im Rahmen des Projekts wurden ausführliche Tests aller Komponenten, insbesondere des Energiemessgerätes, durchgeführt. Dabei wurden nicht nur die Funktionalität und Normkonformität geprüft, sondern auch die Nutzerfreundlichkeit und Wartbarkeit getestet. Die Betriebsbedingungen von Eisenbahnfahrzeugen stellen höchste Anforderungen an elektronische Geräte. Deshalb wurde eine umfangreiche Betriebserprobung über insgesamt 18 Monate durchgeführt. So konnte die Funktionstüchtigkeit und Zuverlässigkeit des Systems im realen Betrieb nachgewiesen werden.

Dank diesem Vorgehen wurden im Verlauf des Projekts diverse Verbesserungen am Messgerät sowie am Auslesesystem identifiziert und, zusammen mit dem Lieferanten, umgehend umgesetzt.

Konformitätsprüfung

Die Norm EN 50463 legt die Anforderungen an Energiemesssysteme für Abrechnungszwecke im Bahnbereich fest. Die Norm ist sehr umfangreich und stellt nicht nur Anforderungen in Bezug auf Messfunktion und Messgenauigkeit, sondern auch an die Betriebsbedingungen sowie an die betrieblichen Prozesse. Das gewährleistet die Qualität der Energiemessdaten bei sehr unterschiedlichen Betriebsbedingungen über die gesamte Lebensdauer des Systems. Weitere relevante Normen sind die technischen Spezifikationen für die Interoperabilität TSI Loc&Pas und TSI Energie sowie die relevanten Notifizierten Nationalen Technischen Vorschriften (NNTV) in der Schweiz.

Das Verfahren zur Konformitätsbewertung durch eine unabhängige Prüfstelle ist zwar aufwändig, aber unerlässlich, um eine objektive Beurteilung der Qualität des Energiemesssystems zu erhalten. Dadurch wird nicht nur die formale Richtigkeit der Prüfung sichergestellt. Sie dient auch dazu, das Vertrauen in die Messdaten zu erhöhen und bildet somit eine solide Grundlage für die finanziellen Geschäftsbeziehungen zwischen Infrastrukturbetreibern und Verkehrsunternehmen.

Im Rahmen des Projekts wurde ein systematisches Konformitätsvorgehen für die EN50463 erstmals in der entsprechenden Tiefe erarbeitet, durchlaufen und dokumentiert.

Zusatzfunktionen

Die Grundfunktion von Energiemesssystemen ist es, Messdaten für die Abrechnung des Bahnstromverbrauchs zu liefern. Zusätzlich zu den Standardfunktionen gemäss der EN50463 Norm wurden weitere Zusatzfunktionen realisiert. Besonders wichtig sind:

- Die Verrechnungsdaten werden in 1-Minuten-Messintervallen statt in 5-Minuten-Intervallen erfasst. Das erlaubt in der Abrechnung eine viel genauere Zuordnung des Verbrauchs zu den Teilstrecken und ermöglicht aussagekräftigere Auswertungen des Energieverbrauchs je Zug oder Strecke.
- Es können 1-Sekunden-Messungen von Leistung, Spannung und Strom sowie der GPS-Koordinaten und der Geschwindigkeit erfasst werden. Diese stehen für erweiterte Analysen des Energieverbrauchs sowie für neue Applikation zur Unterstützung des Energiesparens zur Verfügung.
- Ein Web-Tool steht für Standardauswertungen des Energieverbrauchs je Flotte und Zug zur Verfügung.

Herausforderungen

Die Energiemessung auf Eisenbahnfahrzeugen zwecks Bahnstromverrechnung birgt auf mehreren Stufen Herausforderungen.

- **Zuverlässigkeit:** Die fahrzeugseitigen Energiemesssysteme werden auf unterschiedlichsten Arten von Triebfahrzeugen – von alten Einzellokomotiven bis zu modernen Triebzügen – installiert und betrieben. Das ergibt eine Vielzahl von Installationsvarianten, Betriebsbedingungen und Betriebsfällen, die alle geprüft werden müssen.
- **Integration:** Über die ganze Datenkette – vom Messgerät am Fahrzeug bis zur Bahnstromrechnung – bestehen technische und organisatorische Schnittstellen zwischen mehreren Systemen, welche von unterschiedlichen Unternehmen betrieben werden.
- **Grenzüberschreitender Verkehr:** Der Austausch der Energiemessdaten muss auch mit den Infrastrukturbetreibern im Ausland gewährleistet sein.
- **Neue Rollen:** Mit der Einführung der Energiemessung und Ist-Verrechnung sind an der Bahnstromabrechnung neue Rollen wie zum Beispiel „Fahrzeughalter“ und „Messdienstleister“ beteiligt.

Ausblick / Weiterentwicklung

Mit dem Projekt wurden die Grundlagen erarbeitet und die Basiselemente zur Einführung von Energiemesssystemen auf Triebfahrzeugen bereitgestellt. Gleichzeitig wurde eine erste Version der verbrauchsabhängigen Verrechnung entwickelt und in das Trassenverrechnungssystem der SBB Infrastruktur und anderer Infrastrukturbetreiber in der Schweiz integriert.

Die Energiemesssysteme werden in einem dynamischen Zusammenspiel zwischen den Bahn-, den Strom- und den Zuliefermärkten betrieben, welche aktuell alle noch einer ständigen Veränderung unterliegen, einschliesslich der sie betreffenden Normierung und Regulation.

Es wird erwartet, dass im Laufe der Jahre 2017 bis 2019 die Fahrzeugflotten der SBB und anderer Schweizer Bahnunternehmen laufend mit Energiemesssystemen ausgerüstet werden. Neue Fahrzeuge werden in der Regel bereits mit Energiemesssystemen ausgeliefert. Spätestens im Jahr 2019 ist in der Schweiz der Systemwechsel von der heutigen Pauschalabrechnung zur verbrauchsabhängigen Abrechnung des Bahnstroms auch fahrzeugseitig vollzogen.

Die neuen Systeme und Prozesse werden sich in den nächsten Jahren auch weiterentwickeln und mitwachsen. Zusätzlich zur Identifikation von Potentialen zur Steigerung der Energieeffizienz bestehen weitere mögliche Entwicklungsfelder z.B. die Nutzung der Energiemessdaten zur Optimierung des Bahnbetriebs oder für die Steuerung von Lastspitzen im Bahnstromnetz. Dabei sind nicht nur die technischen Systeme betroffen. Auch die Prozesse, die Rollen und die entsprechenden Organisationen müssen mitwachsen, was in diesem komplexen Umfeld eine grosse Herausforderung darstellt. SBB Infrastruktur arbeitet aktiv an diesen Themen.

2. Management Summary (Français)

Avantages de la mesure de l'énergie

L'introduction de systèmes de mesure de l'énergie sur tous les véhicules moteurs est un facteur de réussite essentiel pour atteindre les économies d'énergie visées en matière de courant de traction. Les expériences acquises et des mesures de référence isolées ont montré que la consommation de courant de traction effective n'est pas identique à la consommation calculée à partir des valeurs de consommation relatives par catégorie de train. Constituant la base d'une facturation selon le principe du responsable-payeur et la consommation, les systèmes de mesure créent indirectement des incitatifs financiers invitant les entreprises de transport à économiser le courant de traction. Par ailleurs, servant de base au contrôle et à l'optimisation de la consommation, ils assurent la transparence indispensable en matière de consommation d'énergie. Les données recueillies peuvent également être analysées et utilisées pour promouvoir l'utilisation efficace du courant de traction.

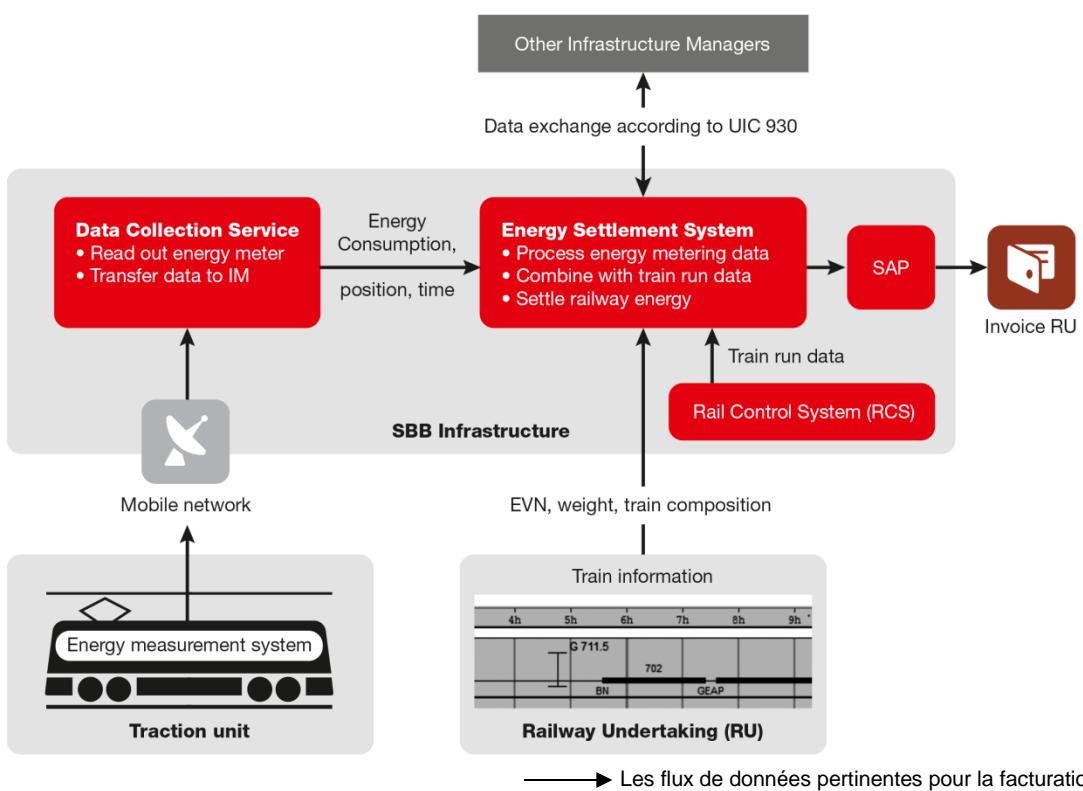


Illustration 3: vue d'ensemble du système de décompte de la consommation d'énergie avec facturation de la consommation réelle

L'introduction de tels systèmes requiert toutefois un investissement initial considérable, ce qui constitue un obstacle majeur à la mise en œuvre par les entreprises de chemin de fer. C'est pourquoi CFF Infrastructure, avec le soutien de l'OFT, a mis sur pied un projet visant à spécifier, développer et tester un système standardisé de mesure de l'énergie.

Étendue et résultats du projet

Le projet comprenait pour l'essentiel les points suivants:

- spécification et développement d'un appareil standardisé de mesure de l'énergie;
- ingénierie et installation des systèmes de mesure de l'énergie sur plusieurs véhicules moteurs;
- mise à disposition du système de lecture;
- réalisation d'un test en exploitation du système complet.

Les principaux résultats du projet sont les suivants:

- cahier des charges pour l'appareil de mesure;
- acquisition d'un appareil de mesure de l'énergie compact et conforme à la norme EN 50463, y c. logiciel d'installation;
- mise à disposition d'un système assurant la lecture à distance des données mesurées via le réseau de téléphonie mobile;
- ingénierie d'installation pour 25 types de véhicules;
- équipement de 92 véhicules en systèmes de mesure de l'énergie sur la base de l'appareil standard;
- réalisation d'un vaste test en exploitation du système complet, y c. transmission des données au système de facturation des CFF et à DB Energie;
- méthodologie et procédure standard pour l'établissement des documents d'attestation de conformité et la réalisation de l'évaluation de la conformité à la norme EN 50463 ou aux STI LOC&PAS;
- aménagement d'un service de mesure permettant également aux autres entreprises de chemin de fer d'utiliser le système de lecture.

Solution standardisée pour la Suisse

L'objectif principal du projet était de fournir un système uniforme de mesure de l'énergie pouvant être mis en œuvre par toutes les entreprises de chemins de fer suisses. Cette solution visait à réduire les frais des compagnies ferroviaires individuelles liés à l'installation de systèmes de mesure de l'énergie sur les véhicules existants de leurs flottes, ainsi qu'à répondre aux exigences de mise en œuvre d'un système de facturation de la consommation réelle à l'échelle nationale. Par ailleurs, un système centralisé de lecture à distance et de transmission des données mesurées au système de facturation devait être réalisé.

Dans le cadre de la conception et de l'acquisition du système de mesure de l'énergie, un appareil de mesure d'utilisation universelle a été défini comme élément central de la solution. Cet appareil devait être, d'une part, conforme à la norme européenne EN 50463 «Applications ferroviaires – Mesure d'énergie à bord des trains» et, d'autre part, le plus compact possible pour pouvoir être installé sur tous les types de véhicules. Le choix de cette norme comme exigence fondamentale garantit que des exigences claires et communes sont définies pour les appareils de mesure et leur contrôlabilité, ce qui constitue un facteur important d'acceptation de la mesure de l'énergie dans d'autres pays.

ECOModule
l'appareil de mesure



ECOTool
l'outil pour l'installation et la maintenance



ECOLogic
système pour la lecture à distance des données mesurées



Illustration 4: éléments de la solution proposée par Microelettrica Scientifica SA²

Test d'acceptation et test en exploitation

Dans le cadre du projet, tous les composants, notamment l'appareil de mesure de l'énergie, ont été soumis à des tests poussés. Non seulement la fonctionnalité et la conformité à la norme ont été contrôlées, mais aussi la convivialité et la maintenabilité. Les conditions d'exploitation des véhicules ferroviaires soumettent les appareils électroniques à de rudes exigences. C'est pourquoi un vaste test en exploitation d'une durée totale de 18 mois a été réalisé. Cela a permis de démontrer le bon fonctionnement et la fiabilité du système dans des conditions d'exploitation réelles.

Grâce à cette procédure, diverses améliorations de l'appareil de mesure et du système de lecture ont pu être identifiées au cours du projet et immédiatement mises en œuvre en collaboration avec le fournisseur.

Vérification de la conformité

La norme EN 50463 spécifie les exigences auxquelles doivent répondre les systèmes de mesure de l'énergie à des fins de facturation dans le secteur ferroviaire. Très complète, cette norme définit les exigences relatives à la fonction et à la précision de la mesure, mais aussi aux conditions d'exploitation et aux processus de l'entreprise. Cela garantit la qualité des données mesurées dans des conditions d'exploitation très variées sur toute la durée de vie du système. Les autres normes applicables sont les spécifications techniques d'interopérabilité STI Loc&Pas et STI Énergie ainsi que les règles techniques nationales notifiées (RTNN) en Suisse.

La procédure d'évaluation de la conformité par un organisme de contrôle indépendant est certes coûteuse, mais indispensable pour obtenir une évaluation objective de la qualité du système de mesure de l'énergie. Elle garantit non seulement l'exactitude formelle du contrôle, mais sert aussi à renforcer la confiance dans les données de mesure, constituant ainsi une base solide pour les relations financières entre les gestionnaires de l'infrastructure et les entreprises de transport.

Dans le cadre du projet, une procédure de conformité systématique pour la norme EN 50463 a été, pour la première fois, élaborée avec le degré de précision requis, testée en exploitation et documentée.

² ECOModule, ECOTool et ECOLogic sont des marques de commerce de Microelettrica Scientifica SA

Fonctions supplémentaires

La fonction essentielle des systèmes de mesure de l'énergie est de fournir des mesures pour le décompte de la consommation de courant de traction. En plus des fonctions standard définies par la norme EN 50463, d'autres fonctions ont été réalisées, notamment:

- d) Les données d'imputation sont relevées à des intervalles de mesure de 1 minute au lieu de 5 minutes. Cela permet, lors du décompte, d'attribuer beaucoup plus précisément la consommation aux tronçons et de réaliser une analyse plus pertinente de la consommation d'énergie par train ou tronçon.
- e) Il est possible de mesurer en une seconde la puissance, la tension et le courant ainsi que de relever les coordonnées GPS et la vitesse. Ces valeurs sont disponibles pour des analyses étendues de la consommation d'énergie et pour de nouvelles applications contribuant à économiser l'énergie.
- f) Un outil web est proposé pour des analyses standard de la consommation d'énergie par flotte ou par train.

Défis

La mesure de l'énergie à bord des véhicules ferroviaires à des fins de facturation du courant de traction pose des défis à plusieurs niveaux.

- **Fiabilité:** les systèmes de mesure de l'énergie embarqués sont installés et exploités sur les types les plus variés de véhicules moteurs, des locomotives simples aux rames automotrices modernes. De ce fait, une multitude de variantes d'installation, de conditions et de cas d'exploitation doivent être contrôlées.
- **Intégration:** l'ensemble de la chaîne de données, du compteur embarqué à la facture du courant de traction, compte des interfaces techniques et organisationnelles entre plusieurs systèmes exploités par différentes entreprises.
- **Trafic international:** l'échange des mesures d'énergie doit être assuré également avec les gestionnaire d'infrastructure à l'étranger.
- **Nouveaux rôles:** l'introduction de la mesure de l'énergie et de la facturation de la consommation réelle entraîne l'apparition de nouveaux rôles dans le décompte du courant de traction, p. ex. le «propriétaire des véhicules» et le «prestataire de mesures».

