



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Energie BFE

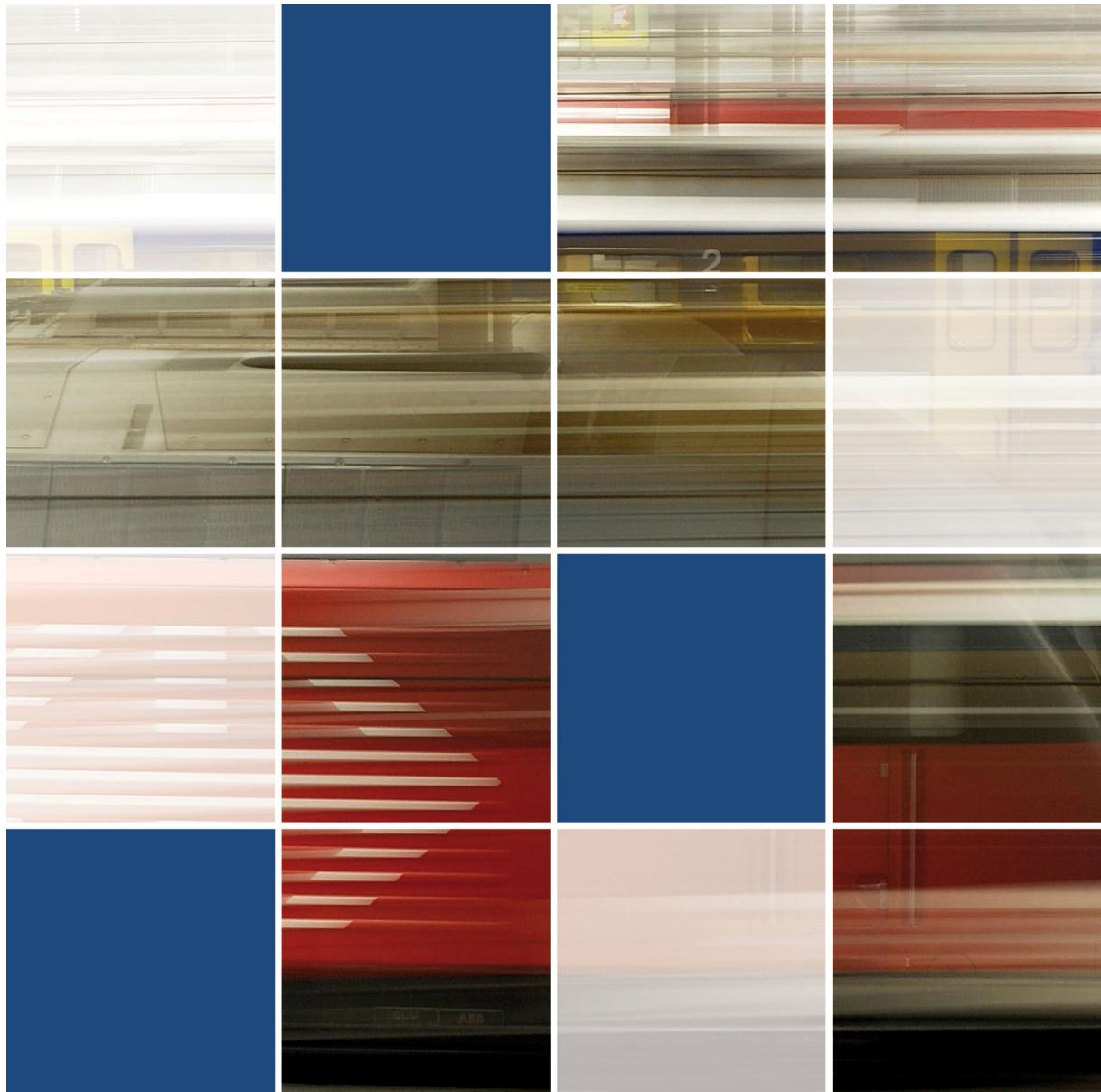
Schlussbericht, Anhang 5 26. November 2009

Verifizierung der Stromeinsparung durch energieeffizientes Zugsmanagement

Energiedatenbank Traktion

Energiedatenbank Traktion - Schlussbericht

Datenbank zur Unterstützung der Analyse des Energieverbrauches von SBB-Fahrzeugen



Auftraggeber

Stefan Menth, *emkamatik* GmbH
Rebbergstrasse 20a, 5430 Wettingen
stefan.menth@emkamatik.com
+41 79 635 26 85

Auftragnehmer

Matthias Tuchschrnid
Fellenbergweg 14, 8047 Zürich
mtuchschrnid@gmx.net
+41 78 788 04 00

Inhaltsverzeichnis:

1 Einleitung	4
1.1 Zielsetzung der "Energiedatenbank Traktion"	4
1.2 Aufbau dieses Berichtes	5
2 Schema für die Energiedatenbank und Vorgehen	6
2.1 Datenschema und Designprinzipien.....	6
2.2 Beispiel: S-Bahn Re 450092 vom 1. Mai 2004 bis am 7. Januar 2004.....	7
2.3 Preprocessing Betriebsdaten	7
2.3.1 Filter nach Zugnummer mit Bestimmung der Gesamtdistanz / mittlerer Haltstellenabstand.....	7
2.3.2 Datumswechsel	9
2.3.3 Gewichtzuordnung.....	9
2.3.4 Identifikation des Wochentags.....	9
2.4 Preprocessing Energieverbrauchsdaten	10
2.4.1 Identifikation des Fahrzeugzustandes (fährt / steht still)	10
2.5 Meteodaten	11
2.6 Datenzuordnung	13
2.6.1 Datenhaltung in einer Tabelle.....	13
2.6.2 Integration der Energieverbrauchs- und Meteodaten in Betriebsplanungsdaten.....	13
2.6.3 Filterung nach freien Kriterien und Berechnung von Kenngrößen.....	15
3 Übersicht der realisierten Lösung	16
3.1 Programmierung und Technik	16
3.2 Demonstration der realisierten Lösung.....	17
4 Anhang	20
4.1 Systeme für Energieverbrauchsmessungen Traktion Bahn	20
4.1.1 LEM-Zähler (DTZ).....	20
4.1.2 TEMA-Energiedaten (DPZ, FLIRT)	20
4.1.3 DDS-Energiedaten (Re 460, RABe 520, ICN).....	22
4.2 Literatur.....	23

1 Einleitung

In den Jahren 2006/2007 wurde mit Unterstützung des Bundesamtes für Energie BFE das Projekt „Potentialermittlung Energieeffizienz Traktion bei den SBB“ durchgeführt. Eine Reihe von technischen wie betrieblichen Massnahmen konnte ermittelt werden: Gesamthaft beträgt das Energiesparpotential bis zu 10% des heutigen Energieverbrauchs (Meyer, Menth, & Lerjen, 2006).

In der Folge hat die Konzernleitung im November 2007 ein SBB-weites Energiesparprogramm gestartet, mit welchem bis ins Jahr 2015 jährlich 230 GWh an Energie gespart werden sollen. Zu den Massnahmen im Traktionsbereich zählen beispielsweise Antriebsoptimierungen für die Re 460 resp. ICN (Kennlinie/Auslegung und Verifikation/Messung) oder Optimierungsmassnahmen im Bereich Isolierung, Lüftung und Abstellbetrieb der EC-Wagenflotte. Einen wichtigen Beitrag leisten zudem Lokführerschulungen in energieeffizienter Fahrweise. Das grösste Einsparpotenzial wird aber im möglichst effizienten Zusammenspiel zwischen Betriebsführung und Lokführern für eine flüssige Verkehrsabwicklung erwartet. Im Projekt „Verifizierung der Stromeinsparung durch energieeffizientes Zugsmanagement“ werden nun unter anderem die Grundlagen für eine Verifizierung der Energieeinsparungen erarbeitet. Als Basis dienen dabei die 140 mit Energiemessgeräten ausgerüsteten Lokomotiven und Triebfahrzeugen der SBB.

Bis anhin wurden die Energieverbrauchsmessungsdaten an verschiedenen Orten gesammelt. Für die Beantwortung von gezielten Fragestellungen wurden diese Daten jeweils zusammengestellt und analysiert. Dabei war ein erheblicher Aufwand für Routinearbeiten notwendig, zudem war eine gezielte Selektion von einzelnen Energieverbrauchsmessungen nicht möglich. Die notwendige Verbindung von Betriebs-¹ und Meteodata mit den Energieverbrauchsmessungen war bisher nur aufwändig mit spezialisierter Auswertesoftware möglich.

1.1 Zielsetzung der „Energiedatenbank Traktion“

Die „Energiedatenbank Traktion“ soll die Analyse von Energieverbrauchsdaten stark vereinfachen und ist damit die Basis für die Verifikation der Energieeinsparung durch technische und betriebliche Massnahmen.² Zudem kann damit in Zukunft der weitere Handlungsbedarf wie Schulungs- und Sensibilisierungsmassnahmen aufgezeigt werden.

Konkret wird die Energiedatenbank Traktion folgende Ziele erfüllen:

- Die Energieverbrauchsdaten können zentral gespeichert werden, so dass organisationsübergreifend der gleiche Pool von Daten für verschiedene Auswertungen genutzt werden kann. Damit sind wesentliche Synergien bezüglich Datenhandling möglich.
- Bestimmte Vorprozeduren wie die Verbindung von Betriebs- und Meteodata mit den Energieverbrauchsmessungen werden automatisch in der Datenbank erledigt, so dass später ein geringerer Arbeitsaufwand für die Analysen notwendig ist.
- In der Datenbank kann gezielt mittels frei definierbaren Filtern nach einzelnen Energieverbrauchsmessungen gesucht werden. Dies vereinfacht die Selektion der umfangreichen Energiemessdaten.