Perspectives/développement

Le projet a permis de définir les bases et de fournir les éléments essentiels à l'introduction des systèmes de mesure de l'énergie à bord des véhicules moteurs. En même temps, une première version de la facturation en fonction de la consommation a été développée et intégrée au système de facturation des sillons de CFF Infrastructure et d'autres gestionnaires d'infrastructure en Suisse.

Les systèmes de mesure de l'énergie sont exploités dans un contexte d'interaction dynamique entre les marchés ferroviaire, énergétique et de la sous-traitance. Ces marchés connaissent actuellement encore une mutation permanente, également à l'égard des normes et régulations les concernant.

On s'attend à ce que les flottes des CFF et des autres entreprises ferroviaires suisses soient graduellement dotées de systèmes de mesure de l'énergie entre 2017 et 2019. Les véhicules neufs sont généralement équipés de systèmes de mesure de l'énergie à la livraison. D'ici 2019 au plus tard, le système de facturation du courant de traction en fonction de la consommation aura définitivement remplacé le système actuel de tarification forfaitaire sur les véhicules en Suisse.

Les nouveaux systèmes et processus continueront d'être développés et d'évoluer au cours des prochaines années. Outre l'identification des potentiels d'amélioration de l'efficacité énergétique, d'autres domaines pourront être développés, comme p. ex. l'utilisation des mesures d'énergie pour optimiser l'exploitation ferroviaire ou pour gérer les pointes de charge dans le réseau de courant de traction. Ce changement ne concerne pas uniquement les systèmes techniques. Les processus, les rôles et les organisations impliquées doivent eux aussi évoluer, ce qui représente un défi de taille dans un environnement aussi complexe. CFF Infrastructure travaille activement à faire avancer ces thèmes.

3. Abkürzungen

APFZ	Applikationsplattform im Fahrzeug
APMT	Dauer der aktiven präventiven Instandhaltung
CEBD	kompilierte Energieabrechnungsdaten
CENELEC	Europäisches Komitee für Normung in der Elektrotechnik
CL	Fahrleitung
CMF	Strommessfunktion
DCS	Datenerfassungsdienst
DHS	Datenverarbeitungssystem
DMI	Lokführer-Maschine-Schnittstelle
ECF	Energieberechnungsfunktion
EMF	Energiemessfunktion
EMS	Energiemesssystem
EN	Europäische Norm
ERESS	European Railway Energy Settlement System
EREX	European Railway Energy eXchange
ETCS	Europäisches Zugsicherungssystem
EVN	European Vehicle Number
EVU	Eisenbahnverkehrsunternehmen
FMEA	Fehlerzustandsart- und Auswirkungsanalyse
FMECA	Fehlerzustandsart-, Auswirkungs- und Kritikalitätsanalyse
FRACAS	Failure Reporting, Analysis and Corrective Action System
FRB	Analyse- und Korrektursystem
FZPF	Fahrzeugplattform
GPS	Globales Positionsbestimmungssystem
GSM	Standard für volldigitale Mobilfunknetze
ISB	Infrastrukturbetreiber
LRU	Am Einsatzort ersetzbare Einheit
MBDT	Instandhaltbarkeitsnachweistest
MDBF	mittlere Fahrleistung zwischen zwei Ausfällen
MRT	Mittlere Reparaturdauer
MTBF	Mittlere Betriebsdauer zwischen zwei Ausfällen
PAK	Projektanforderungskatalog
RCS	Rail Control System
RAMS	Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit, Sicherheit
SN	Schweizer Norm
TSI	Technische Spezifikationen für die Interoperabilität
TRP	Referenzperiode
UIC	Internationaler Eisenbahnverband
VMF	Spannungsmessfunktion
VVB	Verursachergerechte Verrechnung Bahnstrom

4. Ziele und Umfang des Projekts

4.1. Auslöser und Motivation

Im Rahmen der Energiestrategie 2050 verfolgt der Bundesrat unter anderem die Stossrichtung, den Energie- und Stromverbrauch nachhaltig zu senken. Er will den sparsamen Umgang mit Energie im Allgemeinen und mit Strom im Speziellen durch eine rasche Umsetzung von Energieeffizienzmassnahmen fördern. Dabei nimmt der Bund, einschliesslich der bundesnahen Unternehmen wie SBB, eine Vorbildfunktion betreffend der Energiestrategie 2050 wahr.

Der Bahnstrombezug gehört zur Trassengrundleistung. Abgerechnet wird heute auf der Basis von Zugsgewicht, gefahrenen Kilometern und durchschnittlichen Verbrauchswerten pro Zugsgattung – für Fern-, Regional- oder Güterzüge. Eine Schwäche dieses Systems ist die fehlende Transparenz zum Verbrauch sowie die fehlende bzw. nur stark verzögerte Verknüpfung der Kosten mit dem effektiven Energieverbrauch. Somit gibt es keinen monetären Anreiz für die Umsetzung von Massnahmen zur Energieeffizienzsteigerung seitens Netzbewerber. Energiesparmassnahmen zahlen sich für alle Netzbewerber nur mit Zeitverzug und dann paritätisch und nicht unterscheidbar aus. Ein unmittelbares Abschöpfen der Effizienzgewinne war mit der bisherigen Energieabrechnung für das einzelne Eisenbahnverkehrsunternehmen nicht möglich.

Damit die ambitionierten Energiesparziele erreicht werden können, ist es entscheidend, dass sich Investitionen in Energieeffizienzmassnahmen für die EVU (Eisenbahnverkehrsunternehmen) bezahlt machen. Die Einführung von Energiemesssystemen erfordert von den Bahnunternehmen jedoch eine erhebliche Initialinvestition und stellt deshalb eine grosse Hürde dar.

Aus diesem Grund wurden im Rahmen der Umsetzung der Energiestrategie 2015 im öffentlichen Verkehr mit dem BAV zwei Forschungsprojekte, das Projekt Nr. 008 und Projekt 060, vereinbart mit dem Ziel, das Vorhaben finanziell zu unterstützen. Die beiden Projekte wurden integriert in einem SBB Investitionsvorhaben realisiert. Der vorliegende Bericht umfasst die Ergebnisse beider Forschungsprojekte als Gesamtprojekt.

4.2. Vorteile der Energieabrechnung auf Basis von Energiemesssystemen

Die Energieabrechnung auf Basis von Energiemessung auf Triebfahrzeugen bietet gegenüber der heutigen Abrechnung nach Zugskategorien und Bruttotonnenkilometern folgende Vorteile:

- Verursachergerechte Verrechnung des Bahnstroms: Jeder Netznutzer trägt genau die Kosten für den Strom, den er verbraucht hat.
- Messsysteme auf Triebfahrzeugen erfassen den tatsächlichen Verbrauch je Zug. Nur so kann sichergestellt werden, dass sich sämtliche Einspar- und Effizienzmassnahmen auch tatsächlich auf die Energiekosten des jeweiligen Netzbewalters auswirken.
- Die kontinuierliche Messung des Energieverbrauchs auf allen Zügen (aufgeschlüsselt nach Streckenabschnitten und Zugnummern) stellt eine umfassende Datengrundlage für die Messung und Auswertung der Energieeffizienz bereit (Technik und Verhalten).
- Der Energieverbrauch wird streckenbezogen pro Triebfahrzeug ausgewiesen und steht so im Einklang mit der Trassenabrechnung. Die Auswertung dieser Daten erlaubt ausserdem die Identifikation fahrzeugseitiger und betrieblicher Massnahmen zur Effizienzsteigerung, sowie die Erfolgskontrolle der umgesetzten Massnahmen.
- Die Messdaten bieten eine Grundlage für die Lokführerschulungen (EcoDrive) und fördern so indirekt die energieeffiziente Fahrweise der Lokführer.

- Die Anforderungen an die Energiemesssysteme werden harmonisiert (Interoperabilität). Gleichzeitig wird der sichere Austausch der Energieverrechnungsdaten zwischen den Infrastrukturbetreibern durch Einhaltung des UIC Merkblatts 930 garantiert.

4.3. Ziele des Projekts

Zielsetzungen des Projekts sind einerseits die Bereitstellung einer einheitlichen Lösung für die Ausrüstung von Bahnfahrzeugen mit Energiemesssystemen, die von allen Schweizer Bahnunternehmen zur Bahnstromabrechnung eingesetzt werden kann und andererseits die Durchführung einer Pilotphase des Systems.

4.4. Projektumfang

Das Projekt wurde unter Federführung von SBB Infrastruktur als Systemführerin Bahnstrom, in Zusammenarbeit mit den normalspurbahnen in der Schweiz, realisiert und umfasst im Wesentlichen folgende Arbeitspakete:

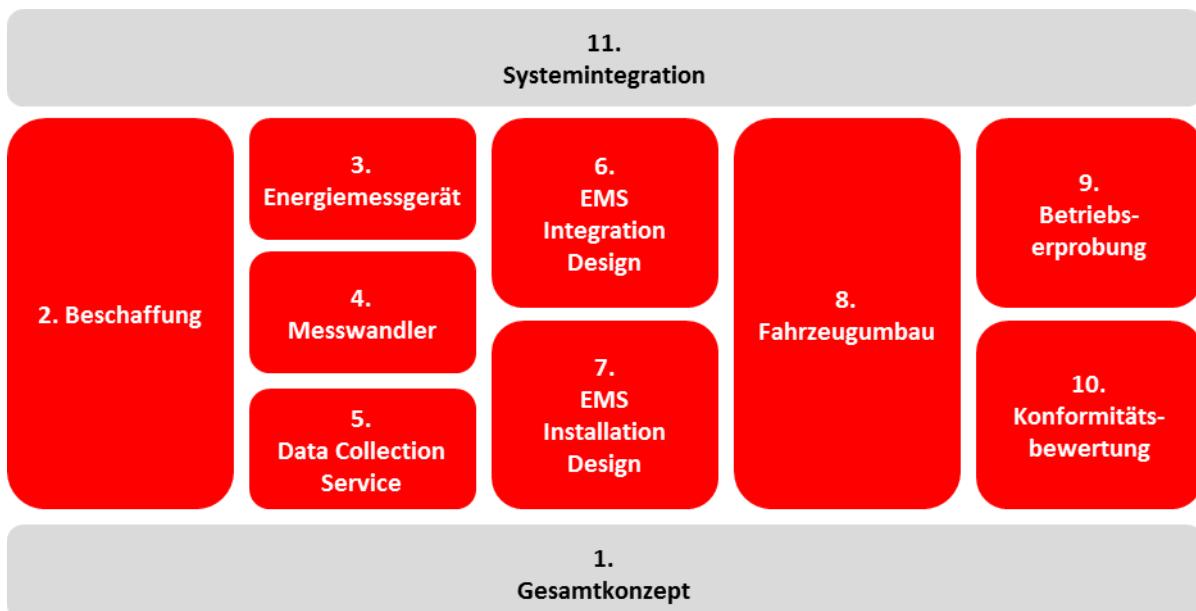


Abbildung 5: Arbeitspakete im Projekt

- (1) **Gesamtkonzept** für die Bahnstrommessung und -verrechnung nach Ist-Verbrauchsdaten erstellen
- (2) **Beschaffung:** Anforderungsspezifikation und öffentliche Ausschreibung eines standardisierten Energiemesssystems zum Einbau in den Fahrzeugen
- (3) **Energiemessgerät** entwickeln, testen und einführen
- (4) **Messwandler:** Spezifikation und Beschaffung der Strom- und Spannungswandler
- (5) **Data Collection Service:** Bereitstellung, Test und Einführung eines infrastrukturseitigen Datenauslesesystems
- (6) **EMS Integration Design:** Integration des Messgerätes mit den Fahrzeugtyp-spezifischen Messwandlern
- (7) **EMS Installation Design:** Fahrzeugspezifisches Engineering für den Einbau des Energiemesssystems in das Fahrzeug
- (8) **Fahrzeugumbau:** Einbau von Energiemesssystemen für fahrzeugseitige Funktions- und Typentests und Durchführung einer Betriebserprobung, besonders für das Energiemessgerät

- (9) **Betriebserprobung:** Durchführung eines umfassenden Feldtests des neuen Messgeräts, der Fahrzeuginstallationen, des Auslesesystems sowie der Integration in das Verrechnungssystem
- (10) **Konformitätsbewertung:** Erarbeitung der Methodik für die Konformitätsbewertung nach EN50463 und TSI LOC&PAS, Bereitstellung der Nachweisdokumente und Bewertung der Konformität durch eine zertifizierte Prüfstelle
- (11) **Systemintegration:** Durchführung von Integrationstests mit allen Systemkomponenten sowie mit dem Verrechnungssystem.

Auswahlkriterien Triebfahrzeuge

Es werden nur Fahrzeuge berücksichtigt, die im Besitz von Schweizer Unternehmen und in der Schweiz immatrikuliert sind, eine jährliche Laufleistung von > 10'000km auf Schweizer Eisenbahnstrecken erbringen und mindestens bis 2021 in Betrieb sind. Die Anzahl Bestandsfahrzeuge, welche diese Kriterien erfüllen, wird auf zirka 1'600 geschätzt, davon zirka 1'200 von SBB Personenverkehr und SBB Cargo.

4.5. Erwartete Ergebnisse

Die erwarteten Hauptergebnisse des Projekts sind:

- **Standardisierte Lösung** zur Ausrüstung der Fahrzeugfotten mit Energiemesssystemen, welche durch alle Bahnunternehmen der Schweiz eingesetzt werden kann.
- **Zentrales Auslesesystem** mit automatisierter Datenlieferung an das Verrechnungssystem.
- **Betriebserprobung** der standardisierten Lösung mit mehreren Fahrzeugtypen und einer repräsentativen Anzahl von Triebfahrzeugen, bis und mit Schnittstelle zum Verrechnungssystem.
- **Vorgehen** für die Konformitätsbewertung der Energiemesssystemen nach EN50463 und TSI LOC&PAS

4.6. Finanzielle Unterstützung

Die Einführung von Energiemesssystemen erfordert von den Bahnunternehmen eine erhebliche Initialinvestition und stellt deshalb eine grosse Hürde dar.

Im Rahmen der Umsetzung der Energiestrategie 2015 im öffentlichen Verkehr wurden mit dem BAV die zwei Forschungsprojekte Nr. 008 und 060 vereinbart, um das Vorhaben in folgenden Bereichen finanziell zu unterstützen:

- Konzeption des Gesamtsystems
- Spezifikation und Beschaffung eines standardisierten Energiemessgerätes
- Installation von ersten Energiemesssystemen auf Pilotfahrzeugen
- Implementierung des zentralen Systems zur Auslesung und Erfassung der Messdaten sowie zur Übertragung an das Verrechnungssystem
- Durchführung von Funktionstests und einer Betriebserprobung
- Erarbeitung der Methodik für die Konformitätsbewertung nach den relevanten Normen

Ziel der finanziellen Unterstützung war es, die Einführung der Bahnstrommessung zu beschleunigen und somit die rasche Realisierung von Energieeffizienzmassnahmen im Bahnbereich zu fördern.

5. Grundlagen

5.1. Marktmodell Bahnstrom Schweiz

SBB stellt im Auftrag des BAV den Bahnstrom für alle Infraukturbetreiber von Normalspurbahnen bereit. Der Bahnstrommarkt ist komplex, da die Regulierung und die Marktmodelle für Bahnstrom in jedem europäischen Land unterschiedlich sind. Die Triebfahrzeuge werden jedoch teilweise in mehreren Ländern betrieben, so dass bei der Einführung des neuen Verrechnungsmodells unterschiedliche Rollen und Beziehungen zu berücksichtigen sind.

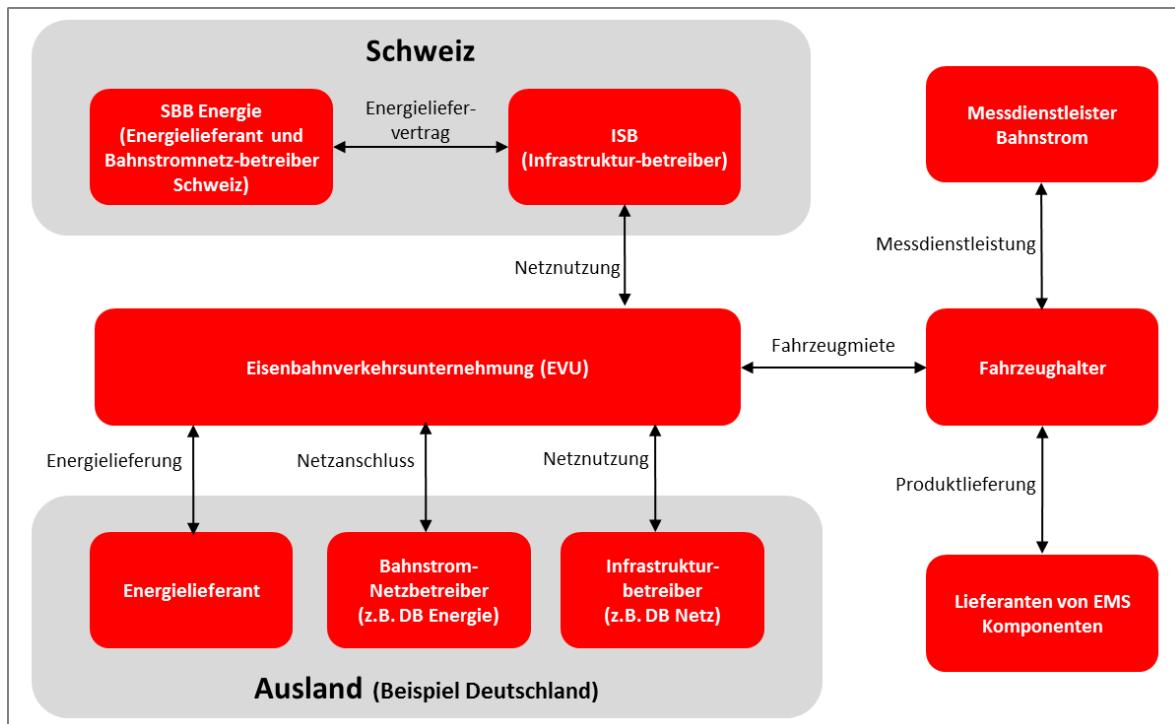


Abbildung 6: Übersicht der möglichen Beziehungen im Bahnstrommarkt

Legende:

Rolle	Kurzbeschreibung
Energielieferant	Liefert die Bahnstromenergie aus Eigenproduktion (Kraftwerke) oder aus dem Energiehandelsmarkt.
Bahnstromnetzbetreiber	Betreibt das Übertragungsnetz zum Transport des Bahnstroms bis zur Fahrleitung.
Infrastrukturbetreiber (ISB)	Betreibt das Fahrleitungsnetz, stellt die Trassen auf Bestellung der EVU bereit.
Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU)	Nutzt die Trassen des ISB für Fahrten von Personenverkehrs- oder Güterzügen. Ist i.d.R. der Bezüger und Rechnungsempfänger des Bahnstroms.
Fahrzeughalter	Ist für die technische Tüchtigkeit und die Instandhaltung des Fahrzeugs inkl. Energiemesssystem zuständig.
Messdienstleister	Liest im Auftrag der EVU die Energiemessdaten vom Fahrzeug

Bahnstrom	via Funkverbindung aus und leitet diese an den zuständigen ISB oder Bahnstromnetzbetreiber weiter.
Lieferant von EMS-Komponenten	Produkthersteller und Lieferant von Energiemesssystem-Komponenten.

5.2. Normen und Richtlinien

Netzzugangsverordnung

Energieverrechnung auf Basis von Verbrauchsdaten ist grundsätzlich in der Eisenbahn-Netzzugangsverordnung (NZV) und der Verordnung des BAV über den Eisenbahn-Netzzugang (NZV-BAV) geregelt:

- Art. 20a Abs. 3 der Netzzugangsverordnung³ legt fest: „*Verzichten die Netzbetreiberinnen auf die Installation und Eichung von Messeinrichtungen für den Stromverbrauch auf den Fahrzeugen, so können die Infrastrukturbetreiberinnen anhand von Beispilmessungen Ansätze für jede Zugskategorie festlegen. Dabei müssen sie den Stromverbrauch für Komforteinrichtungen und die Energieeffizienz der Fahrzeuge berücksichtigen.*“
- Die NZV-BAV⁴ sieht in Art. 3 Abs. 3 vor: „*Die Netzbetreuerin muss den Verbrauch an elektrischer Energie messen. Sie muss die Kalibrierung und Überwachung der Messeinrichtungen auf ihren Fahrzeugen, die korrekte Aufzeichnung und Ablesung der Messwerte sowie deren Aufteilung auf Hoch- und Niedertarifzeiten in nachweisbarer Form gewährleisten.*“

Im Hinblick auf die Interoperabilität in Europa berücksichtigte das Projekt ausserdem die relevanten TSI, EN-Normen und UIC-Merkblätter im Bereich der Energiemessung und -abrechnung von Bahnstromverbrauch.

TSI Loc&Pas

Die Verordnung Nr. 1302/2014 der EU Kommission vom 18. November 2014 definiert eine technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems „Fahrzeuge - Lokomotiven und Personenwagen“ des Eisenbahnsystems in der Europäischen Union.

Im Abschnitt 4.2.8.2.8 „Messfunktion für den Energieverbrauch“ der Verordnung sind die Anforderungen an fahrzeugseitige Energiemesssysteme (EMS) beschrieben, die der Bereitstellung der Daten für die Energieabrechnung (CEBD) und der Übertragung an ein streckenseitiges Energiedatenerfassungssystem dienen. Zudem wird in diesem Abschnitt auf den Anhang D des Dokumentes verwiesen, welcher die technischen Anforderungen an Energiemesssysteme detailliert beschreibt.

TSI Energie

Die Verordnung Nr. 1301/2014 definiert die technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems „Energie“ des Eisenbahnsystems in der Europäischen Union.

Im Abschnitt 4.2.17. „Streckenseitiges Energiedatenerfassungssystem“ wird spezifiziert, dass das streckenseitige Energiedatenerfassungssystem (Energy data collecting system, DCS) die CEBD empfangen, speichern und exportieren muss, ohne sie zu beschädigen.

Da die Daten der fahrzeugseitigen Energiemesssysteme in einem Datenerfassungssystem gesammelt werden, sollten die Mitgliedstaaten sicherstellen, dass ein für den Empfang solcher Daten geeignetes System entwickelt und für Abrechnungszwecke zugelassen wird.

³ Stand 1. Januar 2013

⁴ Stand 14. Mai 2012

EN 50463 Bahnanwendungen - Energiemessung auf Bahnfahrzeugen - Teil 1 bis 5

Die europäische Norm EN 50463, gültig seit 15.10.2012, spezifiziert die technischen Anforderungen an Energiemesssysteme und wird als Referenz in der technischen Spezifikationen für Interoperabilität (TSI Loc&Pas) verwendet. Die EN 50463 beinhaltet dabei **folgende Anforderungen**:

- EN 50463-1: Allgemeine Anforderungen
- EN 50463-2: Energy measuring: Anforderungen an die Primärstrom- und Spannungswandler, den Energiezähler sowie übergeordnete Anforderungen an die Energy Measurement Function
- EN 50463-3: Data handling: Anforderungen an die Zusammenstellung der Energiedaten mit Positions- und Zeitinformationen, an die Zwischenspeicherung und die Kommunikationseinrichtung
- EN 50463-4: Kommunikation
- EN 50463-5: Conformity Assessment: Beschreibt den übergeordneten Nachweis des Zusammenspiels aller Funktionen / Komponenten im Gesamtsystem sowie auch die Integration und Installation ins Fahrzeug

UIC Merkblatt 930

Ein Standard für den Datenaustausch für die Bahnstromabrechnung im grenzüberschreitenden Schienenverkehr wurde bereits 2009 durch die UIC verabschiedet und an die Mitgliedsbahnen kommuniziert.

5.3. Funktionale Struktur des Energiemesssystems

Die funktionale Struktur eines Energiemesssystems wird in der Norm EN50463, wie in Abbildung 5 dargestellt, definiert.

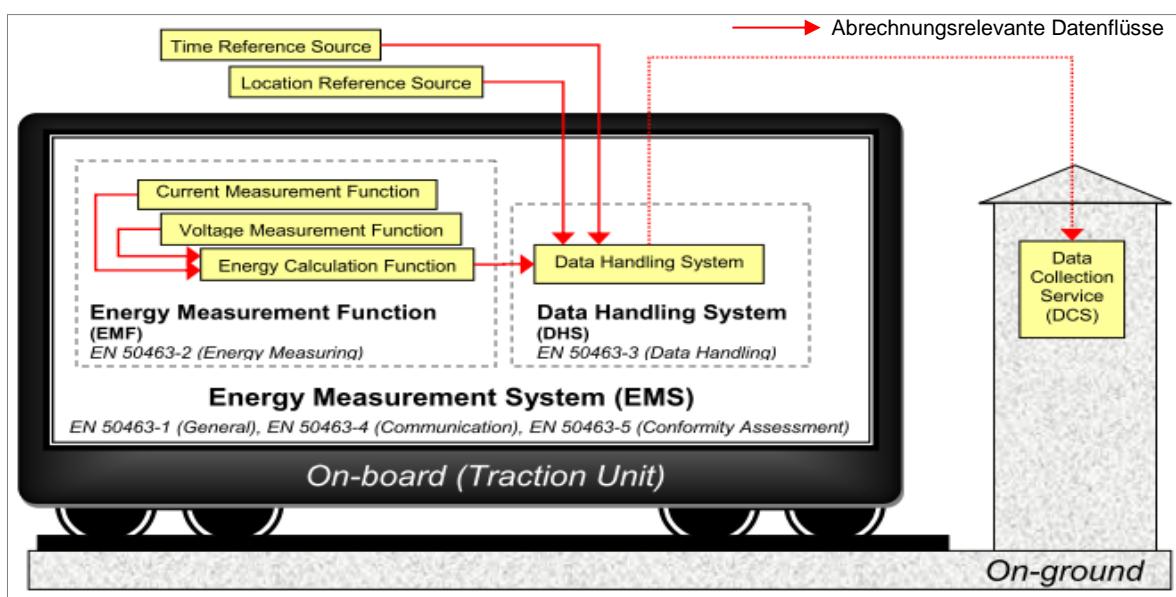


Abbildung 7: Funktionale Struktur eines Energiemesssystems gemäss EN 50463.

Das fahrzeugseitige Energiemesssystem (EMS) muss über folgende Funktionsblöcke verfügen:

1. Energiemessfunktion (EMF)

Die Energiemessfunktion (EMF) umfasst folgende drei **Teilfunktionen**:

- Spannungsmessfunktion (VMF – Voltage Measurement Function)
- Strommessfunktion (CMF – Current Measurement Function)
- Energieberechnungsfunktion (ECF – Energy Calculation Function)

Die Aufgaben der Energiemessfunktion (EMF) sind:

- Messen von Spannung und Strom, der aus dem Fahrleitungssystem entnommenen bzw. rückgespeisten Energie
- Berechnen der verbrauchten und rückgespeisten Energie
- Senden der Messgrößen an das Datenverarbeitungssystem.

2. Datenverarbeitungssystem (DHS = Data Handling System)

Die Aufgaben des Datenverarbeitungssystems (DHS) sind:

- Erstellen zusammengefasster Datensätze zur Abrechnung des Energieverbrauchs;
- Erstellen der Datensätze durch Zusammenführen von Daten der EMF mit Zeitdaten und Daten zur geografischen Position;
- Speichern der Daten zur Übermittlung über ein Kommunikationssystem an ein ortsfestes Auslesesystem (DCS = Data Collection Service);

3. Fahrzeugseitige Ortsbestimmungsfunktion (oder Ortsreferenzquelle)

Die fahrzeugseitige Ortsbestimmungsfunktion (oder Ortsreferenzquelle), auch genannt On-board Location Function (oder On Board Location Reference Source) gibt die geografische Position des Triebfahrzeugs an.

Die vorstehend genannten Funktionsblöcke können durch einzelne Vorrichtungen oder in Kombination mit einer oder mehreren integrierten Baugruppen realisiert werden.

In den meisten Fällen werden die Spannungs- und Strommessfunktionen durch die Installation von Spannungs- und Stromwählern realisiert. Die Energieberechnungsfunktion sowie das Datenverarbeitungssystem sind entweder als separate Geräte oder in einem integrierten Gerät realisiert.

6. Verrechnungssystem

6.1. Grundprinzip

Die Bahnstromabrechnung der SBB ist Bestandteil der Trassenabrechnung und entsprechend eingebettet in deren Prozesse und terminliche Rahmenbedingungen. Die Trassenabrechnung erfolgt dank eines hoch automatisierten Systems mit wenigen Mitarbeitern und ist bei den Kunden bewährt und gut akzeptiert.

Dieses Prinzip wird auch mit der Einführung der Ist-Abrechnung Bahnstrom beibehalten. Die Lösung der SBB Infrastruktur nutzt die vorhandenen bahnbetrieblichen Daten und verknüpft diese automatisch mit den Energiemessdaten, ohne dass die EVU weitere Angaben liefern müssen. Auf dieser Basis entsteht die Rechnung. Der Automatisierungsgrad der Bahnstromabrechnung ist damit in der Schweiz wesentlich höher als in anderen Ländern. Sofern die bahnbetrieblichen Daten, namentlich EVN, für sämtliche Zugfahrten in den Betriebssystemen vollständig gepflegt werden, entsteht kaum zusätzlicher Aufwand – weder auf Seiten SBB Infrastruktur noch auf Seiten der EVU.

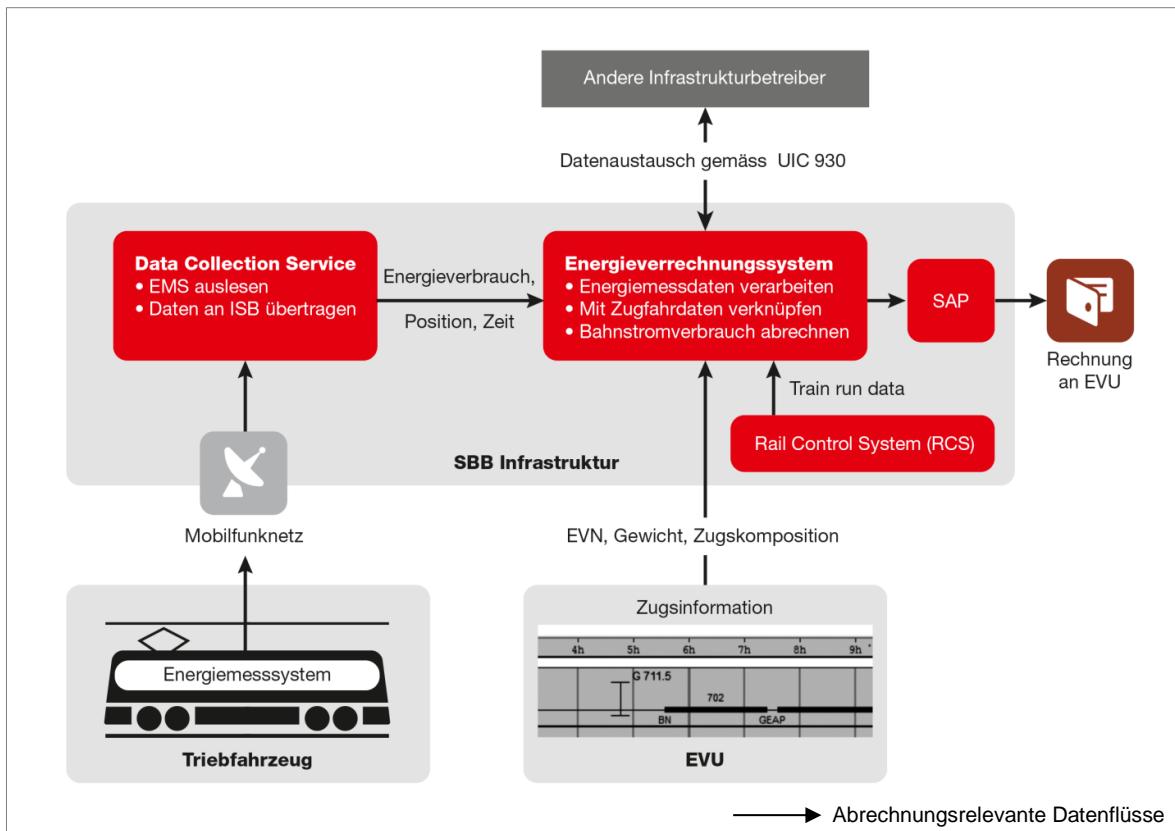


Abbildung 8: Übersicht des Gesamtsystems für die Bahnstrommessung und -verrechnung

Erex – Eress

Zur Umsetzung der Lösung wurde SBB Partner der Non-Profit-Organisation Eress (European Rail Energy Settlement System). Eress entwickelt und betreibt seit 2007 das Energieverrechnungssystem Erex (European Rail Energy Exchange), das mittlerweile in mehreren europäischen Ländern eingesetzt wird. Das Standard Modul Erex-Exchange setzt den internationalen Datenaustausch gemäß UIC 930 um. Hier werden die Energiemessdaten empfangen, validiert und gemäß ihren GPS-Daten, basierend auf den Länderpolygonen an das Land, in dem der Energieverbrauch erfolgt ist, verteilt. Die Abrechnungsmodule (Settlement Module) folgen der gleichen Struktur, sind aber länderspezifisch realisiert.