Die detaillierte Analyse von Energieverbrauchsdaten wird auch nach Realisierung der „Energiedatenbank Traktion“ manuell erfolgen. Dabei wirkt die Datenbank unterstützend und stellt dem Benutzer die notwendigen Daten in systematischer Form mit Suchfunktion bereit.

Es ist nicht Aufgabe der Datenbank, Einzelfahrprofile (wie beispielsweise MicView-Messungen im Sekundenabstand) im Hinblick auf das Energiesparpotential zu analysieren, ebenfalls wird kein Abgleich mit den effektiven Fahrzeiten stattfinden. Der Schwerpunkt liegt in der statistischen Analyse von gesammelten Verbrauchsdaten über gewisse Zeiträume.

Die Datenbank dient jedoch auch als systematischer Ablageort für MicView-Dateien von Einzelfahrprofilen.

¹ Die Betriebsdaten stammen aus dem Betriebsplanungssystem CERES: Alle relevanten Aspekte des „Fahrplans“ des Fahrzeug wie Abfahrtszeit und –ort, Wagenformation und Zielbahnhof mit Ankunftszeit sind darin abgebildet. Für eine vernünftige Auswertung sind diese Informationen wie auch die Meteodata notwendige Voraussetzung, siehe dazu weitere Angaben unter Abschnitt 2.5

² Angesichts der Komplexität und Fülle an Einflussfaktoren ist zu erwarten, dass die Verifizierung von einzelnen Massnahmen (wie z.B. Antriebsoptimierung an einer Lok) nur im Ausnahmefall mit der hier entwickelten Energiedatenbank erfüllt werden kann. Die Datenbank sollte jedoch die Verifizierung der Massnahmen in kumulierter Form erlauben.

1.2 Aufbau dieses Berichtes

Dieser Bericht ist wie folgt aufgebaut:

- Im zweiten Kapitel ist das grundsätzliche Schema der Datenbank beschrieben, zudem wird hier aufgezeigt, welche einzelnen Schritte die Energieverbrauchsdaten in der Datenbank durchlaufen. Als Beispiel dienen dabei die Energieverbrauchsmessungen des Fahrzeugs Re 450092 über den Zeitraum einer Woche.
- Im dritten Kapitel wird die realisierte Lösung beschrieben, einige Abbildungen geben Einblick in die umgesetzte Lösung.
- Im Anhang sind die verschiedenen Energiemessgeräte beschrieben, welche durch die Energiedatenbank Traktion verarbeitet werden.



Zu Zeiten der Dampflokomotiven war es üblich, eine energiesparsame Fahrweise zu honorieren. Dies geschah früher in Form einer „Kohleprämie“, welche die Dampflokomotivführern und – heizern bei einer besonders energiesparenden Fahrweise erhielten. Nachweislich konnten so bedeutende Energieeinsparungen erzielt werden.

Die Ausbezahlung von einer Kohleprämie war aber nur möglich, weil der Energie-(Kohle-)Verbrauch beim Beladevorgang exakt gewogen wurde und eine eindeutige Zuordnung zum jeweiligen Lokführer-Heizer-Team möglich war (ITF EDV, 2005).

2 Schema für die Energiedatenbank und Vorgehen

2.1 Datenschema und Designprinzipien

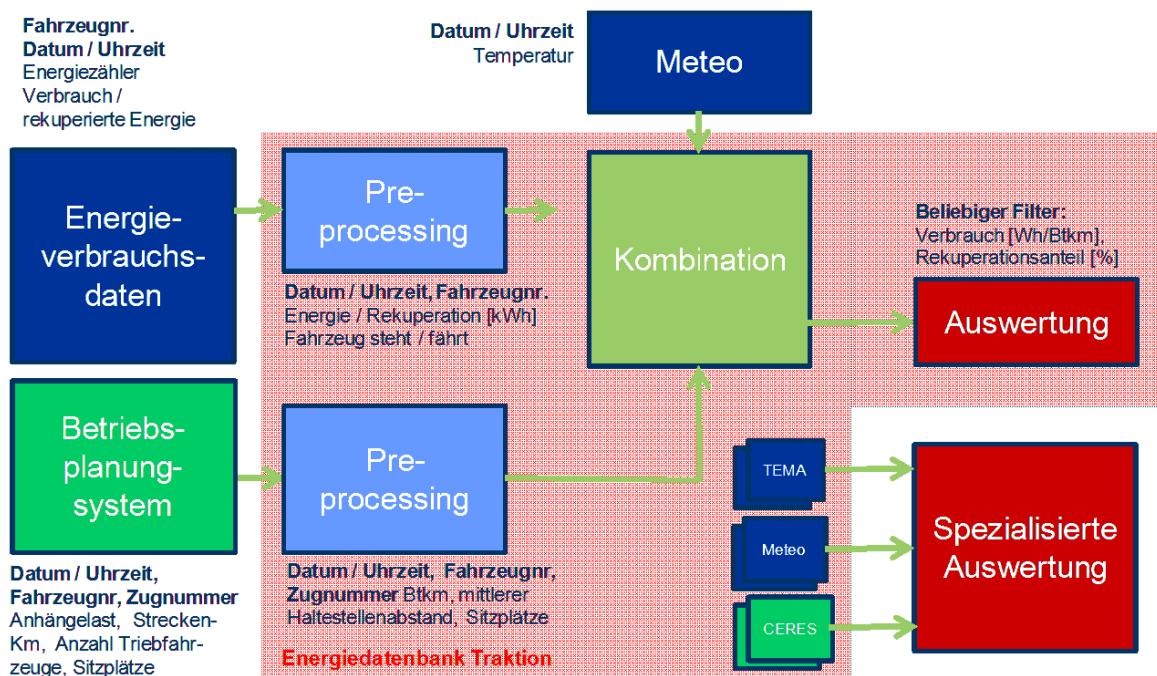
In diesem Kapitel wird das Schema der Energiedatenbank vorgestellt, sowie das generelle Vorgehen zur Erstellung von durchsuchbaren, harmonisierten Energieverbrauchsmessungen geschildert. Der wichtigste Teil stellt das sogenannte Preprocessing dar: In diesem Schritt werden die Daten unterschiedlicher Herkunft so bearbeitet, dass später ein „Matching“ zwischen Energieverbrauch-, Betriebsplanung- und Meteodaten möglich ist.

Datenschema

In Abb. 2.1 ist der prinzipielle Fluss der Daten schematisch dargestellt.

- Basis für die Auswertungen sind dabei die Daten des Betriebsplanungssystems CERES. Ceres (Computerunterstützter Einsatz Ressourcen) ist das Informatikinstrument, um den Einsatz der Lokomotiven, Trieb- und Reisewagen zu planen. Es gibt drei Systeme, wobei für die Energiedatenbank vor allem CERES2 relevant ist.³ In CERES wird die wichtige Zuordnung zwischen Fahrzeugnummer und Zugnummer vorgenommen. Damit ist definiert, wann und wo sich ein bestimmtes Fahrzeug befindet (oder mit anderen Worten: der persönliche Fahrplan von einem Fahrzeug wird in CERES definiert).
- Die Energieverbräuche werden durch Messgeräte auf definierten (und bekannten) Fahrzeugen gemessen. Diese protokollieren den Energieverbrauch, wie auch die Rückspeisung der Energie in das 16.7Hz-Stromnetz chronologisch. Eine Übersicht der Energiemesssysteme in SBB-Fahrzeugen findet sich im Anhang unter 4.1.
- Als drittes Element finden die Meteodaten Eingang in die Energiedatenbank Traktion. Die Meteodaten repräsentieren die Umgebungsbedingungen bezüglich Temperatur, Strahlung und Niederschlag.

Abb. 2.1: Zusammenfügen der verschiedenen Daten in Energiedatenbank



³ Ceres1 dient zur Jahresplanung der Lokomotiven und Reisewagen. In Ceres2 werden die Fahrzeuge den Umläufen zugewiesen. Im Gegensatz zu Ceres1, wo nur mit Fahrzeugtypen gearbeitet wird, arbeitet Ceres2 mit physischen Fahrzeugen. Mit Ceres2 werden ebenfalls Umläufe erstellt, welche nicht in der Jahresplanung vorhanden sind (zB.: Extrazüge, Zusatzwagen). Zudem werden kurzfristige Änderungen der Planung wie beispielsweise Störungen oder Ausfälle in CERES umgesetzt. Ceres3 ist die Anwendung, die im operativen Bereich auf den Fahrzeuglenkungen zum Einsatz kommt.

Zuordnung der Daten (Schlüssel)

Als verbindende Schlüsselgrössen dienen das Datum mit der Uhrzeit sowie die Fahrzeugnummer. Alle Daten werden mit realen Uhrzeiten in der Datenbank abgespeichert, d.h. mit Sommerzeit / Winterzeitwechsel wie auch Datumswechsel an Mitternacht.⁴

Detaillierungsgrad der Energiedatenbank

In der Datenbank werden die Details von einer Zugfahrt mit einer bestimmten Zugnummer als zusammengehörende Einheit betrachtet. So werden die Energieverbräuche von einer Fahrt summiert ausgewiesen und mit den jeweils relevanten Betriebsdaten verknüpft. Damit lassen sich der spezifische Verbrauch sowie der Rekuperationsanteil über beliebige Fahrten bestimmen. Zusätzlich bietet die Datenbank Zugriff auf die einzelnen Energieverbrauchsmessungen, womit weitere spezialisierte Analysen möglich sind.