6.2. Funktionsweise

Im Detail arbeitet das Verrechnungssystem folgendermassen:

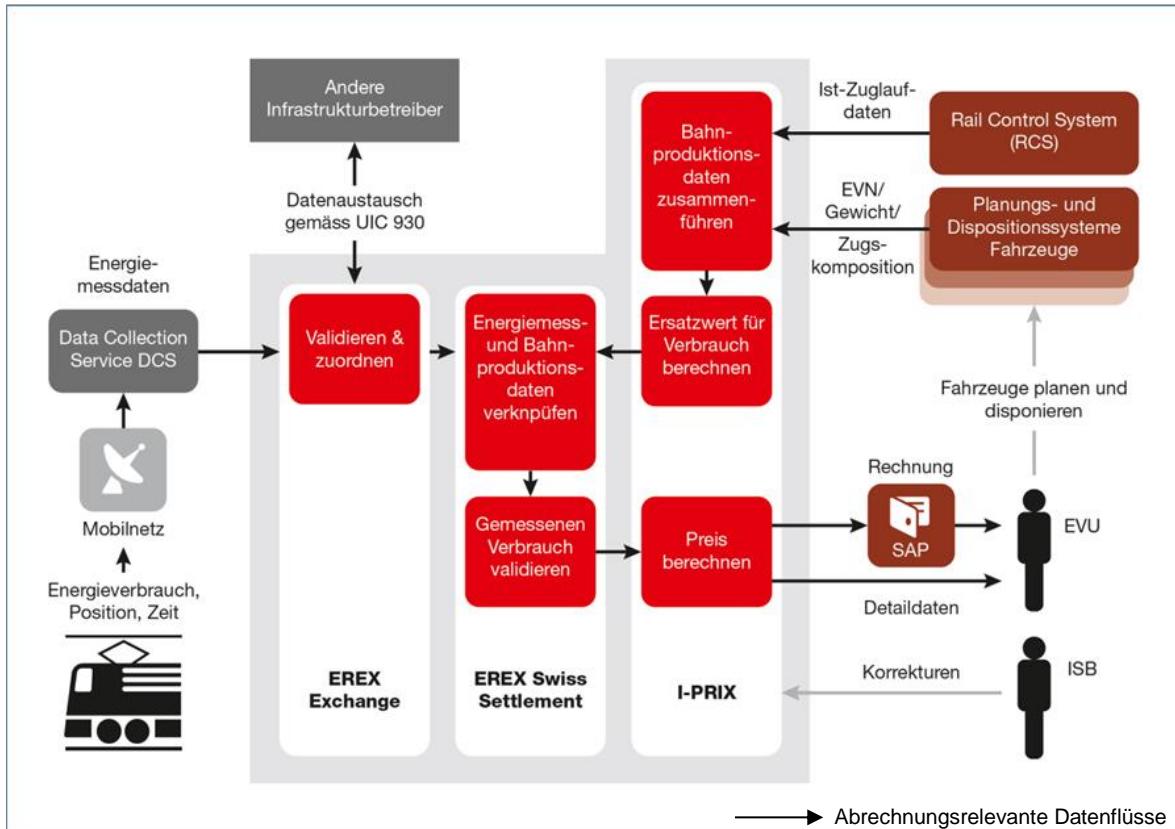


Abbildung 9: Übersicht des Verrechnungssystems

Die mit Energiemesssystemen (EMS) ausgerüsteten Fahrzeuge senden die verbrauchten beziehungsweise rekuperierten Energiemengen, zusammen mit Zeit- und Positionsdaten sowie der Zähler-ID („CPID“), mindestens einmal täglich über Mobilfunk an das Auslesesystem (Data Collection Service DCS).

Dieses übermittelt die gesammelten EMS-Daten an das Energieverrechnungssystem. Dort werden die Zeitreihen im Exchange Modul validiert. Danach können sie gemäss den Geokoordinaten dem jeweiligen nationalen Infraukturbetreiber über eine standardisierte Schnittstelle (gem. UIC 930) zugeteilt werden. Die von der SBB abzurechnenden Energiemessdaten werden durch das Settlement Modul weiterverarbeitet.

Die Ist-Zugfahrtdata aus dem Rail Control System RCS werden in das Trassenabrechnungssystem I-Prix geladen. Über die Systeme KompoEVU (neu FOS) bzw. CIS Infra kommen die Informationen zur EVN (European Vehicle Number) sowie Gewicht und Komposition. Diese können bis zu drei Tage nach Betriebstag nachgeliefert bzw. korrigiert werden.

I-Prix führt diese Bahnproduktionsdaten zusammen und berechnet auf dieser Basis den geschätzten Energieverbrauch. Dieser wird einerseits zur Validierung der gemessenen Energie verwendet, andererseits dient er als Ersatzwert, sofern keine Messung vorliegt.

Das Erex Settlement Modul verknüpft die Energiemessdaten mit den Bahnproduktionsdaten, ordnet den gemessenen Energieverbrauch Fahrt und Streckenabschnitt zu und validiert diesen. Das Ergebnis liefert Erex an I-Prix, wo schliesslich der Preis auf Basis kWh berechnet wird. Die Rech-

nungsstellung erfolgt wie bisher monatlich, der Detailbericht („Maxi-report“) weist den gemessenen Energieverbrauch aus.

Für nicht gemessene Zugfahrten kommt weiterhin die Berechnung eines geschätzten Energieverbrauchs basierend auf relativen Verbrauchsfaktoren und Bruttotonnenkilometern zur Anwendung. Korrekturen an den Kompositionen und Gewicht sind wie bisher möglich.

European Vehicle Number EVN

Die Fahrzeugidentifikation European Vehicle Number (EVN) dient als eindeutiger Schlüssel, damit die Zugfahrtdata mit den Zählerdaten kombiniert werden können. Diese Verbindung wird unter anderem benötigt, um den Kunden, also den richtigen Rechnungsempfänger, zu identifizieren. Für diese Funktionalität ist es unumgänglich, dass die korrekte EVN über die Planungs- und Dispositonssysteme von den EVU geliefert werden.

6.3. Zulassung zur Ist-Abrechnung

Um für alle EVU die gleichen Voraussetzungen bei der Ist-Abrechnung Bahnstrom zu gewährleisten, sind die jeweils gültigen Voraussetzungen für eine Zulassung zur Ist-Verrechnung im Network Statement festgehalten. Des Weiteren ist dort der Prozess für die Registrierung zur Ist-Abrechnung beschrieben.

Mit dem SBB Network Statement 2018, das im Dezember 2016 publiziert wurde, wurde ergänzend ein Merkblatt „Energiemesssysteme“ veröffentlicht, welches weiterführende Ausführungsbestimmungen für Energiemesssysteme auf Bestandsfahrzeugen enthält.

7. Vorgehen im Projekt

Die Gesamtprojektführung und Koordination mit den anderen Bahnunternehmen wurde durch SBB Infrastruktur in der Rolle als Systemführerin Bahnstrom wahrgenommen. Das Projekt wurde in mehreren Phasen gemäss dem regulären Investitions- und Projektmanagementprozess der SBB realisiert. Dabei entsprechen die Phasen 1 und 2 dem BAV Forschungsprojekt Nr. 008, die Phase 3 dem Forschungsprojekt Nr. 060.

Die Leistungen im Projekt umfassten Eigenleistungen von SBB Infrastruktur, SBB IT, der beteiligten Bahnunternehmen (ISB und EVU) sowie Material und Fremdleistungen von Industriefirmen.

Ein ganzheitliches Vorgehen zur Sicherstellung einer einheitlichen Lösung und zur Nutzung von Synergien war in folgenden Arbeitsbereichen wichtig:

- Festlegen der Anforderungen an das Gesamtsystem
- Spezifikation, Ausschreibung und Beschaffung der Energiemessgeräte
- Einbau-Engineering für die einzelnen Fahrzeugtypen
- Bereitstellen eines zentralen Systems zur Fernauslesung der Energiemessgeräte und zur Lieferung an das Verrechnungssystem
- Aufbau einer Service-Leistung durch SBB Infrastruktur zur Nutzung des Auslesesystems durch Dritte, so dass die anderen Bahnunternehmen kein eigenes System beschaffen müssen
- Entwickeln und Einführen eines neuen infrastrukturseitigen Verrechnungssystems

7.1. Projektphasen

7.1.1. Phase 1: Studie und Grobkonzept

Start / Ende	01.07.2013 - 30.09.2014
Erwartete Ergebnisse	<ul style="list-style-type: none"> • Lösungskonzept für das Gesamtsystem • Anforderungsspezifikation Energiemesssystem • Produktentscheid fahrzeugseitiges Energiemesssystem
Arbeitspakete	<ul style="list-style-type: none"> • Umfeldanalyse (Markt, Produkte, Regulation, andere Bahnen) • Anforderungsspezifikation und Machbarkeitsstudie IT-System • Ist-Aufnahme Fahrzeugtypen • Anforderungsspezifikation und Lastenheft Energiemesssystem • Installation erster Prototypen auf Testfahrzeugen • Regulatorische und rechtlichen Rahmenbedingungen

7.1.2. Phase 2: Detailkonzept, Entwicklung und Test

Start / Ende	01.10.2014 - 30.06.2016
Erwartete Ergebnisse	<p>Phase 2a: bis 30.11.2014</p> <ul style="list-style-type: none"> • Testsystem implementiert

	<ul style="list-style-type: none"> Funktionalität des Gesamtsystem getestet <p>Phase 2b: bis 31.03.2015</p> <ul style="list-style-type: none"> Dokumentation und Schulung für den Einbau in die Fahrzeuge Erste Baumuster pro Fahrzeugtyp und Testfahrzeuge
Arbeitspakete	<ul style="list-style-type: none"> Implementierung einer Testversion des Auslese- und Verrechnungssystems Einbauengineering pro Fahrzeugtyp Einbau erster Testmesssysteme pro Fahrzeugtyp (ca. 50 Fahrzeuge) Integrationstests des Gesamtsystems

7.1.3. Phase 3: Funktionserweiterung und Betriebserprobung

Im Laufe der Projektrealisierung wurden folgende **Verbesserungspotenziale** identifiziert:

- Bei der Beschaffung des Energiemessgeräts für die Fahrzeuge (Standardmessgerät) wurde die Messung sowohl mit 1-Minuten-Intervall als auch mit 5-Minuten-Intervall spezifiziert. Zudem ist das Standardmessgerät in der Lage 1-Sekunden-Messwerte zu erfassen, welche für erweiterte Analysen des Energieverbrauchs und der Lastprofile verwendet werden können. Dadurch können viel detailliertere und aussagekräftigere Auswertungen der Messdaten erstellt werden, was die Realisierung von Energieeffizienz-Massnahmen wesentlich gezielter unterstützt.
- Zusätzlich zur Konformitätsprüfung der Energiemesssysteme nach EN 50463 wurde auch die Konformität zu den relevanten Anforderungen der TSI Loc&Pas Version 2015 geprüft. Somit werden alle regulatorische Anforderungen der Schweiz sowie der EU-Staaten vollumfänglich berücksichtigt.
- Das System der Bahnstromabrechnung umfasst viele Beteiligte (u.a. Infraukturbetreiber in der Schweiz, ISB im Ausland, EVU in der Schweiz und im Ausland, Messdienstleister für die Bahnstromabrechnung, Energielieferanten), welche über unterschiedliche prozessuale und technische Schnittstellen verbunden sind. Zudem fahren viele unterschiedliche Fahrzeugtypen in verschiedensten Kompositionen und Verkehrsarten. Um das gesamte Energiemess- und Verrechnungssystem umfassend mit möglichst vielen unterschiedlichen Betriebsfällen zu testen, wurde die Betriebserprobung mit zusätzlichen Fahrzeugtypen und Fahrzeugen erweitert.

Die zusätzlichen Leistungen konnten bei der Realisierung des Systems grösstenteils berücksichtigt und mit der Phase 3 umgesetzt werden. Die Finanzierung der zusätzlichen Leistungen wurde im zweiten Forschungsprojekt (Nr. 060) im Herbst 2015 mit dem BAV vereinbart.

Start / Ende	01.10.2015 - 31.12.2016
Erwartete Ergebnisse	<ul style="list-style-type: none"> Konformitätsberichte EN50463 und TSI Erweitertes Pilotsystem mit insgesamt 30 Fahrzeugtypen und ca. 100 Fahrzeugen in Betrieb Ausführliche Betriebserprobung mit allen Funktionen durchgeführt Systemintegrationstests (inkl. 1-Minuten-Messdaten) abgeschlossen

Arbeitspakete	<ul style="list-style-type: none"> Implementierung von 1-Minuten- sowie 1-Sekunden-Messungen, in Ergänzung zu den Standard 5-Minuten-Energiemessdaten gemäss EN50463 Berücksichtigung der relevanten Anforderungen der TSI Loc&Pass Version 2014 bei der Konformitätsprüfung der Energiemesssysteme Ausrüstung von zusätzlichen 50 Fahrzeugen mit Energiemesssystemen und Integration von zusätzlichen sechs Fahrzeugtypen in den Systemintegrationstests
---------------	--

7.1.4. Projektabschluss

Start / Ende	01.09.2016 - 31.12.2016
Arbeitspakete / Erwartete Ergebnisse	<ul style="list-style-type: none"> Auswertung der Ergebnisse der Integrationstests und Betriebserprobung Erstellung Schlussbericht

7.2. Einbezug anderer Bahnen und Projektkommunikation

Der Wechsel von der heutigen Pauschalabrechnung zu einer verursachergerechten Verrechnung hat Auswirkungen auf alle Bezüger des 15kV/16.7 Hz Bahnstroms in der Schweiz. Die betroffenen Bahnunternehmen sind einerseits die Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU), welche mit ihrer Fahrzeugflotte Bahnstrom ab Fahrdräht auf dem Schienennetz in der Schweiz beziehen, andererseits sind es die Infrastrukturbetreiber, welche den Bahnstrom über ihr Fahrleitungsnetz an die EVU liefern.

Der Einbezug im Projekt erfolgte einerseits durch bilaterale Meetings und, nach Bedarf mit themenspezifischen Workshops mit den Unternehmen, welche aktiv ihre Fahrzeuge ausrüsten. Andererseits wurden die Bahnunternehmen im Laufe des Projekts regelmässig, im Rahmen von Informationsanlässen sowie mit schriftlichen Kommunikationsmitteln, über die Entwicklung und die Zwischenergebnisse informiert. Die wichtigsten Meilensteine sind nachfolgend aufgelistet:

Datum	Art der Information / Themen
Juni 2013	Brief an die Eisenbahnverkehrsunternehmen und Infrastrukturbetreiber Normalspur über Messung und Abrechnung der Traktionsenergie; Bundesamt für Verkehr.
Dezember 2013	Publikation Leistungskatalog und Network Statement 2015.
Februar 2014	EVU Runder Tisch 2014, in Granges-Paccot, Fribourg: Informationsanlass für Produktionsfachleute der EVU des Personen- und Güterverkehrs; SBB Infrastruktur. Teilnehmerzahl ca. 50 Personen.
Oktober 2014	Forum Energieeffizienz in Bahn und Tram 2014, in Bern; Verband öffentlichen Verkehr (VöV).
Dezember 2014	Publikation Leistungskatalog und Network Statement 2016

Datum	Art der Information / Themen
Februar 2015	EVU Runder Tisch 2015 ⁵ , Bern-Wankdorf: Informationsanlass für Produktionsfachleute der EVU des Personen- und Güterverkehrs; Teilnehmerzahl: 65 Personen.
Oktober 2015	Informationsbrief ⁶ an alle EVU zur Inbetriebnahme des erweiterten Verrechnungssystems mit der Möglichkeit zur Ist-Abrechnung Bahnstrom.
Dezember 2015	Publikation Leistungskatalog und Network Statement 2017
Januar 2016	Fachartikel ⁷ in "European Railway Review", Ausgabe 01/2016: „Introduction of energy metering, settlement and billing at SBB“.
Dezember 2016	Publikation Leistungskatalog und Network Statement 2018, inkl. Merkblatt Energiemesssysteme

7.3. Service-Leistung Bahnstrommessung

Zur Unterstützung anderer Bahnunternehmen bei der Einführung einer Bahnstrommessung auf Triebfahrzeugen, bietet SBB Infrastruktur auf Anfrage eine Serviceleistung „Bahnstrommessung“ an.

Die Serviceleistung Bahnstrommessung umfasst im Wesentlichen folgende Leistungen:

A) Einrichtung und Mutation von ausgerüsteten Fahrzeugen im DCS-System

- Einrichten der Energiemessgeräte im DCS auf Basis der vom Auftraggeber eingereichten Anmeldeformulare.
- Prüfung der Energiemessgeräte auf plausible Werte während einer Beobachtungsphase. (Energiewerte, GPS, GSM, Spannung, Strom).
- Einmonatige Probephase der Ist-Abrechnung mit produktiven Daten, aber ohne Rechnungsstellung.
- Ausfüllen des Registrierungsantrags zur Ist-Abrechnung Bahnstrom gemäss Network Statement
- Betreiben eines Ticketing Systems für Meldungen zu Installationen, Mutationen, Störungen und Fragen zu den Energiemesssystemen und dem Auslesesystem. Diese können per Email oder Internet-Formular eingegeben werden
- Deployment der Firmware der Energiemessgeräte per Remote-Verbindung auf alle installierten Energiemessgeräte bei Firmware-Verbesserungen und Funktionserweiterungen durch die SBB Infrastruktur.
- Anpassen der Energiemessgeräte aufgrund von Mutationsmeldungen durch den Auftraggeber im Datenerfassungssystem (z.B. ausser Betrieb nehmen, austauschen).

B) Monitoring der Messgeräte

Bei Störungen des Systems wird der Fahrzeughalter informiert. Sendet ein Energiemessgerät während einer definierten Dauer von 48h am Stück keine Daten, wird der Fahrzeughalter per Email informiert. Die Zeitdauer von 48h kann auf Wunsch des Fahrzeughalters für die ganze Flotte geändert werden.

⁵ Siehe Anhang 11

⁶ Siehe Anhang 12

⁷ Siehe Anhang 13

C) Data Collection Service (DCS)

- Auslesen der Lastgänge inkl. Positionsdaten via Mobilfunknetz mit einem Auslesesystem der SBB.
- Betrieb des DCS-Servers als Übergabepunkt der Messwerte und fristgerechte Weitergabe der Messdaten an das System EREX für die Trassenabrechnung.
- Zugang für den Fahrzeughalter auf das DCS WEBTool zwecks informativem Zugriff auf die Basisverbrauchsdaten.

7.4. Beteiligung des BAV

Dank einer Anschubfinanzierung des BAV konnte die Umsetzung der Studien- und Entwicklungsphase – bis und mit Pilotbetrieb des Energiemesssystems – beschleunigt werden.

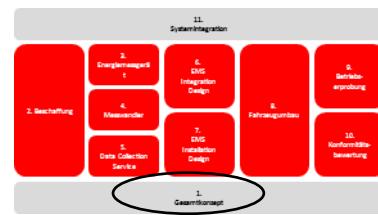
Die Beteiligung des BAV brachte weiter **folgende Vorteile**:

- Die Einführung von Verbrauchsmessungen für die Bahnstromabrechnung konnte rascher vorangetrieben werden.
- Mit einem koordinierten Vorgehen wurden für die Identifikation und Erfolgsmessung der Effizienzmassnahmen im Bahnstrombereich einheitliche Grundlagen geschaffen.
- Die Ausrüstung mit Energiemesssystemen nach einheitlichen Standards stellt die Kompatibilität mit anderen Systemen und die Anerkennung von Messdaten durch andere ISB in Europa sicher.
- Dank Einbezug anderer EVU wird der Bahnstromverbrauch für alle Verkehrstypen auf sämtlichen Strecken gemessen. Das maximiert die Potenziale zur Identifikation und Bewertung von Energieeffizienzmassnahmen im Traktionsbereich.
- Die Netzbewerber profitieren vom gegenseitigen Erfahrungsaustausch und können Synergien in der Umsetzung nutzen, zum Beispiel beim koordinierten Engineering pro Fahrzeugtyp / Baureihe und bei der Ausschreibung der Messsysteme durch den Systemführer Bahnstrom. Das reduziert die Kosten für alle.
- Der Beitrag des Bundes an die Umsetzung der Energiestrategie kann an einem konkreten Leuchtturm-Projekt kommuniziert werden.
- Die proaktive und koordinierte Umsetzung der Bahnstrommessung zur Energieeffizienz im gesamten Bahnnetz unterstreicht die Vorbildfunktion der bundesnahen Betriebe.

8. Projekt-Ergebnisse

8.1. Gesamtkonzept

Im Rahmen der Grobkonzept-Phase wurde das Konzept für das Gesamtsystem erarbeitet. Die Lösung sieht die Ausrüstung sämtlicher, auf dem Schweizer Normalspurnetz regulär verkehrenden, elektrischen Triebfahrzeuge mit Energiemesssystemen vor. Es erfolgt eine kontinuierliche Energiemessung auf jedem einzelnen Zug, die Abrechnung erfolgt auf Basis der gemessenen Verbrauchswerte. Die tatsächlich verbrauchte Energie wird über ein infrastrukturseitiges Energieverrechnungssystem an die Netzbetreuerin verrechnet.



Das Energiemesssystem besteht im Wesentlichen aus folgenden **Teilkomponenten**:

- Primärspannungswandler und Primärstromwandler (teilweise bereits in den Fahrzeugen verbaut).
- Energiemessgerät mit Energiezählerfunktion und Datenmodem konform mit EN50463-2 und EN50463-3.

Zusätzlich wird eine der folgenden Zusatzeinrichtungen benötigt:

- Dedizierte GPS/GSM-Antenne für die Positionserkennung und Kommunikation mit einem stationären Auslesesystem, welche direkt mit dem Energiemessgerät verbunden wird.
- Mobile Router, welcher über eine Ethernet-Schnittstelle mit dem Energiemessgerät verbunden wird, so dass eine bestehende Antenne mitgenutzt werden kann.

Folgende Abbildung zeigt die Teilkomponenten des im Fahrzeug einzubauenden Systems.

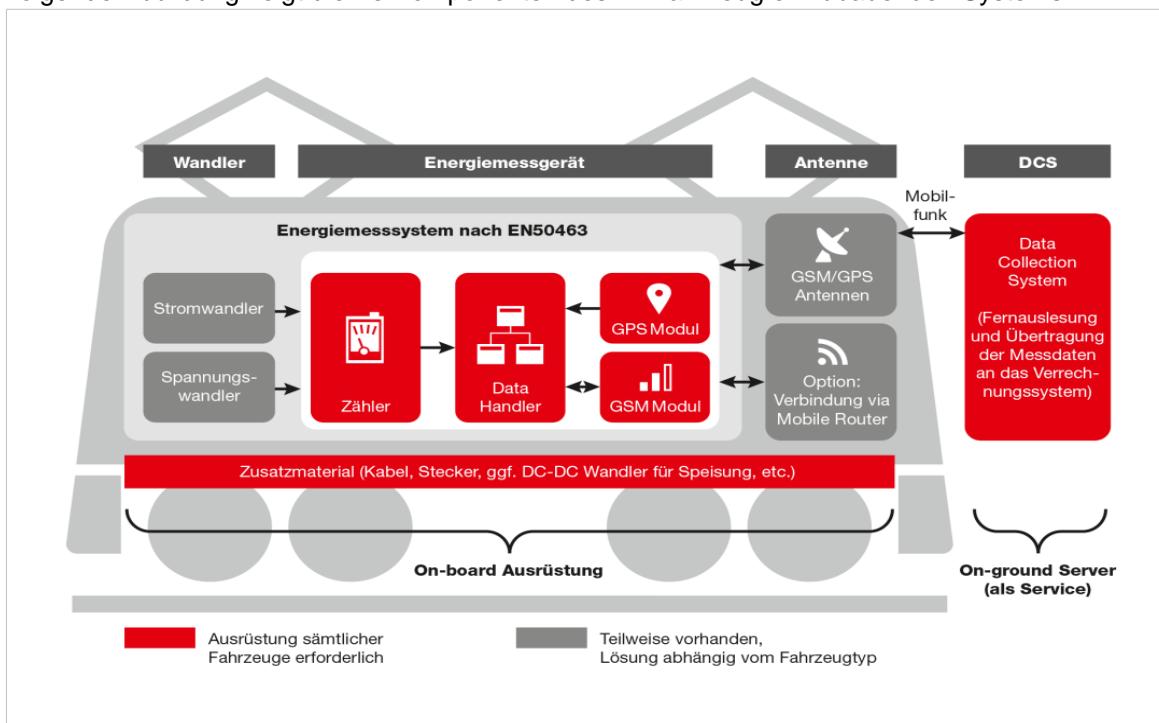


Abbildung 10: Umfang und Teilkomponenten des Energiemesssystems auf dem Triebfahrzeug.

Das **Energiemesssystem (EMS)** auf das Triebfahrzeug setzt sich aus der Energiemessfunktion (EMF) und dem Datenverarbeitungssystem (DHS) zusammen.

Die **Energiemessfunktion** wiederum wird mit Hilfe der Energieberechnungsfunktion (ECF) gebildet, die mit den Eingangssignalen aus der Strommessfunktion (CMF) und der Spannungsmessfunktion (VMF) die verbrauchte und die rückgespeiste Energie berechnet.

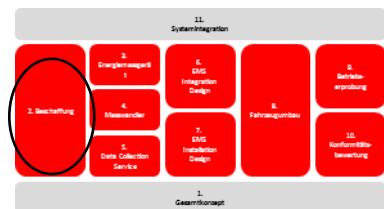
Das **Datenverarbeitungssystem (DHS)** hat die Aufgabe, die vom Energiemesssystem empfangenen Energiedaten aufzubereiten, zu speichern und über ein Kommunikationssystem an den Daten erfassungsdienst (DCS) weiterzuleiten. Zusätzlich werden die übertragenen Daten mit einem Zeit- und Ortsstempel aus der Zeit- bzw. Ortsreferenzquelle versehen.

Das **Energiemessgerät** stellt die Energieberechnungs- und -messfunktion sowie das Datenverarbeitungssystem bereit. Die Spannungsmessfunktion wird durch den Spannungswandler bedient, die Strommessfunktion durch den Stromwandler.

Die Messdaten des fahrzeugseitigen Energiemesssystems werden via Mobilfunk an ein Auslesesystem (Data Collection System) gesendet. Das Auslesesystem überträgt die Messdaten an das Verrechnungssystem.

8.2. Anforderungsspezifikation und –beschaffung

Auf Basis des Gesamtkonzepts wurde die Anforderungsspezifikation für ein Standard-Energiemessgerät (Anhang 01) zur Ausrüstung aller Bestandsfahrzeuge sowie für ein Auslesesystem (Anhang 02) definiert. Diese dienten als Grundlage für die Beschaffung der Kernkomponenten des Energiemesssystems.



Die Beschaffung des Energiemessgeräts erfolgte mittels öffentlicher Ausschreibung, konform zu BöB/VöB. Die Offertanfrage wurde am 11.04.2014 publiziert. Folgende Kriterien wurden zur Bewertung der Angebote definiert:

Eignungskriterien

- Termineinhaltung und Auftragserfüllung
- Organisatorische und technische Leistungsfähigkeit
- Ausreichende finanzielle und wirtschaftliche Leistungsfähigkeit
- Präsenz vor Ort

Zuschlagskriterien

- Qualität (50%)
 - Erfüllung der Anforderungen gemäss dem technischen Lastenheft
 - Platzbedarf (Abmessungen des Messgeräts)
 - Reliability, Availability, Maintainability (RAM)
 - Verfügbarkeit von Zusatzfunktionen
 - Erfüllung der Vorgaben in Vertrag und Anhängen
- Wirtschaftlichkeit (50%)
 - Projektkosten
 - Betriebskosten

Alle sieben eingegangenen Angebote erfüllten die Eignungskriterien. Mit den fünf günstigsten Anbietern wurden Verhandlungen geführt.

Die Evaluation erfolgte in drei Schritten:

- Schritt 1: Erstbewertung der eingereichten Angebote anhand der Zuschlagskriterien. Nur die fünf besten Angebote wurden in der weiteren Evaluation berücksichtigt.
- Schritt 2: Durchführung von Verhandlungsmeetings mit den Anbietern zur Klärung von Fragen zum Angebot und Präzisierung der technischen Anforderungen und der Vertragsbedingungen. In der Folge wurden die Angebote durch die Anbieter bereinigt.
- Schritt 3: „Best and Final Offer“ und Aufforderung zu Abgabe der finalen Lösung mit allen fünf Anbietern.

Die Firma Microelettrica Scientifica SA wurde, gemäss den Zuschlagskriterien am höchsten bewertet und erhielt den Zuschlag.

Mit diesem Unternehmen wurde ein Werklieferungsvertrag für die Lieferung von bis zu 1'500 Messgeräten unterzeichnet. Eine Option der freihändigen Vergabe von weiteren 1'500 Stück, nach Massgabe des Basisvertrages für weitere Phasen (und/oder für zusätzliche Mengen und Leistungen und für eine Verlängerung des Vertrages bis zu 5 Jahren nach letzter Lieferung), wurde ausdrücklich vorbehalten.

Für das Auslesesystem (DCS) wurde ein separater Vertrag abgeschlossen (Anforderungsspezifikation Data Collection Service).

Die von Microelettrica Scientifica SA bereitgestellte Lösung umfasst drei Elemente:



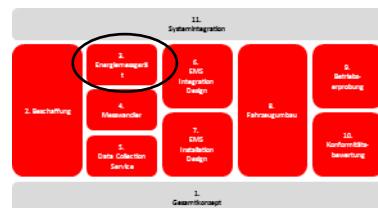
Abbildung 11: Elemente der Systemlösung von Microelettrica Scientifica SA

8.3. Energiemessgerät

8.3.1. Funktionsmodule des Energiemessgeräts

Das Energiemessgerät *ECOModule* beinhaltet folgende Funktionsmodule:

- a. **Sechs Messeingänge** für den Anschluss unterschiedlicher Strom- und Spannungswandler.
- b. **Energy Calculation Function (ECF):** Das ECF-Modul berechnet die verbrauchte und regenerierte Wirk- und/oder Blindenergie. Die Energiewerte werden auf Basis der Netzspannung und des Leistungsstroms der angeschlossenen externen Sensoren berechnet. Die Energiedaten werden über eine digitale Schnittstelle zum Data Handling System (DHS) übertragen.



- c. **Data Handling System (DHS):** Das DHS-Modul empfängt die Energiedaten, erzeugt und speichert die komplizierten Energieabrechnungsdaten. Dabei werden die Zeitinformation und die geographische Lage mit den Energiedaten zusammengeführt. Das DHS-Modul bietet, zusätzlich zu den Anforderungen für die Energiemessung, auch die Möglichkeit, Daten anderer Ausrüstungen an Bord zu speichern und zu übertragen.



Abbildung 12: Das Energiemessgerät installiert im Fahrzeug

Das Messgerät kann die Energiedaten für Abrechnungszwecke sowohl mit 1-Minuten-Intervall als auch mit 5-Minuten-Intervall messen. Darüber hinaus können verschiedene Messwerte mit 1-Sekunden-Intervall erfasst werden, welche für erweiterte Analysen verwendet werden können.

Dadurch ist das Verrechnungssystem in der Lage, zusätzlich zu den üblichen 5-Minuten-Intervall-Messdaten für die Energieabrechnung gemäss EN-Norm und UIC-Standard, auch Messdaten mit 1-Minuten-Intervall für die Energieabrechnung zu verarbeiten und automatisch auf die effektiv gefahrenen Strecken abzubilden..

Dies erlaubt eine genauere Zuordnung der Energiekosten auf die einzelnen Streckenabschnitte der Zugfahrten, erhöht damit die Kostenwahrheit gerade im dicht befahrenen Schweizer Normalspurnetz und erleichtert den EVU die Analyse ihres Bahnstromverbrauchs. Zudem können viel detailliertere und aussagekräftigere Auswertungen der Messdaten erstellt werden. Das unterstützt die Identifikation von Energieeffizienz-Massnahmen wesentlich gezielter.

8.3.2. Installations- und Wartungssoftware

Die PC-Softwareapplikation **ECOTool** unterstützt die Inbetriebnahme des Energiemessgeräts am Fahrzeug. Mit dieser Applikation werden die Parameter des Messgerätes bei der Inbetriebnahme eingestellt. Die Messwerte sowie der Status der Alarmsignale, der GSM-Verbindung und des

GPS-Signale werden in Echtzeit auf dem Bildschirm dargestellt. Damit kann der Installateur die Funktionstüchtigkeit des Geräts überprüfen. Im Störungsfall können Logfiles vom Messgerät ausgelesen werden, welche die Fehleranalyse und Ursachenfindung unterstützen.

Die Software wird auf den Unterhalts-PCs der Fahrzeugtechniker installiert. Der PC wird via ein Kabel an die Service-Schnittstelle am Messgerät angeschlossen.



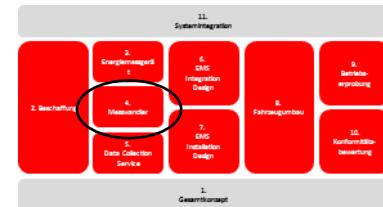
Abbildung 13: Die PC-Softwareapplikation *ECOTool*

8.4. Messwandler

Die Spannungsmessfunktion wird durch den Spannungswandler bedient, die Strommessfunktion durch den Stromwandler.

Um in Mehrsystemfahrzeugen die unterschiedlichen Bahnenergieversorgungssysteme zu bedienen, können mehrere Messwandler eingesetzt werden, die im jeweils angewendeten System zum Einsatz kommen. In diesem Fall enthält das System mehrere Strom- b-

Bei der Spezifikation der Wandler für einen bestimmten Fahrzeugtyp sind neben der Genauigkeitsklasse besonders folgende Anforderungen der En 50463 zu berücksichtigen:



Bemessungsstrom der Triebfahrzeugeinheit

Größte Stromstärke, die die Triebfahrzeugeinheit der Auslegung nach beim Betrieb unter bestimmungsgemäßen Bedingungen und bei einer Spannung im Bereich von U_{min1} bis U_{max2} aus der Fahrleitung entnehmen kann.

Bemessungs-Primärstrom (In, CMF)

Der Bemessungs-Primärstrom des Sensoreingangs muss gleich dem Bemessungs-Primärstrom ($I_{n,EMF}$) der EMF sein.

Bemessungsstrom

Die Normwerte für den Bemessungs-Primärstrom der EMF (I_n , EMF) sind:

10 A – 12,5 A – 15 A – 20 A – 25 A – 30 A – 40 A – 50 A – 60 A – 75 A und deren dezimale Vielfache.

Der Bemessungs-Primärstrom (I_n , EMF) der EMF muss anhand des Bemessungsstroms der Triebfahrzeugeinheit ausgewählt werden.

Der Bemessungs-Primärstrom (I_n , EMF) der EMF muss zwischen 80 % und 120 % des Bemessungsstroms der Triebfahrzeugeinheit betragen.

Wenn eine EMF für einen Betrieb in mehr als einem Bahnenergieversorgungssystem ausgelegt ist, darf ihr mehr als ein Wert des Bemessungs-Primärstromes zugeordnet werden.

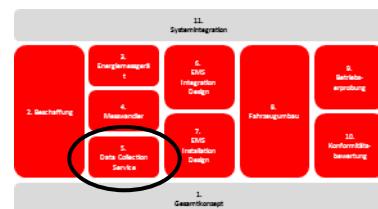
Bei der Dimensionierung des Stromwandlers sind deshalb folgende Punkte besonders zu beachten:

- Der Bemessungs-Primärstrom des Stromwandlers (I_n , CMF) muss 80% - 120% des Maximalstroms des Fahrzeuges (I_{max} , F_z) entsprechen.
- Der Bemessungs-Sekundärstrom des Stromwandlers muss exakt dem Bemessungsstrom eines Eingangskanals des Energiemessgeräts entsprechen.