2.2 Beispiel: S-Bahn Re 450092 vom 1. Mai 2004 bis am 7. Mai 2004

Für das bessere Verständnis werden die einzelnen Schritte anhand der Energieverbrauchsmessungen vom Fahrzeug Re 450092 im Zeitraum zwischen 1. Mai 2004 bis und mit 7. Mai 2004 geschildert. In dieser Zeit legte das Fahrzeug gemäss CERES 2394 Kilometer zurück. In Tab. 2.1 sind die wichtigsten Kenngrössen des DPZ-Fahrzeuges⁵ aufgeführt.

Tab. 2.1: Kenngrössen der S-Bahn Zürich vom Typ „DPZ“



Baujahr:	1989 - 1997
Anzahl Kompositionen:	115
Anzahl Wagen:	345
Einsatz:	Regionalverkehr (P), im S-Bahngebiet Zürich
Betriebsnr.:	Re 450 000 – Re 450 114
Anzahl Sitzplätze	387
Leergewicht einer Komposition	222 Tonnen
Bruttogewicht einer Komposition	229.74 Tonnen ⁶
Energieverbrauch	Durchschnitt: 33.5 Wh/Btkm, in Parkstellung 15.6 kW je Wagen ⁷
Betriebliche Reserve	heute: 11 von 115 Zügen
Vorgesehener Einsatz	bis zum Jahr 2030

2.3 Preprocessing Betriebsdaten

Damit die Daten über die Schlüsselgrössen Fahrzeugnummer und Datum/Uhrzeit einander zugeordnet werden können, sind bestimmte Preprocessingschritte notwendig.

2.3.1 Filter nach Zugnummer mit Bestimmung der Gesamtdistanz / mittlerer Haltstellenabstand

Im CERES-Planungssystem sind normalerweise alle Haltestellen aufgeführt. Da die Datenbank die Ebene „Zugfahrt“ als Einheit betrachtet, werden dazwischenliegende Haltestellen weggefiltet und nur noch Start- und Zielort von einer bestimmten Zugnummer als Relationen erwähnt. Während der

⁴ Dies im Gegensatz zum Betriebspalnungssystem CERES der SBB, wo der Datumswechsel grundsätzlich um 3.00 Uhr morgens erfolgt. Dies hat den Vorteil, dass eine Zugnummer pro Tag eineindeutig ist. Von Nachteil ist jedoch die umständlichere Auswertung der Energieverbrauchsdaten.

⁵ DPZ steht für „Doppelstock-Pendel-Zug“. Eine Komposition besteht aus einer Lok Re 450, einem Zwischenwagen B, einem Zwischenwagen AB und einem Steuerwagen Bt.

⁶ Es wird mit einer durchschnittlichen Zuladung von 20kg pro Sitzplatz gerechnet.

⁷ Siehe die Grundlagen von Kurt Gerber, P-OP, (Gerber, 2009) zur Berechnung der Energietrasseepreisen, resp. Menth (2004)

Filterung wird im gleichen Schritt die Gesamtdistanz der Zugfahrt bestimmt und Anzahl Haltestellen vermerkt. Mit diesen beiden Größen lässt sich so der mittlere Haltestellenabstand berechnen. Zudem wird für die Abfahrt wie für die Ankunft ein Zeitstempel mit Angabe von Datum und Uhrzeit erstellt. Ebenfalls wird vermerkt, ob es sich um eine Zugabfahrt oder –ankunft handelt.

Beispiel für Re 450092

In Tab. 2.2 ist ein Ausschnitt aus der Betriebsplanung für das Fahrzeug Re 450092 aufgeführt. Die S-Bahn der Linie S12 startete am 4. Mai 2004 um 21.44 Uhr in Winterthur Seen (WSEE) als Zugnummer 19290, nächste Haltestelle war Winterthur Grüze (WGR). Das Ziel war Brugg (BG) um 22.51 Uhr. Dann wechselte die Zugnummer und die S12 machte sich mit der Zugnummer 19927 auf den Weg nach Winterthur Seen (WSEE).

Gelb hinterlegt sind diejenigen Einträge, welche nicht weiter in der Datenbank verwendet werden.

Tab. 2.2 Auszug aus der CERES-Betriebsplanung für das Fahrzeug Re 450092

Fahr-zeug	Datum	Zug	Von	Nach	Zeit Ab	Zeit An	Km	Anz-Trieb	Tara	Sitz
450092	04.05.2004	19290	WSEE	WGR	21:44:00	21:46:12	1.92	1	222	387
450092	04.05.2004	19290	WGR	...	21:46:42	...	...	1	222	387
450092	04.05.2004	19290	...	...	...	...	...	1	222	387
450092	04.05.2004	19290	...	TG	...	22:46:30	...	1	222	387
450092	04.05.2004	19290	TG	BG	22:47:00	22:51:00	3.84	1	222	387
450092	04.05.2004	19297	BG	TG	23:08:00	23:12:00	3.84	1	222	387
450092	04.05.2004	19297	TG	BD	23:12:30	23:16:42	4.9	1	222	387
450092	04.05.2004	19297	BD	WE	23:17:30	23:19:42	2.27	1	222	387
450092	04.05.2004	19297	WE	NHOF	23:20:18	23:22:06	1.26	1	222	387
450092	04.05.2004	19297	NHOF	KLW	23:22:36	23:25:00	2.89	1	222	387
450092	04.05.2004	19297	KLW	DT	23:25:36	23:29:30	5.2	1	222	387
450092	04.05.2004	19297	DT	GLZB	23:30:06	23:31:54	2	1	222	387
450092	04.05.2004	19297	GLZB	SCHL	23:32:24	23:34:30	1.62	1	222	387
450092	04.05.2004	19297	SCHL	ZAS	23:35:06	23:38:00	3.34	1	222	387
450092	04.05.2004	19297	ZAS	ZHDB	23:40:00	23:42:18	2.24	1	222	387
450092	04.05.2004	19297	ZHDB	ZUE	23:42:48	23:46:00	1.92	1	222	387
450092	04.05.2004	19297	ZUE	ZSTH	23:48:00	23:50:12	1.8	1	222	387
450092	04.05.2004	19297	ZSTH	STET	23:51:06	23:55:30	5.3	1	222	387
450092	04.05.2004	19297	STET	W	23:56:00	00:08:00	18.39	1	222	387
450092	05.05.2004	19297	W	WGR	00:10:00	00:13:30	2.52	1	222	387
450092	05.05.2004	19297	WGR	WSEE	00:14:00	00:17:00	1.92	1	222	387
450092	05.05.2004	25650	WSEE	W	00:24:00	00:30:00	4.44	1	222	387
450092	05.05.2004	25653	W	WSEE	05:30:00	05:35:00	4.44	2	444	774
450092	05.05.2004	19214	WSEE	WGR	05:44:00	05:46:12	1.92	2	444	774
450092	05.05.2004	19214	WGR	W	05:46:42	05:50:00	2.52	2	444	774

Nach dem Ausführen dieses Preprocessingschrittes werden die folgenden Betriebsdaten in Tab. 2.3 für die Datenbank bereitgehalten. Zu beachten ist die zusätzliche Spalte der Anzahl Haltestellen wie auch die summierten Distanzwerte.

Tab. 2.3: Betriebsplanungsdaten CERES nach erstem Preprocessing-Schritt

Start	Fahr-zeug	Datum	Zug	Von	Nach	Zeit Ab	Zeit Bis	Km	Anz-Trieb	Gewicht	Platz	Halte-stellen
Start	450092	04.05.2004	19290	WSEE		21:44:00						
Ziel	450092	04.05.2004	19290	WSEE	BG	21:44:00	22:51:00	61.41	1	222	387	16

Start	450092	04.05.2004	19297	BG		23:08:00			1	222	387	
Ziel	450092	05.05.2004	19297	BG	WSEE	00:14:00	00:17:00	61.41	1	222	387	16
Start	450092	05.05.2004	25650	WSEE		00:24:00			1	222	387	
Ziel	450092	05.05.2004	25650	WSEE	W	00:24:00	00:30:00	4.44	1	222	387	1
Start	450092	05.05.2004	25653	W		05:30:00			2	444	774	
Ziel	450092	05.05.2004	25653	W	WSEE	05:30:00	05:35:00	4.44	2	444	774	1
Start	450092	05.05.2004	19214	WSEE	WGR	05:44:00			2	444	774	

2.3.2 Datumswechsel

Im CERES-Planungssystem wird der Datumswechsel erst um 3.00 Uhr morgens vollzogen. Dies hat einerseits den Vorteil, dass jede Zugnummer an einem Tag eindeutig ist, andererseits werden die Kombination mit anderen Daten (Meteo- und Energieverbrauchsmessungen) und die nachfolgende Auswertung erschwert. Aus diesem Grund wird das Datum von allen CERES-Einträgen zwischen 0.00 Uhr und 3.00 Uhr um einen Tag vorgestellt.