8.5. Data Collection Service (DCS)

Das DCS Ecologic (Data Collection Service) ist eine zentrale Softwareapplikation, die folgende Anwendungen bietet:

- Administrationstool:** Erfassung und Konfiguration von Fahrzeugen, Messgeräten und Benutzern.
- WebTool:** Darstellung, Auswertung und Erstellung von Energiemessdaten-Berichten.
- Abrechnungsdaten:** Übertragung der kompilierten Energieabrechnungsdaten (5-Minuten oder 1-Minuten) für Abrechnungen an das EREX System.
- 1-Sekunden-Daten:** Übertragung der 1-Sekunden-Messdaten via FTP- oder Web-service-Schnittstelle an einen Datenserver von SBB Infrastruktur.



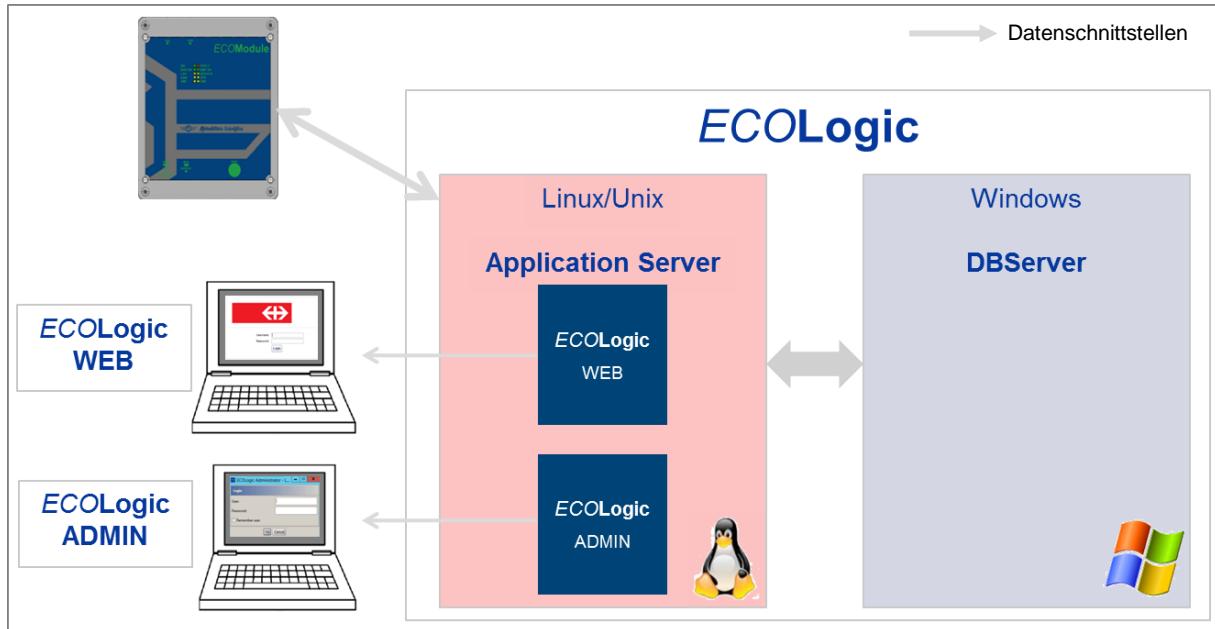


Abbildung 14: Architektur der Softwareapplikation ECOLogic

Mit dem *ECOLogic-Webtool* können die Energiemessdaten unterschiedlich ausgewertet, dargestellt und in PDF- oder XLS-Form exportiert werden. Beispiele von möglichen Auswertungen sind in Anhang 10 dargestellt.

Bemerkung

Die Datenkommunikation zwischen dem Energiemessgerät am Fahrzeug und dem Data Collection Service ist noch nicht normiert. Eine neue Version der EN50463 Norm befindet sich zur Zeit in der Vernehmlassung. Mit dieser Version wird ein Standardprotokoll für die Kommunikation zwischen Fahrzeug und DCS festgelegt. Die Inkraftsetzung der neuen Version wird für 2017 erwartet.

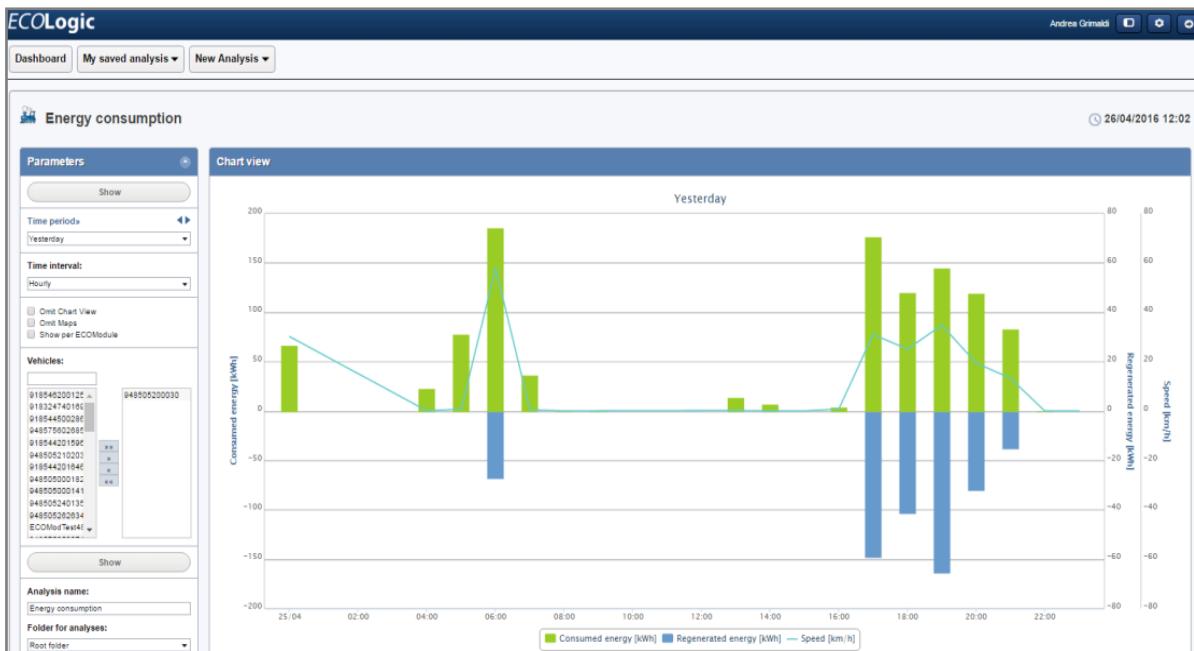
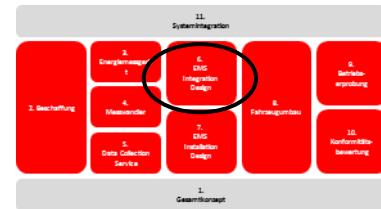


Abbildung 15: Darstellung des Energieverbrauchs im ECOLogic Webtool (Beispiel)

8.6. EMS Integration Design

8.6.1. Betriebsmitteltypen

Bei der EMS Integration werden die einzelnen Komponenten, die das Energiemesssystem für einen bestimmten Fahrzeugtyp bilden, aufeinander abgestimmt und so eine konsistente, durchgängige Messkette von der Oberleitung bis zum Data Collection Service sichergestellt.



Ein EMS-Betriebsmitteltyp ist eine bestimmte Kombination von Geräten, welche zusammen ein vollständiges und normkonformes Energiemesssystem darstellen. In der Regel wird der Betriebsmitteltyp einmal für einen Fahrzeugtyp entwickelt, solange sämtliche Fahrzeuge dieses Typs gleich gebaut sind und die gleichen Eigenschaften in Bezug auf Leistung und Bahnstromversorgungssystem besitzen.

Die EMS-Betriebsmitteltypen sind so ausgelegt, dass sie alle Bahnenergieversorgungssysteme, für welche die jeweiligen Fahrzeuge ausgelegt sind, abdecken. Die eingesetzten Betriebsmitteltypen sind eigenständige Systeme und haben keine Schnittstellen zu anderen Systemen der Fahrzeuge, insbesondere gibt es keine Schnittstellen zu sicherheitsrelevanten Systemen und zur Leittechnik.

Eine Beschreibung der EMS-Integration auf Basis des Energiemessgeräts *ECOModule* findet sich in Anhang 3.

8.6.2. Fahrzeugtypen

Im Rahmen des Projekts wurde die Installation des Energiemesssystems mit dem *ECOModule*-Messgerät in folgenden Fahrzeugtypen erfolgreich realisiert:

SBB Personenverkehr	SBB Cargo	BLS AG
Re420 / Re420HVZ	Re420	RABe 525 NINA
Re460	Re 421	RABe 535 Lötschberger
RBDe500 ICN	Re 430	RABe 515 Dosto
RABe511 Regio-Dosto	Re 474	
Re450 DPZ	Re 482	
RABe514 DTZ	Re 484	
RABe520 GTW Seetalbahn	Re 620	
RABe526 GTW AJU		
RBDe560 Domino		
RABe522 Flirt France		
RABe523 Flirt OL		
RABe524 Flirt Tilo		
RABe521 Flirt BS/WI/SH		
SBB Infrastruktur		
EHFZ-Xem		

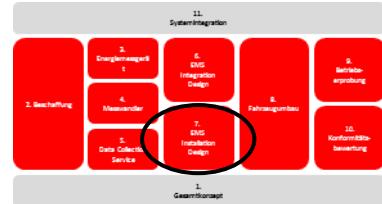
Abbildung 16: Liste der Fahrzeugtypen

8.7. EMS Installation Design

8.7.1. Vorgehen

Bei der Installation des Energiemesssystems im Fahrzeug werden in der Regel folgende Tätigkeiten für jeden Fahrzeugtyp durchgeführt werden:

- **Einbauengineering:** Auf Grund der Umbauuntersuchungen wird die technische Machbarkeit pro Fahrzeug überprüft, die Einbaulösung im Detail beschrieben und in der technischen Dokumentation nachgeführt.
- **Umbau des ersten Fahrzeugprototyps (Fahrzeug 1):** Auf Grund des Engineerings wird das Gesamtsystem auf ein Fahrzeug pro Fahrzeugtyp eingebaut.
- **Nachführung und Fertigstellung** der Einbaudokumentation.
- **Sicherheitsprüfung:** Überprüfung und Dokumentation der Sicherheitsrelevanz der Änderung am Fahrzeug.
- **Fahrzeugzulassung / Betriebsbewilligung:** Die Anzeige der Änderung wird gemäss den Vorgaben der zuständigen Behörden durchgeführt.
- **Zur Validierung des Umbauablaufs und Umbauaufwands:** Umbau eines ersten Vorserie-Fahrzeugs (Fahrzeug 2) je Fahrzeugtyp.
- **Durchführung einer Betriebserprobung:** Überwachung der Energiemesssysteme, Analyse und Behebung von Störungen.



8.7.2. Installation des Energiemesssystems

Der Einbau des Energiemesssystems in einem Triebfahrzeug umfasst im Wesentlichen fünf Schritte bzw. die Installation und Verkabelung der folgenden **fünf Komponenten**:

1. Energiemessgerät (ECOModule)
2. Stromwandler
3. Spannungswandler
4. GPS/GSM Dachantenne
5. Schutzschalter
6. evtl. Mobile Router

Dabei können bereits vorhandene Komponenten und Installationen gegebenenfalls verwendet werden.

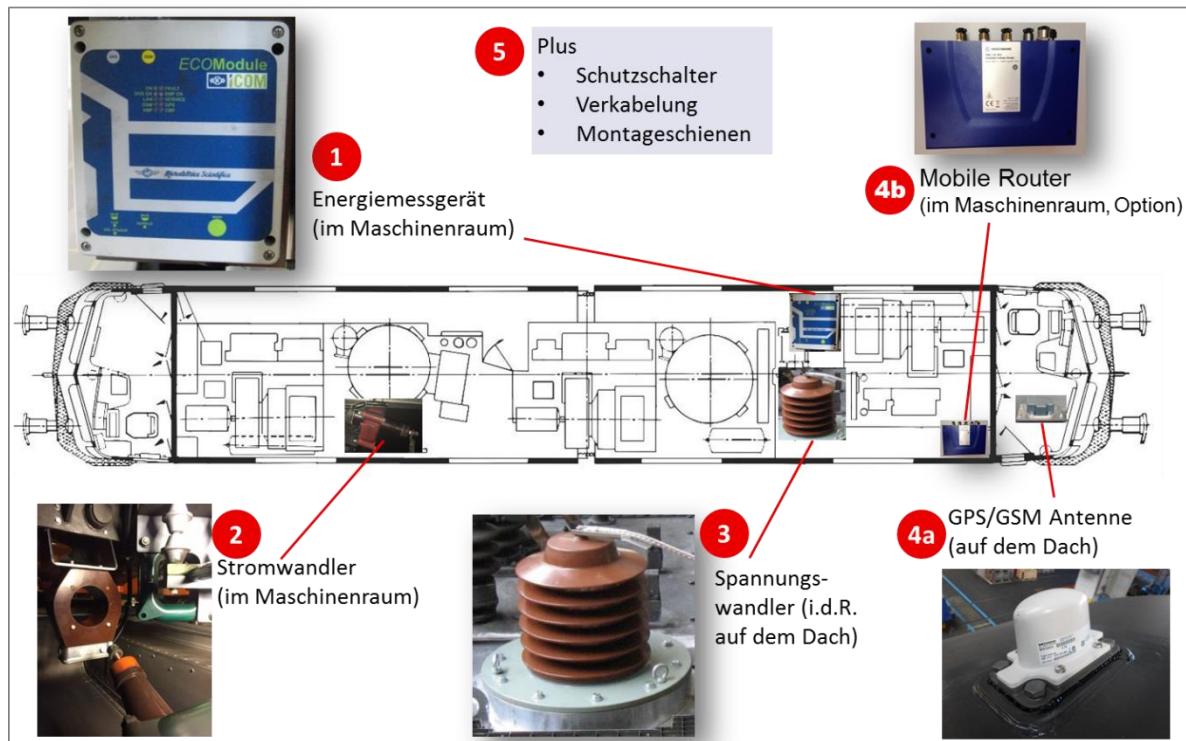


Abbildung 17: Komponenten zur Ausrüstung eines Fahrzeugs mit einem Energiemesssystem

Energiemesspunkt

Sämtliche Wandler, welche die Eingangssignale für die Energieberechnungsfunktion liefern, werden vor allen Energieverbrauchern der Fahrzeuge eingebaut. Somit wird die gesamte aktive und reaktive Energie, die aus der Oberleitung aufgenommen und in die Oberleitung zurückgeführt wird, gemessen.

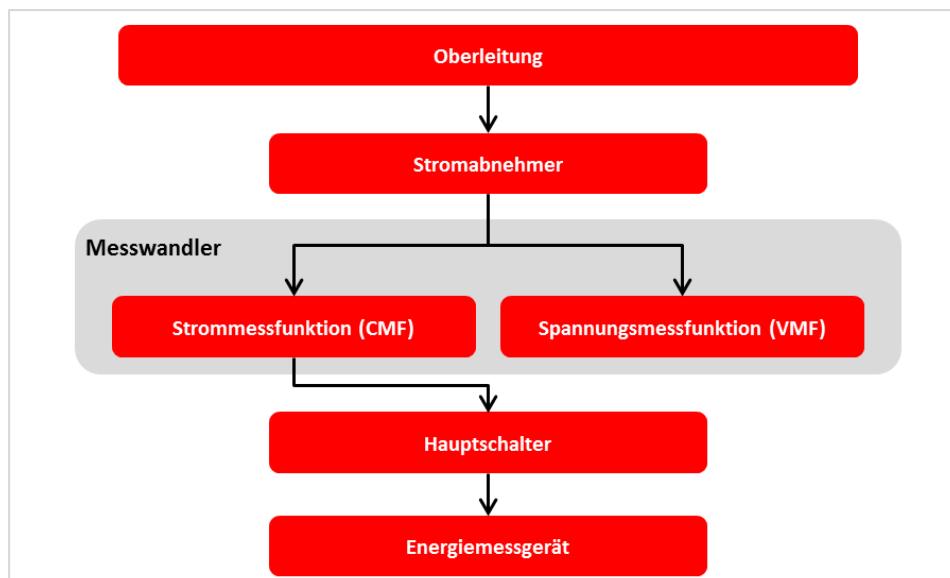
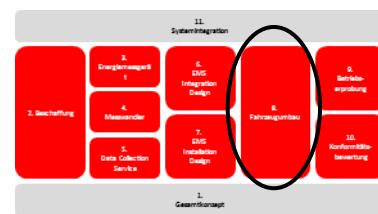


Abbildung 18: Einordnung der Messwandler im Energiemesssystem

8.8. Fahrzeugumbau

Für die Betriebserprobung des Energiemessgeräts und der Betriebsmitteltypen sowie für das Testen und die Pilotierung des gesamten Systems wurden bis Ende 2016 im Rahmen vom Projekt insgesamt 92 Fahrzeuge mit einem Energiemesssystem ausgerüstet. Dabei wurden 120 der neuen Energiemessgeräte eingebaut.