2.3.3 Gewichtzuordnung

Im CERES-System ist jeweils der gesamte Zug mit seinem Gesamtgewicht vermerkt. Wenn eine S-Bahn nun in Doppeltraktion (zwei Kompositionen) fährt, so ist deshalb folgerichtig das Gewicht verdoppelt. Da sich jedoch beide Zugkompositionen die Antriebsleistung hälftig teilen, ist eine Korrektur notwendig. Für jedes Fahrzeug kann in der Energiedatenbank Traktion ein Standardgewicht vermerkt werden: Wenn ein Standardgewicht gesetzt ist (wie beispielsweise die 222 Tonnen für DPZ) dann, überschreibt die Energiedatenbank die vorhandenen Werte mit dem Standardwert. Für Loks der Serie Re 460 (welche in der Regel längenvariable Personenzüge bestehend aus IC2000- oder EWIV-Wagen ziehen) werden die in CERES erfassten Werte weiter verwendet.

Beispiel für Re 450092

In Tab. 2.4 ist ein Ausschnitt aus der Betriebsplanung für das Fahrzeug Re 450092 aufgeführt. Gelb hinterlegt sind die gegenüber Tab. 2.3 veränderten Werte (Einerseits Datumsumstellung: neu um einen Tag vorgestellt und andererseits Korrektur Gewicht für Einfachkomposition).

Tab. 2.4: Betriebsplanungsdaten CERES nach zweitem Preprocessing-Schritt, gelb hinterlegt sind die Änderungen zu Tab. 2.3

Start	Fahr-zeug	Datum	Zug	Von	Nach	Zeit Ab	Zeit Bis	Km	Anz Trieb	Gewicht	Platz	Halte-stellen
Start	450092	04.05.2004	19290	WSEE		21:44:00						
Ziel	450092	04.05.2004	19290	WSEE	BG	21:44:00	22:51:00	61.41	1	222	387	16
Start	450092	04.05.2004	19297	BG		23:08:00			1	222	387	
Ziel	450092	05.05.2004	19297	BG	WSEE	00:14:00	00:17:00	61.41	1	222	387	16
Start	450092	05.05.2004	25650	WSEE		00:24:00			1	222	387	
Ziel	450092	05.05.2004	25650	WSEE	W	00:24:00	00:30:00	4.44	1	222	387	1
Start	450092	05.05.2004	25653	W		05:30:00			2	222	774	
Ziel	450092	05.05.2004	25653	W	WSEE	05:30:00	05:35:00	4.44	2	222	774	1
Start	450092	05.05.2004	19214	WSEE	WGR	05:44:00			2	222	774	

2.3.4 Identifikation des Wochentags

Abschliessend wird für jedes Datum der entsprechende Wochentag bestimmt und in einem eigenen Feld ebenfalls abgespeichert. Damit kann eine Auswertung auch gezielt nach Wochentag ausgeführt werden, z.B: der Einfluss von unterschiedlichen Fahrgastzahlen am Wochenende / unter der Woche.

2.4 Preprocessing Energieverbrauchsdaten

Grundsätzlich sind die beiden Kenngrößen „Bezug vom Fahrdraht“ und „Rekuperation in Fahrdraht“ von Interesse, je nach Fahrzeuge können weitere Daten wie Energieverbrauch der Zugsammelschiene oder Hilfsbetriebe vorhanden sein⁸. Diese erweiterten Daten werden in der „Energiedatenbank Traktion“ nicht weiter verarbeitet.

Grundsätzlich lassen sich zwei Typen von Energiemessgeräten unterscheiden:

- Zählerbasierte Energiemessgeräte speichern jeweils den aktuellen Stand des Energiezählers mit der Uhrzeit ab. Die Energie-Diagnosedaten vom ICN, wie auch der LEM-Zähler bei den Siemens-Zügen der Baureihe RABe 514 („DTZ“) sind nach diesem Prinzip aufgebaut (siehe Anhang 4.1.1). Die Datenbank muss in diesem Fall die Differenz zwischen zwei Zustandsmessungen als Verbrauchsperiode berechnen und einer entsprechenden Periode zuweisen.⁹
- Die verbrauchsisierten Energiemessgeräte (TEMA-Boxen) integrieren den Energiebezug (resp. die zurückgespeisene Energie) zeitlich über eine definierte Dauer¹⁰. Bei wenigen Messgeräten beträgt das Intervall 5 Minuten, bei den meisten sind standardmäßig 15 Minuten als Intervall vorgesehen. Alle Fahrzeuge, welche in Deutschland verkehren, sind für Abrechnungszwecke zu Handen von DB Energie mit TEMA-Boxen ausgerüstet.

2.4.1 Identifikation des Fahrzeugzustandes (fährt / steht still)

Durch die Analyse der Energieverbrauchsdaten lässt sich feststellen, ob das Fahrzeug still steht oder fährt. Bei einem Fahrzeug des Regionalverkehrs wird beim Fahren in einem Intervall von mindestens 5 Minuten mit grosser Wahrscheinlichkeit Energie zurückgespeist. Also kann im Regionalverkehr bereits aus den Energieverbrauchsdaten der Zustand des Fahrzeuges definiert werden: Wenn die rekupierte Energie grösser als Null ist, so wird das Fahrzeug als fahrend angesehen.¹¹ Im Fern- wie Güterverkehr kann allerdings auch

Beispiel für Re 450092

In Tab. 2.2 ist ein Ausschnitt aus den TEMA-Box-Daten des Fahrzeuges Re450092 für den entsprechenden Zeitraum aufgeführt. Zur Erinnerung: Die S-Bahn der Linie S12 startet am 4. Mai 2004 um 21.44 Uhr in Winterthur Seen (WSEE) als Zugnummer 19290, nächste Haltestelle ist Winterthur Grüze (WGR). Das Ziel ist Brugg (BG) um 22.51 Uhr. Dann wechselt die Zugnummer und die S12 macht sich mit der Zugnummer 19927 auf den Weg nach Winterthur Seen (WSEE).

In der letzten Spalte wird vermerkt, ob der Zug fährt oder nicht. Dabei steht eine Eins für „fahrend“, eine Null für „stehend“.

⁸ Im Falle der Diagnosedaten von ICN oder des Selectron-Systemes wären prinzipiell auch weitere Zustandsanalysen möglich (z.B. „Zug fährt schneller als 40km/h“ oder „Parkstellung ist eingeschaltet“). Im Rahmen der Energiedatenbank Traktion wird aber auf eine gesonderte Behandlung verzichtet. Die Preprocessing-Schritte der Energieverbrauchsdaten werden bei Daten von allen Fahrzeugen vollzogen, durch unterschiedliche Datenformate der Energiemessdaten der Fahrzeuge ergeben sich leichte Abweichungen.

⁹ Im Fall des LEM-Zählers müssen weiter auch Aufzeichnungen von Türstörungen usw. vor Einlagerung in die Datenbank gefiltert und entfernt werden. Dieser Preprocessingschritt wird im Manual zu Handen der Energiedatenbank Traktion beschrieben.

¹⁰ Die meisten Zähler summieren direkt die bezogene / rekupierte Energie, einige Messgeräte geben jedoch stattdessen die mittlere bezogene Leistung über das entsprechende Intervall an.

¹¹ Diese Informationen werden für die weitere Analyse gebraucht: Wenn das Fahrzeug fährt und kein CERES-Eintrag vorliegt, zählt die Fahrt als Rangierfahrt. Wenn das Fahrzeug still steht und ein CERES-Eintrag besteht, zählt der Stillstand als Vorbereitung zur Fahrt. Wenn das Fahrzeug still steht und kein CERES-Eintrag vorliegt, wird der Zug als geparkt angesehen.

Tab. 2.5: Energieverbrauchsmessung vom Fahrzeug Re 450092

Datum	Uhrzeit	Bezug / kWh	Rückspeisung / kWh	Zug fährt
04.05.2004	21:40	5.7	0	0
04.05.2004	21:45	16.7	1.3	1
04.05.2004	21:50	18.5	18	1
04.05.2004	21:55	72.5	0	0
04.05.2004	22:00	52.8	5.4	1
04.05.2004	22:05	44.9	34.2	1
04.05.2004	22:10	16.8	24.3	1
04.05.2004	22:15	33.8	4	1
04.05.2004	22:20	36.6	35.8	1
04.05.2004	22:25	54.5	27	1
04.05.2004	22:30	56.2	30.4	1
04.05.2004	22:35	87.1	23.8	1
04.05.2004	22:40	35.4	31.5	1
04.05.2004	22:45	53.9	15.2	1
04.05.2004	22:50	37	26.7	1
04.05.2004	22:55	6.3	9.4	1
04.05.2004	23:00	5.5	0	0
04.05.2004	23:05	4.9	0	0
04.05.2004	23:10	11.7	0.3	1
04.05.2004	23:15	77.6	11.2	1
04.05.2004	23:20	50.9	19	1
04.05.2004	23:25	64.6	12.4	1
04.05.2004	23:30	62.8	37	1
04.05.2004	23:35	61.6	18.5	1
04.05.2004	23:40	46.1	27.5	1
04.05.2004	23:45	51.6	14	1
04.05.2004	23:50	24.7	15.9	1
04.05.2004	23:55	66.9	19.2	1
05.05.2004	00:00	93.9	14.5	1
05.05.2004	00:05	54.1	10.3	1
05.05.2004	00:10	5.5	30.2	1
05.05.2004	00:15	28.9	3.5	1
05.05.2004	00:20	32.3	5.7	1
05.05.2004	00:25	26.9	8.2	1
05.05.2004	00:30	5.2	7.6	1
05.05.2004	00:35	8.9	0	0
05.05.2004	00:40	6.5	0	0
05.05.2004	00:45	3.4	0	0
05.05.2004	00:50	1.6	0	0
05.05.2004	00:55	1.5	0	0
05.05.2004	01:00	1.8	0	0

2.5 Meteodaten

Aus den Arbeiten von Fanta et al. (2003) und Menth (2004) ist bekannt, dass tiefere Temperaturen zu einem höheren spezifischen Verbrauch führen (Eine Aussentemperatur von 5°C statt 10°C ergab für die beiden Fahrzeuge Re 450092 und Re 450098 einen erhöhten Bedarf von 33 Wh/Btkm statt etwa 29 Wh/Btkm). Somit sind regionale Unterschiede relevant und es müssen verschiedene meteorologische Stationen berücksichtigt werden.

In der Energiedatenbank Traktion werden die Meteo-Werte von Basel/Binningen, Nyon/Changins, Zürich/Fluntern und Magadino/Cadenazzo verwendet (siehe Abbildungen)¹². Die Meteowerte vom 1. Januar 2004 bis am 30. September 2009 wurden als Stundendurchschnittswerte von MeteoSchweiz bezogen und in die Energiedatenbank Traktion ohne weitere Schritte integriert. Folgende Parameter sind für jeden Standort verfügbar:

- Durchschnittstemperatur (tre200h0)
- Globalstrahlung (gre000h0)
- Durchschnittlicher Niederschlag (rre150h0)

¹² MeteoSchweiz misst an 66 automatischen Stationen in der Schweiz die wichtigsten meteorologischen Größen im 10-Minutenrhythmus. Allerdings differieren die relevanten Parameter wie Temperatur und Globalstrahlung zwischen den einzelnen Stationen nur wenig, so dass mit den vier vorgeschlagenen Stationen ein guter Kompromiss zwischen Abdeckung und Genauigkeit erreicht werden konnte.

Abb. 2.2: Berücksichtigte Stationen von MeteoSchweiz in der Energiedatenbank Traktion


 Schweizerische Eidgenossenschaft
 Confédération suisse
 Confederazione Svizzera
 Confederaziun svizra



Code	Name der Station	Länge	Breite	Koordinaten	Höhe	Region
BAS	Basel / Binningen	7°35'	47°32'	610'850	265'620	Raum Basel, Nordwestschweiz
CGI	Nyon / Changins	6°14'	46°24'	507'280	139'170	430 Westschweiz
MAG	Magadino / Cadenazzo	8°53'	46°10'	715'475	113'162	203 Tessin
SMA	Zürich / Fluntern	8°34'	47°23'	685'125	248'090	Raum Zürich

Tab. 2.6: Gespeicherte Meteowerte für den Abend vom 4. Mai 2004

Zeit	BAS tre200h0	BAS gre00h0	BAS rre150h0	CGI tre200h0	CGI gre00h0	CGI rre150h0	SMA tre200h0	SMA gre00h0	SMA rre150h0	MAG tre200h0	MAG gre00h0	MAG rre150h0
20.40 Uhr	13.3	0	0	10.6	0	0.8	10.2	0	0.4	12.2	0	1
21.40 Uhr	11.5	-2	0.2	10.2	1	0.3	10.2	1	0	12	1	1.6
22.40 Uhr	10.8	-1	0.2	10	0	0	10.3	0	0.5	11.8	0	2.3
23.40 Uhr	10	0	0.8	10	0	0.9	9.8	0	0.2	11.4	0	2.2
0.40 Uhr	9.8	0	1	9.5	-2	0.1	8.6	0	0.3	10.9	1	2.4
1.40 Uhr	9.4	1	2	8.7	1	0.3	8.3	0	0	10.8	0	3.5
2.40 Uhr	9.1	1	1.1	8.3	0	0.5	7.9	0	0.1	10.5	1	3.5
3.40 Uhr	8.7	1	1	7.6	0	0.8	7.3	0	0.4	10.3	0	3.7
4.40 Uhr	8.6	1	2.5	7.3	3	0.5	7	3	0.7	10	1	8.7
5.40 Uhr	8.6	12	2.6	7.6	18	0.7	6.9	11	1.4	9.9	9	6.9
6.40 Uhr	8.6	27	1.6	7.2	42	0.5	7	21	2.2	9.9	13	6.6

Beispiel für Re 450092

In

Tab. 2.6 sind die in der Energiedatenbank Traktion gespeicherten Meteowerte für den Abend und die Nacht am 4. Mai 2004 abgebildet. Es gibt kleinere Unterschiede zwischen den einzelnen Stationen, so

ist beispielsweise die Temperatur in Basel und im Tessin am Abend rund 2°C wärmer als in Lausanne / Zürich. Zudem regnet es im Tessin wesentlich stärker als nördlich der Alpen.¹³

2.6 Datenzuordnung

Die gegenseitige Datenzuordnung für die anschliessende Präsentation beinhaltet drei Schritte: Zuerst werden die Daten in eine gemeinsame Tabelle kopiert, in einem zweiten Schritt werden die Energieverbrauchs- und Meteodaten in den Betriebsplanungsdaten integriert. In einem dritten Schritt folgt die Berechnung von Kenngrössen und die Zuordnung des Wochentages.

2.6.1 Datenhaltung in einer Tabelle

Die Betriebsplanungswerte (CERES), die Energieverbrauchswerte, sowie die Meteodaten werden nach den erfolgten Preprocessingschritten in eine Tabelle geladen. Alle Daten werden jeweils mit einem Code versehen, dabei werden folgende Buchstaben verwendet:

- Code S: Start einer Fahrt (aus den Betriebsplanungsdaten)
- Code Z: Ziel einer Fahrt (aus den Betriebsplanungsdaten, inkl. der total zurückgelegten Strecke seit dem Start und der Anzahl Haltestellen (siehe Abschnitt 2.3.1))
- Code E: E steht für Energieverbrauchsdaten
- Code M: Die Meteodaten werden mit einem M versehen, das Intervall beträgt jeweils eine Stunde zwischen zwei Messdaten.

2.6.2 Integration der Energieverbrauchs- und Meteodaten in Betriebsplanungsdaten

Im nächsten Schritt werden die Energieverbrauchs- und Meteodaten in die CERES-Daten integriert. Dazu werden alle Daten für ein bestimmtes Fahrzeug (Fahrzeugnummer) zeitlich aufsteigend sortiert aus der Datenbank gelesen und in einer temporären Tabelle gespeichert. Nun wird jeder Datensatz der Reihe nach durchgegangen und nach folgenden Regeln verfahren:

- Wenn der Code M ist, so speichere jeden Meteowert in den lokalen Meteo-Variablen.
- Bei einem S für Start, setze die beiden lokalen Variablen „Energiezähler Bezug“ und „Energiezähler Rekuperation“ auf Null.
- Falls der Code E ist, so addiere die Energiewerte für Bezug und Rekuperation zu den beiden lokalen energiezählervariablen.
- Wenn ein Zug am Ziel ankommt (Code Z), so schreibe die lokalen Energiezählervariablen und die lokalen Meteodaten in die entsprechenden Felder des Datensatzes.

Mit diesen Zuordnungsvorschriften können beliebige Daten miteinander kombiniert werden und stehen für die nachfolgende Analyse bereit.

Beispiel Re 450092

In Tab. 2.7 ist die Tabelle in der Form abgebildet, wenn die beiden obenstehenden Schritte ausgeführt werden. Die Tab. 2.8 zeigt die nach Code Z¹⁴ gefilterten Daten. Zu beachten ist, dass nun alle Energieverbrauchsdaten summiert wie auch die Meteodaten im gleichen Datensatz vorliegen.

¹³ Regen hat vor allem auf die Rekuperationsfähigkeit der Fahrzeuge einen Einfluss. Da die Haftreibung der Räder auf nassen Schienen vermindert ist, wird nach Einschätzung von Stefan Menth (mündliche Mitteilung am 28. September 2009) bis zu einem Drittel weniger Energie rekuperiert.

¹⁴ Z steht für Zielankunft und wird als Zeitstempel aus den CERES-Daten generiert, siehe Tabelle bei 2.3.1

Tab. 2.7: Ausschnitt aus Mastertabelle mit allen Daten (Energie- / Betriebsplanungs- / Meteodata, Zug Re 450092 am 4. Mai 2004)

Cod e	FzgNr.	ZugNr.	Zeit Ankunft	Tag	Start	Ziel	Distan z	Halte- stellen n	Wage	Gew.	Btkm	Sitz- plätze	Bezug tot.	Rek. tot.	fährt	T Bas	S Bas	N Bas	T Zür	S Zür	N Zür	T Genf	S Genf	N Genf	T Mag	S Mag	N Mag
E	450092		2004-05-05 00:10:00 UTC										5.5	30.2													
E	450092		2004-05-05 00:15:00 UTC										28.9	3.5													
E	450092		2004-05-05 00:20:00 UTC										32.3	5.7													
S	450092	25650	2004-05-05 00:24:00 UTC	Wednesday	WSEE																						
E	450092		2004-05-05 00:25:00 UTC										26.9	8.2													
E	450092		2004-05-05 00:30:00 UTC										5.2	7.6													
Z	450092	25650	2004-05-05 00:30:00 UTC	Wednesday	WSEE	W	4	0	1	222	888	387	32.1	15.8	10	0	0.8	9.8	0	0.2	10	0	0.9	11.4	0	2.2	
E	450092		2004-05-05 00:35:00 UTC										8.9	0	1												
E	450092		2004-05-05 00:40:00 UTC										6.5	0	1												
M			2004-05-05 00:40:00 UTC												9.8	0	1	8.6	0	0.3	9.5	-2	0.1	10.9	1	2.4	
E	450092		2004-05-05 00:45:00 UTC										3.4	0	1												
E	450092		2004-05-05 00:50:00 UTC										1.6	0	1												