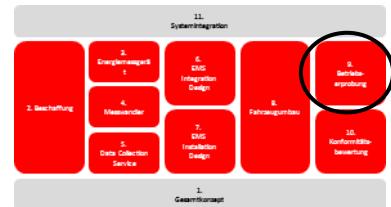
Flotte	Fahrzeugtyp	Anzahl Pilotfahrzeuge
SBB Personenverkehr	Re420 / Re420HVZ	5
SBB Personenverkehr	Re460	2
SBB Personenverkehr	RABDe500 ICN	13
SBB Personenverkehr	RABe511 Regio-Dosto	3
SBB Personenverkehr	Re450 DPZ	8
SBB Personenverkehr	RABe514 DTZ	5
SBB Personenverkehr	RABe520 GTW Seetalbahn	2
SBB Personenverkehr	RABe526 GTW AJU	2
SBB Personenverkehr	RBDe560 Domino	1
SBB Personenverkehr	RABe522 Flirt France	1
SBB Personenverkehr	RABe523 Flirt OL	2
SBB Personenverkehr	RABe524 Flirt Tilo	2
SBB Personenverkehr	RABe521 Flirt BS/WI/SH	2
SBB Cargo	Re420	1
SBB Cargo	Re 421	1
SBB Cargo	Re 430	1
SBB Cargo	Re 474	6
SBB Cargo	Re 482	1
SBB Cargo	Re 484	13
SBB Cargo	Re 620	5
BLS AG	RABe 525 NINA	10
BLS AG	RABe 535 Lötschberger	4
BLS AG	RABe515 Mutz	1
SOB AG	RABe526 Flirt	2
SBB Infrastruktur	EHFZ-Xem	1

Abbildung 19: Liste der Pilotfahrzeuge

8.9. Betriebserprobung

8.9.1. Verifikation der Funktionstüchtigkeit und Zuverlässigkeit

Für eine exakte Abrechnung der Energiekosten sind als Basis korrekte Energiedaten notwendig. Es ist deshalb wichtig, dass das Energiemessgerät (EMG) fehlerfreie Daten liefert. Fehler müssen schnell und zuverlässig entdeckt werden. Im Fehlerfall muss sichergestellt sein, dass keine falschen Daten aufgezeichnet werden.



Aus diesem Grund wurden während eines Testzeitraumes von über 18 Monaten Energiemessgeräte im Betrieb getestet, um die RAM-Parameter (Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit) überprüfen zu können. Um eine statistisch relevante Aussage bezüglich dieser Parameter machen zu können, wurde eine kumulierte Betriebsdauer der Geräte von mindestens 150'000 Betriebsstunden festgelegt.

8.9.2. Fehleranalyse und -behebung

Für das Reporting und die Analyse von Fehlern sowie für die Steuerung von Massnahmen zur Behebung wurde während der Betriebserprobung ein Failure Reporting, Analysis and Corrective Action System (FRACAS) angewendet. Dies ist eine Methode, bei dem die Fehler des zu beobachtenden Objektes systematisch dokumentiert und analysiert werden können. Daraus lassen sich anschließend Verbesserungen umsetzen. Das FRACAS beinhaltet insbesondere die Prozesse, die notwendig sind, um die relevanten Daten erfassen zu können. Teile dieses FRACAS sollen nach der Erprobungsphase weiter verwendet werden.

Die Ziele von FRACAS

- Laufende Überwachung des Betriebsverhaltens des EMG und des EMS auf unterschiedlichen Fahrzeugtypen
- Frühzeitige Erkennung und Behebung potentieller Schwachstellen
- Optimierung des Energiemesssystems (Fehleroffenbarung, kürzere Stillstandzeiten, etc.)
- Validierung der Systemanforderungen
- Falls erforderlich: Einleitung von Massnahmen
- Laufende Verifikation, ob die umgesetzten Massnahmen im gewünschten Umfang Wirkung zeigen.
- Das Prinzip des FRACAS ist in Abbildung 20 dargestellt.

Die wesentlichen Elemente des FRACAS:

- **Datenerfassung, Datensammlung:** Als Basis für den FRACAS-Prozess dienten verschiedene Informationen aus diversen Quellen. Die Datenquellen richteten sich nach der Zielsetzung des Betriebserprobung.
- **Datenablage:** Bei diesem Element ging es darum, die Informationen aus den verschiedenen Quellen so abzulegen, dass sie möglichst einfach verknüpft und kombiniert auswertbar waren.
- **Analyse:** Die Analyse der Störungsfälle wurden fallspezifisch durchgeführt.

- **Definition von Massnahmen:** Auf Basis der Analyse wurden geeignete Verbesserungsmaßnahmen erarbeitet. Das Failure Review Board (FRB) legte die Klassifizierung der Fehler fest und beschloss die Umsetzung der vorgeschlagenen Massnahmen.
- **Umsetzung der Massnahmen:** Die Umsetzung der beschlossenen Massnahmen erfolgte auf Basis von "Change Requests" und entsprechenden Änderungsaufträgen.
- **Reporting:** Der Stand der Qualitätsverbesserungen wurde periodisch dargestellt und dokumentiert.
- **Rückkopplung:** Mit diesem Element wurde gewährleistet, dass die umgesetzten Massnahmen verifiziert wurden. Das heißt, es wurde geprüft, ob die eingeleiteten Massnahmen die gewünschte Wirkung erzielten. Der Umfang der Verifikation war abhängig vom jeweiligen Problempunkt und den getroffenen Massnahmen.

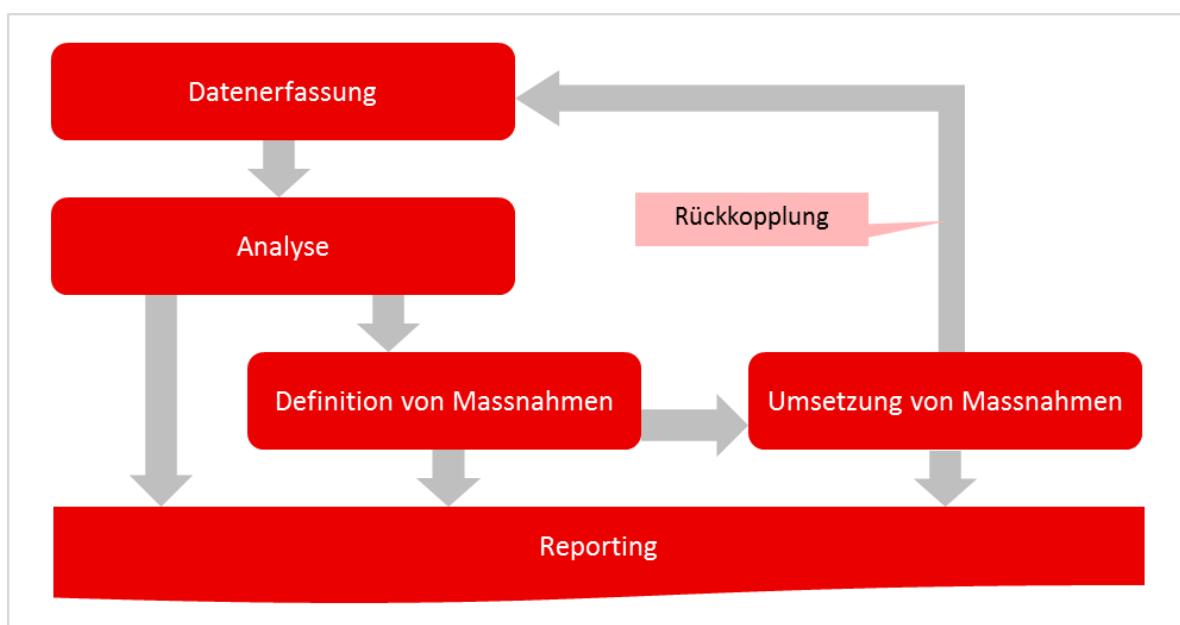


Abbildung 20: Prinzip des Failure Reporting, Analysis and Corrective Action Systems (FRACAS)

FRACAS in der Testphase

Ziel der ersten Testphase (>150'000 Betriebsstunden) war es, die theoretischen Werte der RAM-Parameter des Energiemessgeräts in der Praxis überprüfen zu können und somit die Zuverlässigkeit des Geräts im operativen Betrieb nachzuweisen.

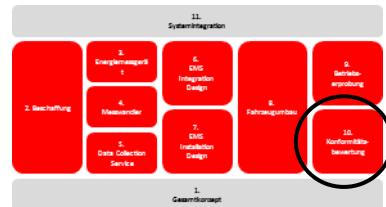
Mit Unterstützung von FRACAS wurden alle Fehler während einer Testphase systematisch dokumentiert und analysiert. Dies ergab Rückschlüsse auf die Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit und Instandhaltbarkeit – sowohl des Energiemessgeräts (Überprüfung der Herstellerwerte) als auch des gesamten Energiemesssystems je Fahrzeugtyp.

Um statistisch relevante Aussagen zu machen, wurde einerseits eine kumulierte Betriebsdauer von mindestens 150'000 Betriebsstunden definiert. Andererseits wurden die betrachteten Fehler genau analysiert und den Teilsystemen zugeordnet. Auf diese Weise ließen sich sowohl Aussagen betreffend des Energiemessgeräts als auch des Energiemesssystems machen.

8.10. Konformitätsbewertung

8.10.1. Ziele und Nutzen

Die vom Energiemesssystem erhobenen Messdaten dienen als Grundlage für die Verrechnung des Bahnstromverbrauchs vom Infrastrukturbetreiber an die Eisenbahnverkehrsunternehmen. Aus diesem Grund ist die Sicherstellung einer hohen Qualität der Messdaten wichtig. Grundlage für eine objektive Qualitätsprüfung, welche unabhängig von der fahrzeugspezifischen technischen Lösung ist, bilden die international anerkannten Normen. Im Fall der Bahnstrommessung für Abrechnungszwecke sind das die EN 50463 bzw. die TSI LOC&PAS.



Mit einer anerkannten Prüfung der Konformität durch eine neutrale Fachstelle erhalten alle Beteiligte den Nachweis, dass das Energiemesssystem die relevanten Bestimmungen einhält. Sie können so davon ausgehen, dass eine ausreichende Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Messdaten gegeben ist, und dass der Austausch der Daten zwischen Bahnen über Standard-Schnittstellen technisch machbar ist.

Eine Begleitung der Konformitätsbewertung durch unabhängige Experten hilft zudem, mögliche Schwachstellen und Verbesserungspotenziale aufzudecken. Dies schafft zusätzliche Sicherheit und erhöht das Vertrauen in die Qualität.

Das Vorgehen für die Konformitätsbewertung ist in EN 50463-5 beschrieben. Gemäss Norm sind bei der Begutachtung sämtliche Komponenten, die Systemintegration sowie die Installation in die Fahrzeuge zu berücksichtigen.

8.10.2. Bewertungsmethode

Die Abbildung 21 zeigt eine Übersicht der Methoden der Konformitätsbewertung.

Die Konformitätsbewertung wird nach den **folgenden Methoden** durchgeführt:

- Entwurfsüberprüfung des Geräts
- Typprüfung des Geräts
- Stückprüfung des Geräts
- Entwurfsüberprüfung der EMS-Integration
- Typprüfung der EMS-Integration
- Entwurfsüberprüfung der EMS-Installation
- Typprüfung der EMS-Installation
- Stückprüfung der EMS-Installation
- Periodische Bestätigungsprüfung des EMS
- Ersatz von Geräten/Zusatzkomponenten des EMS

Die Methoden a) bis c) werden auf der Geräteebene angewendet. Die Vereinbarungen der Konformitätsprüfung werden in EN 50463-2, EN 50463-3 und EN 50463-4 behandelt.

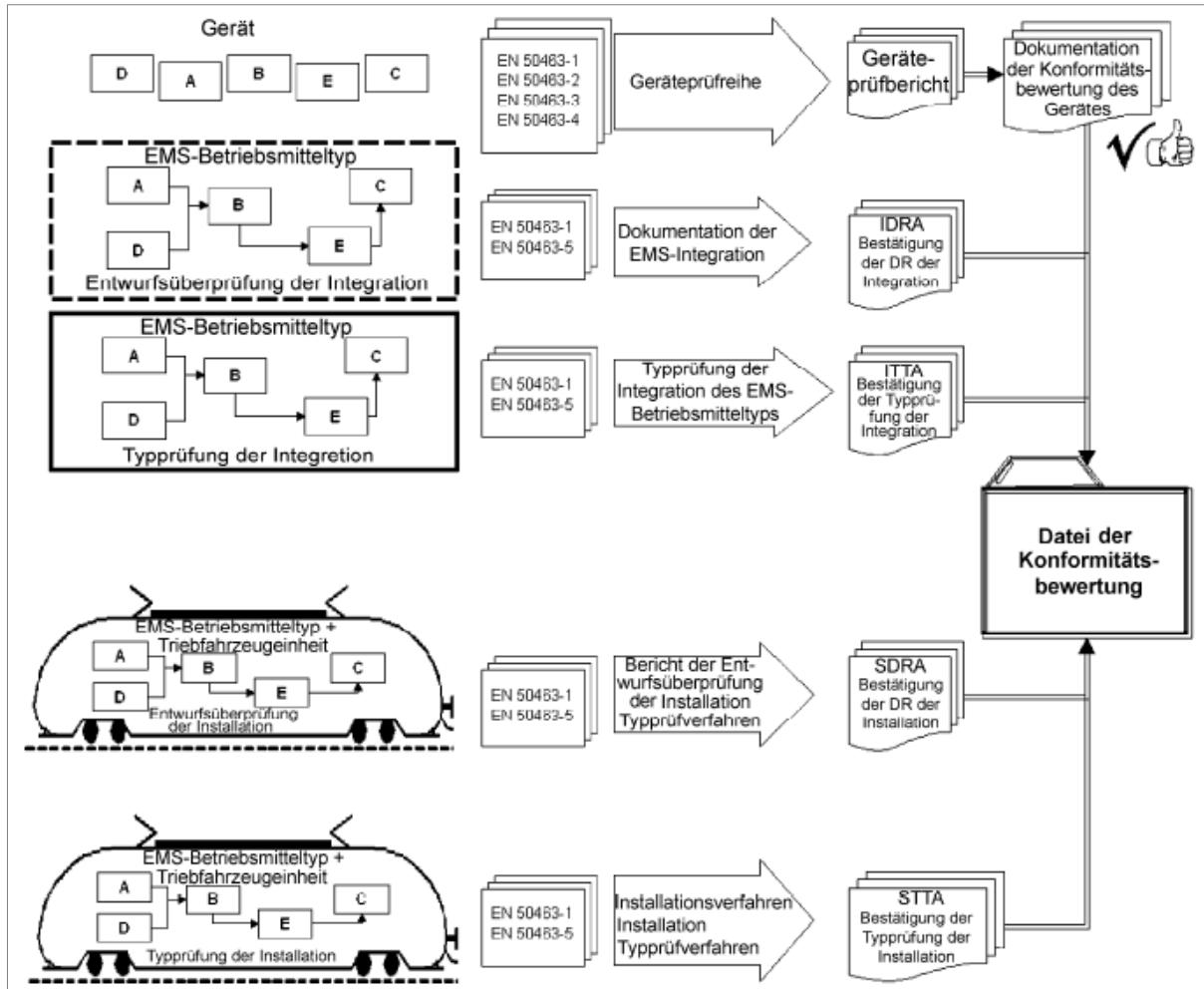


Abbildung 21: Übersicht der Methoden der Konformitätsbewertung

Hauptphasen der Konformitätsbewertung im Lebenszyklus

Die Konformitätsbewertung wird in den folgenden Hauptphasen im Lebenszyklus des EMS vorgenommen:

1. auf Geräteebene
2. auf EMS-Ebene
3. bei der EMS-Bestätigungsprüfung und beim Ersatz von Geräten/Zusatzkomponenten.

8.10.3. Begutachtungsplan

In einem ersten Schritt wird ein Begutachtungsplan, gemäss den Anforderungen aus der Normenfamilie EN 50463, erarbeitet. Dieser Plan umfasst:

- eine Abgrenzung des zu begutachtenden Systems
- eine Auflistung der von SBB resp. den Unterlieferanten einzureichenden Nachweise
- die Akzeptanzkriterien für eine erfolgreiche Begutachtung.

In dieser Phase wird auch geklärt, welche generischen Ansätze im Begutachtungsprozess, aufgrund der Verschiedenartigkeit der einzubehandelnden Fahrzeugtypen, umgesetzt werden können. Voraussetzung ist, dass zu diesem Zeitpunkt die Integrationskonzepte für die Fahrzeughochrüstungen im erforderlichen Detaillierungsgrad vorliegen.

Da verschiedene Fahrzeugtypen mit dem System ausgerüstet werden, ist die Begutachtung nicht in jedem Fall generisch durchführbar. Nach Bekanntgabe des einzuführenden Systems muss deshalb über die gesamte Flotte ein Begutachtungskonzept erarbeitet werden. Das Konzept ist integrierter Bestandteil des Begutachtungsplans.

Begutachtung der verschiedenen Fahrzeugtypen und Fahrzeugfamilien

Verschiedene Fahrzeugtypen können gemeinsam, als eine Fahrzeugfamilie, begutachtet werden. Dazu müssen gewisse Kriterien zu den Subsystemen des Energiemesssystems, zur Integration und zur Installation, erfüllt sein. Die Kriterien werden im Rahmen des Begutachtungsplans definiert.