Tab. 2.8: Nach Code Z gefilterte Werte der Mastertabelle (Fahrt von Re 450092 am 4./5. Mai 2004)

Cod e	FzgNr.	ZugNr.	Zeit Ankunft	Tag	Start	Ziel	Distan z	Halte- stellen n	Wage	Gew.	Btkm	Sitz- plätze	Bezug tot.	Rek. tot.	kWh / Btkm	T Bas	S Bas	N Bas	T Zür	S Zür	N Zür	T Genf	S Genf	N Genf	T Mag	S Mag	N Mag
Z	450092	19285	2004-05-04 21:17:00 UTC	Tuesday	W	WSEE	4	1	1	222	888	387	44.9	4	0.046 1	13.3	0	0	10.2	0	0.4	10.6	0	0.8	12.2	0	1
Z	450092	19290	2004-05-04 22:51:00 UTC	Tuesday	WSEE	BG	61	15	1	222	13542	387	616.7	277.6	0.025	10.8	-1	0.2	10.3	0	0.5	10	0	0	11.8	0	2.3
Z	450092	25650	2004-05-05 00:30:00 UTC	Wednesday	WSEE	W	4	0	1	222	888	387	32.1	15.8	0.018 4	10	0	0.8	9.8	0	0.2	10	0	0.9	11.4	0	2.2
Z	450092	25653	2004-05-05 05:35:00 UTC	Wednesday	W	WSEE	4	0	2	222	888	387	55	0	0.061 9	8.6	1	2.5	7	3	0.7	7.3	3	0.5	10	1	8.7
Z	450092	19214	2004-05-05 05:46:12 UTC	Wednesday	WSEE	WGR	1	0	2	222	222	387	22.6	0.1	0.101 4	8.6	12	2.6	6.9	11	1.4	7.6	18	0.7	9.9	9	6.9

2.6.3 Filterung nach freien Kriterien und Berechnung von Kenngrößen

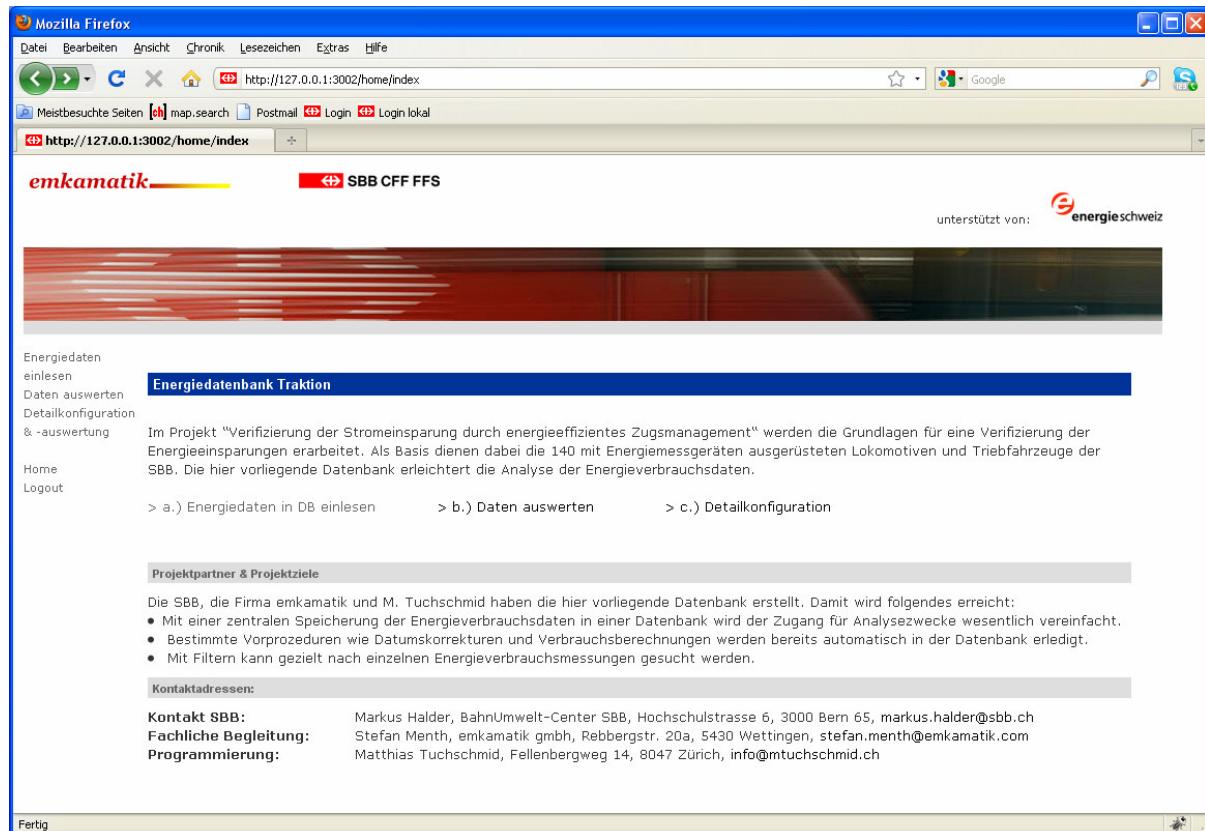
Im letzten Schritt kann die obenstehende Tabelle („Mastertabelle“) frei nach beliebigen Kriterien gefiltert werden. Die erhaltenen Werte werden angezeigt, zusätzlich werden folgende Kennwerte on-the-fly aus den gefilterten Werten berechnet und als Resultat gleichfalls angezeigt:

- **Anteil Rekuperation:** der Anteil der Rekuperation berechnet sich aus der Gesamtsumme der zurückgespiesenen Energie geteilt durch die Gesamtmenge an bezogener Energie vom Fahrdrift. Üblicherweise liegt dieser Wert für eine grösere Anzahl an Fahrten im Personenverkehr zwischen 25% und 35%.
- **Durchschnittlicher Verbrauch:** der durchschnittliche Verbrauch pro Btkm errechnet sich aus dem Gesamtverbrauch minus Gesamtrekuperation geteilt durch die Summe der Transportleistung in Bruttotonnenkilometer.

3 Übersicht der realisierten Lösung

Die im Abschnitt 2 beschriebene Lösung wurde zwischen Juni und September 2009 umgesetzt. Durch die Nutzung von Webtechnologien (im Gegensatz zu lokalen Office-Produkten) lassen sich die beschriebenen Ziele mit einem relativ geringen Aufwand erreichen.

Abb. 3.1: Startbildschirm der Energiedatenbank nach Login (passwortgeschützt)



3.1 Programmierung und Technik

Die Datenbank wurde mittels des Webentwicklungsframework „Ruby on Rails“ entwickelt.¹⁵ Als Programmierumgebung wurde Aptana Studio Professional eingesetzt, die RadRails-Perspektive hilft durch Syntaxhervorhebungen und semiautomatischem Vervollständigung des Codes. Zudem kann durch die Nutzung des Aptana-Cloud-Services die lokal entwickelte Datenbank auf realen Produktionsservern getestet werden.

¹⁵ Ruby on Rails ist eine weit verbreitete Opensource-Lösung und wird in vielen internetbasierten Projekten eingesetzt. Ruby on Rails bietet viele Möglichkeiten für Erweiterungen und ist vollständig plattformunabhängig. Die dem Webserver zugrunde liegende Datenbank kann durch eine einfache Konfiguration beliebig ausgetauscht werden, ohne dass eine Neuprogrammierung notwendig wird (Ruby on Rails kann mit MySQL, PostgreSQL, SQLite und weiteren Datenbanken eingesetzt werden).

Zudem kann eine auf Ruby on Rails basierende Applikation bequem auf dem eigenen Laptop wie auch Internetbasierend ohne veränderte Konfiguration betrieben werden. In der Regel werden Bugfixes (z.B. gegen kritische Sicherheitslücken) innerhalb kürzester Zeit durch die grosse Entwicklergemeinde bereitgestellt.

3.2 Demonstration der realisierten Lösung

Abb. 3.2: Import von Energieverbrauchsdaten in die Energiedatenbank Traktion

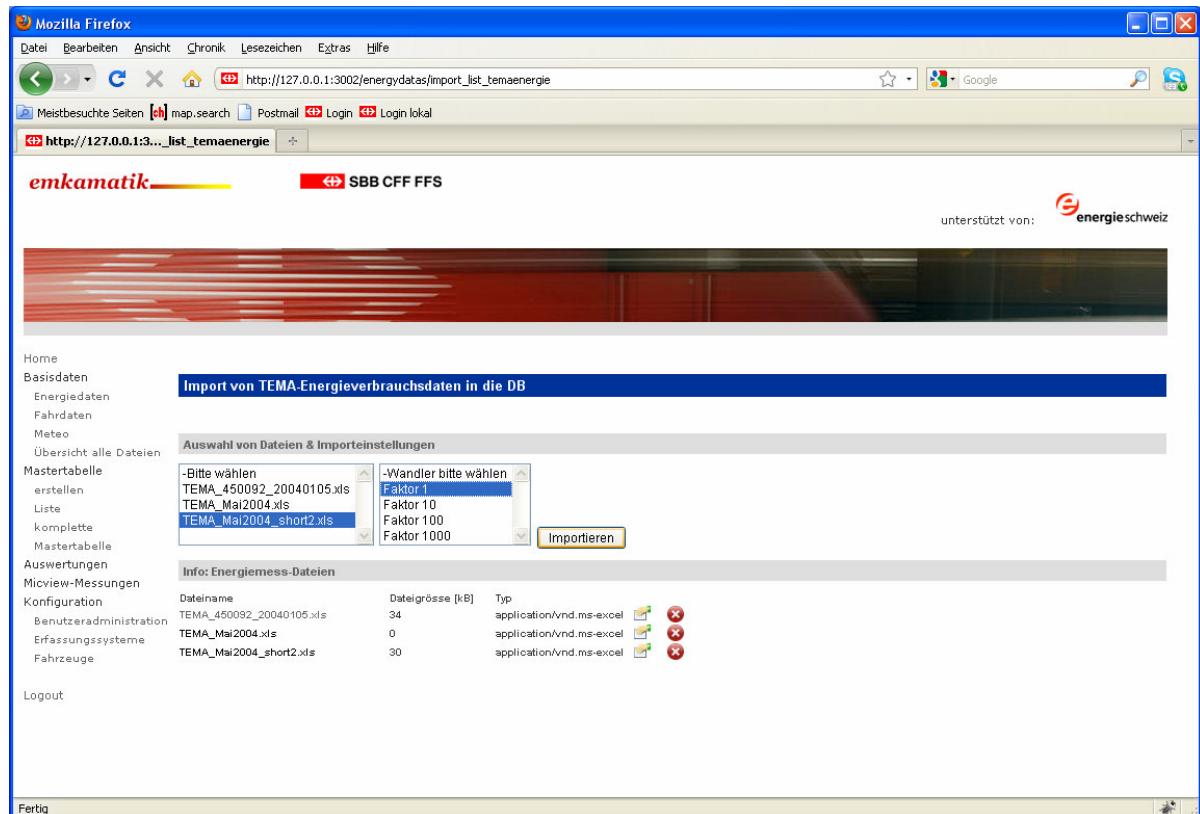


Abb. 3.3: Upload von neuen Daten, zwingend angegeben werden muss der Datei-Typ (TEMA-Zähler, LEM-Zähler, CERES-Betriebsdaten oder Meteo-Daten) sowie die Zuordnung zu einem Fahrzeug. Optional kann noch ein Kommentar zur Datei angegeben werden.

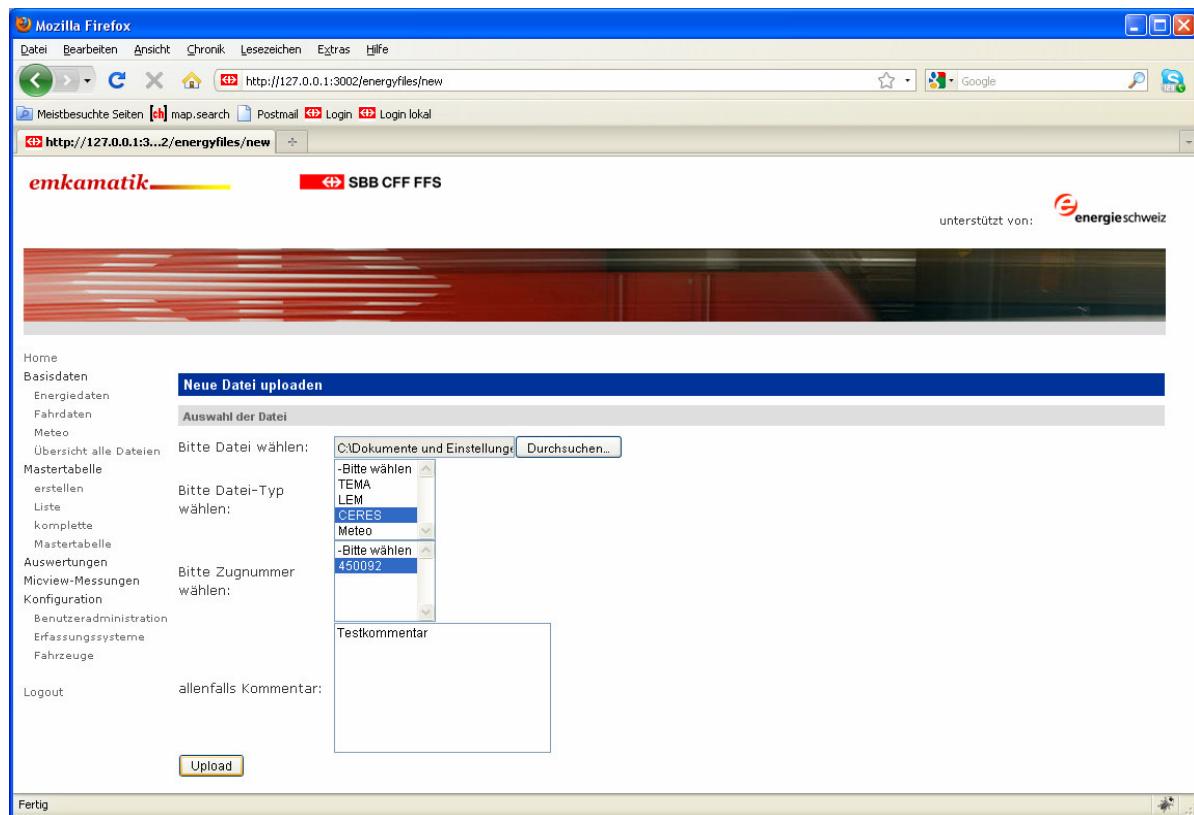


Abb. 3.4: Übersicht der Ergebnisse, diese können nach Zugnummer, Start und Zielrelation gefiltert werden. Damit lassen sich beispielweise alle Daten auf einen Mausklick selektieren, welche die Abfahrtsrelation Zürich haben.

Masterabelle																												
	Zugnummer	Start	Ziel																									
				<input type="button" value="suchen"/>																								
Displaying all 6																												
erstellen	Code FzgNr. ZugNr. Zeit Ankunft	Tag	Start	Ziel	Distanz	Halte- stellen	Wagen	Gew.	Bkkm	Sitz- plätze	Bezug	Rek.	%	kWh /	T	S	N	T	S	N	T	S	N					
Liste											tot.	tot.																
komplette	Z 450092 19297 2004-05-04 UTC	Tuesday	BG	WSEE	61.0	15	1	222	13542	387	0.0	0.0	NaN	0.0	11.9	-1.0	0.0	12.4	0.0	0.0	10.8	-2.0	0.2	9.8	1.0	0.4		
Masterabelle																												
Auswertungen	Z 450092 19285 2004-05-04 UTC	Tuesday	W	WSEE	4.0	1	1	222	888	387	44.9	4.0	9.0	0.0461	13.3	0.0	0.0	10.2	0.0	0.4	10.6	0.0	0.8	12.2	0.0	1.0		
Micview-Messungen																												
Konfiguration	Z 450092 19290 2004-05-04 UTC	Tuesday	WSEE	BG	61.0	15	1	222	13542	387	616.7	277.6	45.0	0.025	10.8	-1.0	0.2	10.3	0.0	0.5	10.0	0.0	0.0	11.8	0.0	2.3		
Benutzeradministration																												
Erfassungssysteme	Z 450092 25650 2004-05-05 UTC	Wednesday	WSEE	W	4.0	0	1	222	888	387	32.1	15.8	49.0	0.0184	10.0	0.0	0.8	9.8	0.0	0.2	10.0	0.0	0.9	11.4	0.0	2.2		
Fahrzeuge																												
Logout	Z 450092 25663 2004-05-05 UTC	Wednesday	W	WSEE	4.0	0	2	222	888	387	55.0	0.0	0.0	0.0619	8.6	1.0	2.5	7.0	3.0	0.7	7.3	3.0	0.5	10.0	1.0	8.7		
	Z 450092 19214 2004-05-05 UTC	Wednesday	WSEE	WGR	1.0	0	2	222	222	387	22.6	0.1	0.0	0.1014	8.6	12.0	2.6	6.9	11.0	1.4	7.6	18.0	0.7	9.9	9.0	6.9		

Abb. 3.5: Zugang zu allen Detaildaten: diese Tabelle kann zusätzlich auch noch nach dem Code E, M, Z oder S gefiltert werden. Alle aus der Datenbank ausgelesenen Daten können nach Excel exportiert werden.

Masterabelle																													
	Code	Zugnummer	Start	Ziel																									
					<input type="button" value="suchen"/>																								
Displaying 151 - 200 of 316 in total																													
erstellen	Code FzgNr. ZugNr. Zeit Ankunft	Tag	Start	Ziel	Distanz	Halte- stellen	Wagen	Gew.	Bkkm	Sitz- plätze	Bezug	Rek.	%	kWh /	T	S	N	T	S	N	T	S	N						
Liste											tot.	tot.																	
komplette	E 450092 00:10:00 UTC										5.5	30.2																	
Masterabelle																													
Auswertungen	E 450092 00:15:00 UTC										28.9	3.5																	
Micview-Messungen	E 450092 00:20:00 UTC										32.3	5.7																	
Konfiguration	S 450092 25650 2004-05-05 UTC	Wednesday	WSEE																										
Benutzeradministration																													
Erfassungssysteme	E 450092 00:25:00 UTC										26.9	8.2																	
Fahrzeuge	E 450092 00:30:00 UTC										5.2	7.6																	
Logout	Z 450092 25663 2004-05-05 UTC	Wednesday	WSEE	W	4.0	0	1	222	888	387	32.1	15.8			10.0	0.0	0.8	9.8	0.0	0.2	10.0	0.0	0.9	11.4	0.0	2.2			
	Z 450092 19214 2004-05-05 UTC	Wednesday	WSEE	WGR	1.0	0	2	222	222	387	22.6	0.1	0.0	0.1014	8.6	12.0	2.6	6.9	11.0	1.4	7.6	18.0	0.7	9.9	9.0	6.9			
	Z 450092 00:35:00 UTC										8.9	0.0	1																
	Z 450092 00:40:00 UTC										6.5	0.0	1																
	Z 450092 00:45:00 UTC										3.4	0.0	1																

Abb. 3.6: Für erfahrene Benutzer bietet die Datenbank individuelle Einstellmöglichkeiten und die gezielte Wahl von einzelnen Preprocessingschritte.