Der Ablauf der Begutachtung gilt grundsätzlich für jede Fahrzeugfamilie. Er ist für die erste Fahrzeugfamilie im beschriebenen Umfang durchzuführen. Denkbar ist, dass gewisse Stufen für mehrere Familien ähnlich oder identisch sind und deshalb für die Folgefamilien nicht oder nur reduziert zu begutachten sind.

8.10.4. Nachweisdokumentation

Zur Durchführung der Konformitätsbewertung für die verschiedenen Fahrzeugtypen im Projekt, wurde eine modulare Struktur der Nachweisdokumente erarbeitet (Anhang 5). Diese berücksichtigt die stufenweise Bewertung der Komponenten, der Systemintegration und Fahrzeuginstallation sowie die unterschiedlichen Bewertungsschritte wie „Entwurfsprüfung“, „Typenprüfung“ und „Stückprüfung“. Die Dokumentenstruktur ist in der nachfolgenden Abbildung 22 dargestellt.

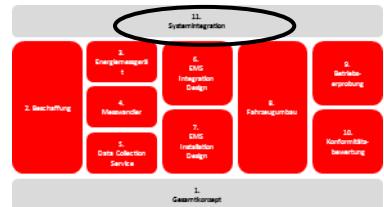
Bewertungsschritt		Entwurfs-prüfung EMS-Integration	Entwurfs-prüfung EMS-Installation	Typprüfung EMS-Integration	Typprüfung EMS-Installation	Stück-prüfung	Periodische Bestätigungsprüfung
Energiemesssystem-Ebene		(EN50463-5 Chap. 5.2)	(EN50463-5 Chap. 5.4)	(EN50463-5 Chap. 5.3)	(EN50463-5 Chap. 5.5)	(EN50463-5 Chap. 5.6)	(EN50463-5 Chap. 5.7)
Einzelne EMS-Komponenten (EN50463-2-4)	Messgerät (ECF ¹ , DHS ²)		Konformitätsbescheinigung und -bericht				Prozessbeschreibung Aufrechterhaltung der Konformität
	Wandler (VMF ³ , CMF ⁴)		System Specification + Installation Manual	Prüfzertifikate/Prüfberichte (je Wandlertyp)			
Integration der einzelnen EMS-Komponenten (EN50463-5)	Integration Ecomodule mit Wandlern und DCS ⁵ (alle Fz-Typen)			EMS Konformitätsnachweisdokument-System			
Installation des EMS in das Fahrzeug (EN50463-5)	Installation EMS in Fz (je Fz-Typ)		Engineeringdokumente (Einbauanleitung, Schema ...)	EMS Konformitätsnachweisdokument - Fahrzeugtyp	Stückprüf-anleitung	Stückprüf-protokoll	
			Typprüfanleitung	Typprüfprotokoll			

¹ Energy Calculation Function ² Data Handling System ³ Voltage Measurement Function ⁴ Current Measurement Function ⁵ Data Collection System

Abbildung 22: Dokumentenstruktur - Modularer Aufbau der Konformitätsnachweisdokumente

8.11. Systemintegration

Für die erfolgreiche Umsetzung des Vorhabens „Bahnstrommessung auf Schienenfahrzeugen“ spielt die Systemintegration eine entscheidende Rolle. Die Abrechnung des Energieverbrauchs stellt hohe Anforderungen an die Zuverlässigkeit der Systeme und die Korrektheit der Daten. Daher ist eine umfangreiche Testphase des neuen Energiemesssystems zwingend notwendig, um die Qualität der Bahnstromabrechnung während und nach der Einführung zu gewährleisten.



Dabei wurden folgende Aspekte der Systemintegration und die zugehörigen Tests im Projekt speziell beachtet:

Technik

- Integration der einzelnen Komponenten des Energiemesssystems: Energiemessgerät, Spannungswandler, Stromwandler und Mobile Router / Antenne.
- Integration des Energiemesssystems in einen Fahrzeugtyp.
- Installation des Energiemesssystems in einem einzelnen Fahrzeug.
- Verhalten des installierten Energiemesssystems unter unterschiedlichen Betriebsbedingungen: Hitze, Kälte, Feuchtigkeit, Schütteln, elektromagnetische Felder.
- Mobilfunkchnittstelle zwischen dem fahrzeugseitigen Energiemessgerät und dem ortsgebundenen Data Collection Service.
- Datenübertragung zum Data Collection Service bei Zugfahrten im Ausland (Roaming)
- Wechsel des Bahnstromversorgungssystems z.B. bei Grenzübertritt Schweiz-Italien
- Schnittstelle zwischen Data Collection Service und SBB Verrechnungssystem (EREK Schnittstelle)
- Lieferung von Energiemessdaten an das Verrechnungssystem der DB Energie (via EREK)
- Schnittstelle zwischen dem Data Collection Service und anderen Systemen (z.B. Server zur Abnahme der Sekundendaten)

Betriebsprozesse

- Anmeldung der installierten Energiemesssysteme durch den Fahrzeughalter
- Erfassung und Mutation der Energiemesssysteme im Data Collection Service
- Überwachung der Energiemessgeräte
- Plausibilisierung der Messdaten
- Identifikation von Störungen am Energiemesssystem
- Störungsmanagement
- Ersatzteilloistik

Die Systemintegration erforderte eine enge Koordination zwischen SBB Energie (in der Rolle als Messdienstleister), dem Produktlieferanten, den Fahrzeughaltern, den EVU sowie dem Trassenverkauf der SBB.

Datenschutz

Die Energieverbrauchsdaten werden in erster Linie zum Zweck der verursachergerechten Verrechnung des Bahnstroms durch die Infrastrukturbetreiber verwendet. Die Daten sollten jedoch zwecks weitere Anwendungen an mehreren Anspruchsgruppen zur Verfügung gestellt, u.a. EVU, Fahrzeughalter, Fahrzeug-Instandhaltungsplaner. Bei der Erfüllung der unterschiedlichen Ansprüchen an den Datenzugang, ist gleichzeitig ein ausreichender Datenschutz zu gewährleisten.

Das Datenschutzrecht kennt verschiedene Grundsätze, die bei der Bearbeitung der Energiemessdaten zu beachten sind (Art. 4 ff. DSG). Neben den allgemeinen Grundsätzen von Treu und Glauben, Rechtmässigkeit und Verhältnismässigkeit sind im Rahmen der Datenbearbeitung insbesondere die folgenden Grundsätze relevant:

- Grundsatz der Zweckbindung:
- Grundsatz der Datenrichtigkeit
- Grundsatz der Datensicherheit
- Inhaber der Datensammlung und mit dem Inhaber verbundene Informations- und Auskunftspflicht..
- Datenbearbeitung durch Dritte

Die Einhaltung diesen Grundsätzen wurde durch entsprechende Vorgaben und Prozesse (insbes. technische, organisatorische und vertragliche Massnahmen) sichergestellt. Diese sind im Rahmen der Einführung von Energiemesssystemen auf allen Fahrzeugen und in der Betriebsphase laufend zu überprüfen und bei Bedarf weiterzuentwickeln.

9. Schlussfolgerungen und Ausblick

9.1. Projektverlauf

Das Projekt konnte gemäss den geplanten Phasen durchgeführt und alle Arbeitspakete erfolgreich abgeschlossen werden. Da es sich beim Energiemessgerät um eine Neuentwicklung handelte und aufgrund der nachträglichen Erweiterungen im Projektumfang, wurde die Betriebserprobungsphase um ein Jahr verlängert, um eine ausreichende Qualität der Messsysteme sicherzustellen.

9.2. Vorteile für die Bahnunternehmen

- Ein neues und geprüftes System steht den Transportunternehmen zur Verfügung, das die Einsparungen als Folge von **Investitionen in Energieeffizienzmassnahmen umgehend kostenwirksam** und dadurch schneller rentabel macht.
- Die Netzbenutzer profitieren **gegenseitig vom Erfahrungsaustausch** und von Synergien in der Umsetzung, wie z.B. einmaliges Engineering pro Fahrzeugtyp / Baureihe und Ausschreibung der Messsysteme durch den Systemführer Bahnstrom.
- Dank der Ausschreibung sind die **Stückkosten** für das **Energiemessgerät tiefer als ursprünglich geschätzt**. Mit dem detaillierten Einbauengineering **reduziert sich zudem der Einbauaufwand** pro Fahrzeug.
- Eine weitere **Kostenreduktion** konnte bei der Ausrüstung der Fahrzeugflotten mit Energiemesssystemen erzielt werden. Dies ist dem hinsichtlich Funktion, Platzbedarf und Preis optimierten Standard-Messgerät zu verdanken.
- **Detailauswertungen** des Bahnstromverbrauchs pro Streckenabschnitt sind dank der Messung und Verarbeitung von 1-Minuten-Messdaten möglich.
- Die **1-Sekunden-Messungen** ermöglichen spezifische, detaillierte Analysen des Energieverbrauchs von Triebfahrzeugen zur Identifikation potentieller technischer Optimierungen.
- Eine Methodik für die **Konformitätsprüfung** von Energiemesssystemen, sowohl gemäss EN 50463 als auch gemäss TSI Loc&Pas, steht zur Verfügung. Das unterstützt und erleichtert den Prozess für andere EVU.
- Bahnunternehmen, die dieses System zur Ausrüstung ihrer Fahrzeuge verwenden, können dank der **Serviceleistung „Bahnstrommessung“** das Auslesesystem und die Betriebsorganisation für das Messdatenmanagement von SBB Infrastruktur mitbenutzen. Dadurch **reduzieren sich Initialaufwand** und die **Durchlaufzeit** für die Ausrüstung der Fahrzeugflotten mit Energiemesssystemen erheblich.

9.3. Nutzen der Projekt-Beteiligung des BAV

Durch die Unterstützung und Mitfinanzierung des Vorhabens durch das BAV resultierte folgender Nutzen:

- **Beschleunigung der Einführung** der verbrauchsabhängigen Ist-Abrechnung des Bahnstroms in der Schweiz.
- Dank des koordinierten Vorgehens wurden für die **Identifikation und Erfolgsmessung** von Effizienzmassnahmen im Bahnstrombereich **einheitliche Grundlagen** geschaffen.
- Dank der Ausrüstung mit Energiemesssystemen nach einheitlichen Standards bei allen schweizerischen Bahnen wird die **Kompatibilität mit anderen Systemen** sichergestellt. **und die Grundlage für die Akzeptanz** in anderen Ländern geschaffen

- Mit dem Einbezug anderer EVU wird der Bahnstromverbrauch für alle Verkehrstypen auf allen Strecken gemessen. Das **Potenzial zur Identifikation und Bewertung von Energieeffizienzmassnahmen** im Traktionsbereich kann somit bestmöglich ausgeschöpft werden.
- Die proaktive und koordinierte Umsetzung der Bahnstrommessung im gesamten Bahnnetz zur Erhöhung der Energieeffizienz **fördert die Vorbildfunktion der bundesnahen Betriebe**.

9.4. Projektergebnisse und Zielerreichung

Die Entwicklung des fahrzeugseitigen Energiemesssystems ist abgeschlossen, ein Pilotsystem mit 92 (Stand 12/2016) ausgerüsteten Fahrzeugen ist in Betrieb. Folgende **Teilziele** wurden erreicht:

- Spezifikation und Beschaffung eines **standardisierten Energiemessgerätes**, das für die Realisierung eines EN50463-konformen Energiemesssystems in allen gängigen Triebfahrzeugen eingesetzt werden kann. Das erste Messgerät wurde im Februar 2015 installiert.
- Bereitstellung eines **Auslesesystems** für das Fernauslesen der Messdaten via Mobilfunk von den Messgeräten auf den Fahrzeugen. Das erste Testsystem wurde im Januar 2015 in Betrieb genommen.
- Erarbeitung der Energiemesssystem-Lösung auf Basis des **Energiemessgerätes ECOModule** für 25 verschiedene Fahrzeugtypen.
- Ausrüstung von **92 Testfahrzeugen** mit dem neuen Energiemessgerät. Von diesen werden die Energiemessdaten täglich ausgelesen und automatisch über eine standardisierte Schnittstelle gemäss UIC 930 an das Verrechnungssystem übermittelt.
- Klärung des Vorgehens bezüglich **Fahrzeugzulassung** in den Ländern CH, D, I und A.
- **Konzeption und Verifikation** des Vorgehens für die Konformitätsbeurteilung des gesamten Energiemesssystems nach EN 50463 sowie der relevanten Anforderungen der TSI Loc&Pas. Mit der Durchführung der Konformitätsbeurteilung der einzelnen Fahrzeugtypen wurde die benannte Stelle Sconrail beauftragt.
- **Betriebserprobung** des Gesamtsystems über mehrere Monate.
- Bereitstellung einer **Serviceleistung „Bahnstrommessung“** für die EVU zur Auslesung und Verarbeitung der Messdaten von fahrzeugseitigen Energiemesssystemen.

9.5. Ausblick

Im Laufe der Jahre 2017 bis 2019 werden die Fahrzeugfotten kontinuierlich ausgerüstet. Neue Fahrzeuge werden in der Regel bereits mit Energiemesssystemen ausgerüstet ausgeliefert. Spätestens 2019 ist der Systemwechsel von der heutigen Pauschalabrechnung zur verbrauchsabhängigen Abrechnung des Bahnstroms vollzogen.

Das Wachstum im Schienenverkehr der letzten Jahrzehnten geht weiter. Gemäss den Verkehrszahlen⁸ 2016 wachsen die Personenkilometer von 24.7 Mia. in 2014 auf 27.9 Mia. in 2030, die Tonnenkilometer im Güterverkehr von 10.8 Mia. in 2014 auf 16.0 Mia. in 2030. Dieses Wachstum führt direkt zu einem höheren Bahnstromverbrauch, der 2016 mit 3199 GWh⁹ bereits 5.5% vom gesamten Elektrizitätsverbrauch der Schweiz betrug. Aus diesem Grund nimmt die Bedeutung der Energiemessung auf Fahrzeuge und der verursachergerechten Verrechnung als entscheidender Erfolgsfaktor für die Energieeffizienzsteigerung nur noch zu.

⁸ Verkehrszahlen, Ausgabe 2016, LITRA Informationsdienst für den öffentlichen Verkehr

⁹ Überblick über den Energieverbrauch der Schweiz im Jahr 2016, Bundesamt für Energie BFE

Abbildungen

Abbildung 1: Systemübersicht Energieabrechnungssystem mit Ist-Verrechnung	6
Abbildung 2: Elemente der Systemlösung von Microelettrica Scientifica SA.....	7
Illustration 3: vue d'ensemble du système de décompte de la consommation d'énergie avec facturation de la consommation réelle	10
Illustration 4: éléments de la solution proposée par Microelettrica Scientifica SA	12
Abbildung 5: Arbeitspakete im Projekt	17
Abbildung 6: Übersicht der möglichen Beziehungen im Bahnstrommarkt.....	19
Abbildung 7: Funktionale Struktur eines Energiemesssystems gemäss EN 50463.	21
Abbildung 8: Übersicht des Gesamtsystems für die Bahnstrommessung und -verrechnung.....	23
Abbildung 9: Übersicht des Verrechnungssystems.....	24
Abbildung 10: Umfang und Teilkomponenten des Energiemesssystems auf dem Triebfahrzeug.	31
Abbildung 11: Elemente der Systemlösung von Microelettrica Scientifica SA	33
Abbildung 12: Das Energiemessgerät installiert im Fahrzeug	34
Abbildung 13: Die PC-Softwareapplikation ECOTool	35
Abbildung 14: Architektur der Softwareapplikation ECOLogic	37
Abbildung 15: Darstellung des Energieverbrauchs im ECOLogic Webtool (Beispiel)	37
Abbildung 16: Liste der Fahrzeugtypen	38
Abbildung 17: Komponenten zur Ausrüstung eines Fahrzeugs mit einem Energiemesssystem....	40
Abbildung 18: Einordnung der Messwandler im Energiemesssystem	40
Abbildung 19: Liste der Pilotfahrzeuge.....	41
Abbildung 20: Prinzip des Failure Reporting, Analysis and Corrective Action Systems (FRACAS).....	43
Abbildung 21: Übersicht der Methoden der Konformitätsbewertung	45
Abbildung 22: Dokumentstruktur - Modularer Aufbau der Konformitätsnachweisdokumente	46

Anhang

Folgende Dokumente stehen als Anhänge des Schlussberichtes zur Verfügung:

Systemanforderungen

- Anhang 1: Anforderungsspezifikation Energiemessgerät
- Anhang 2: Anforderungsspezifikation Data Collection Service (DCS)

Systembeschreibung

- Anhang 3: Systembeschreibung EMS-Integration
- Anhang 4: Systembeschreibung Fahrzeugintegration (Beispiel)

Konformitätsbewertung

- Anhang 5: Liste der benötigten Dokumente
- Anhang 6: Typenprüfung (Beispiel)
- Anhang 7: Stückprotokoll (Beispiel)
- Anhang 8: Konzept für die Aufrechterhaltung

RAM (Reliability, Availability, Maintainability)

- Anhang 9: FRACAS-Bericht

Auswertungen

- Anhang 10: Beispiel-Auswertungen der ECOLogic-Messdaten

Kommunikation

- Anhang 11: Präsentation EVU Runde Tisch, Februar 2015
- Anhang 12: Informationsbrief an die EVU, Oktober 2015
- Anhang 13: Fachartikel im „European Railway Review“, Januar 2016