The screenshot shows a Mozilla Firefox browser window displaying the 'emkamatik' software interface at <http://127.0.0.1:3002/mastertables>. The title bar includes the SBB CFF FFS logo. The page header features 'emkamatik' and 'SBB CFF FFS' with a banner for 'energieschweiz'. On the left, a sidebar lists navigation items: Home, Basisdaten, Energiedaten, Fahrdaten, Meteo, Übersicht alle Dateien, Mastertabelle erstellen, Liste komplette, Mastertabelle Auswertungen, Micview-Messungen, Konfiguration, Benutzeradministration, Erfassungssysteme, Fahrzeuge, and Logout. The main content area displays a message: 'Insgesamt wurden 134 Energieverbrauchsdaten in die Mastertabelle kopiert.' Below this, a blue header bar reads 'Kopieren der verschiedenen Daten in die Mastertabelle'. Three numbered steps are listed: 1. Einkopieren der Energiedaten (with 'Energiedaten in Mastertabelle kopieren' and 'Energiedaten importieren' buttons), 2. Fahrdaten (CERES/CIS) importieren (with 'Fahrdaten in Mastertabelle kopieren' and 'Fahrdaten importieren' buttons), and 3. Daten kombinieren (with 'Fahr- mit Energie- & Meteodaten in Mastertabelle kombinieren' and 'Fahrdaten kombinieren' buttons). At the bottom, there are links: '> Liste anzeigen', '> komplette Liste anzeigen', and '> alle Daten löschen'. A 'Fertig' button is at the bottom left.

4 Anhang

4.1 Systeme für Energieverbrauchsmessungen Traktion Bahn

4.1.1 LEM-Zähler (DTZ)

Die Firma LEM hat einen speziell für den Bahnbereich konzipierten Energiezähler entwickelt: EM4T (Energy Meter For Traction). Die Grundvariante des LEM-Zählers kann gemäss Herstellerangaben an allen verfügbaren Bahnnetzen eingesetzt (600 V bis 3000 V DC, 15 kV / 16,7 Hz & 25 kV / 50 Hz AC) werden. An den Eingangsschnittstellen können gängigen Strom- und Spannungswandler/transformatoren angeschlossen werden. Der Energiezähler speichert die aufgenommene und rückgespeiste Energie in einem Lastspeicher.

Tab. 4.1: Übersicht LEM-Messgeräte

Anzahl ausgerüstete SBB-Fahrzeuge	Gemäss Mitteilung von Kurt Gerber sind insgesamt fünf Messgeräte auf Fahrzeugen der Baureihe RABe 514 xxx installiert.		
Fahrzeugtyp	RABe514 (DTZ)	Nr.	514102, 514103, weitere
Bezeichnung Messgerät	EM4T der Firma LEM ¹⁶		
Abbildung			
Messtoleranz / Standardabweichung	laut Hersteller gibt es 3 verfügbare Genauigkeitsklassen mit max. 1%, 0,5% und 0,2% Abweichung, die genaue Messtoleranz ist nicht bekannt.		
Art der Messung	Kontinuierlicher Datenlogger mit laufend fortschreitendem Zähler für bezogene und rückgespeiste Energie und aktueller Uhrzeit		
Messintervall	15 Minuten ¹⁷		
Datenformat	Excel		
Geschätzte Datengrösse von einem Fahrzeug über ein Jahr	4.8 Mb		

4.1.2 TEMA-Energiedaten (DPZ, FLIRT)

Mit dem Projekt "Traktions-Energie-Messung und Abrechnung" (TEMA) hat DB Energie bereits im Jahr 2001 ein System zur Erfassung und Abrechnung des Energieverbrauchs von elektrischen Triebfahrzeugen eingeführt. Dieses System wird bei Bahnen der DB angewendet, wie auch bei Bahnen welche auf dem Netz von DB Energie unterwegs sind. Heute sind rund 6'000 Fahrzeuge mit der TEMA-Box ausgerüstet (ITF EDV, 2005).

Das Gesamtsystem zur Erfassung und Verarbeitung der Energieverbrauchsdaten von elektrischen Triebfahrzeugen besteht aus den Hauptkomponenten:

¹⁶ Weitere Details unter <http://www.lem.com/hq/de/content/view/280/363/>

¹⁷ kann laut dem Hersteller variabel von 1 bis 60 Minuten eingestellt werden

- Energiemesseinrichtung auf den Triebfahrzeugen (TEMA-BOX)
- System zur Zählerfernauslesung (ZFA-F)
- Energiedatenmanagementsysteme
- Abrechnungssystem / EIS System
- Energiedatenanalyse

Der Zähler erfasst die Verbrauchsdaten in Form eines Lastprofils, d.h., es wird jede Viertelstunde der Energieverbrauch abgespeichert, der innerhalb dieser Viertelstunde angefallen ist. Für die Analyse des Fahrverhaltens wird optional auch 5 Minuten als Messperiode verwendet.

Die abgespeicherten Lastprofilwerte werden über GSM-Funk an eine zentrale Leitstelle (ZFA-F) bei der DB Energie übertragen. Die Leitstelle fragt täglich die Lastprofildaten automatisiert ab und speichert dann die Rohdaten in einer Datenbank. Die Datenübertragung erfolgt hierbei in der Regel während des Fahrbetriebs. Die Daten werden aufbereitet und automatisch über eine Schnittstelle an ein Abrechnungssystem geliefert.

Tab. 4.2: Übersicht TEMA-Messgeräte

Anzahl ausgerüstete SBB-Fahrzeuge	> 100 Fahrzeuge		
Fahrzeuge Personenverkehr	Re 450 (DPZ)	Nr.	450'092, 450'098
	RBDe 560 (NPZ)	Nr.	560'022
	RBDe 561 (NPZ D)	Nr.	561'001
	RABe 526 (Flirt Seehas)		9 Züge à 2 Zähler
Fahrzeuge Güterverkehr ¹⁸	Re 421		26 Stück
	Re 620		8 Stück
	Re 482.0		35 Stück
	Re 482.1		15 Stück
	Re 484		21 Stück
Bezeichnung Messgerät	TEMA-BOX entwickelt von DB Energie GmbH mit Partnern (ITF-EDV Fröschl GmbH ¹⁹)		

Abbildung



Art der Messung	Kontinuierlicher Datenlogger mit interner Verrechnung der bezogenen und rückgespeisten Energie
Messintervall	15 Minuten für Abrechnungszwecke; 5 Minuten für Energieanalyse
Datenformat	Excel
Geschätzte Datengröße von einem Fahrzeug über ein Jahr	3.6 Mb
Bemerkungen	Achtung, je nach TEMA-Boxen sind unterschiedliche Messwandler implementiert (100Wh, kWh oder MWh als Messgrößen). Jede TEMA-Box trägt eine eindeutige Identifikationsnummer.

¹⁸ Alle Lokomotiven und Triebzüge welche in Deutschland verkehren, müssen mit TEMA-Boxen ausgerüstet sein.
¹⁹ Weitere Details unter http://www.itf-edv.de/de/produkte/presseberichte/App_note_DBE_de_4_2.pdf

4.1.3 DDS-Energiedaten (Re 460, RABe 520, ICN)

Eine prinzipiell andere Möglichkeit besteht in moderneren Fahrzeugen mit integriertem Bordrechner. Diese Fahrzeuge erlauben eine Energieverbrauchserfassung aus Prozessdaten in der Fahrzeugleittechnik. Die Erfassungsgenauigkeit wird als ausreichend für den Verwendungszweck eingeschätzt. Diese Protokollierung wurde auf der Re 460 wie auf dem ICN mittels sogenannten Energiezähler-DDS realisiert. Auf der Re 460 werden vier verschiedene Energiegrößen registriert (Fanta & Wegmüller, 2003):

- Energiebezug ab Fahrdraht,
- Energierückgabe durch Rekuperation in den Fahrdraht,
- Energieverbrauch der Hilfsbetriebe der Lokomotive sowie
- Energieverbrauch der Zugsammelschiene.

Bei den DDS handelt es sich um Diagnosedaten, die im Fall von besonderen Ereignissen (wie Störungen) definierte Umfelddaten (z.B. Betriebszustand der Lok, Kilometerstand etc.) in einem Diagnosespeicher nichtflüchtig abgespeichert können. Dieser Speicher kann von ausgebildetem Wartungspersonal periodisch ausgelesen werden, im Fall des ICN können die Daten via Mitrac-Orbita-System von der Ferne abgefragt werden. Das Mitrac-Orbita-System besteht aus zwei einander ergänzenden Produkten von Bombardier (2009):

- *Leit- & Kommunikationstechnik MITRAC TCMS* integriert den Datenfluss sämtlicher, mit den Fahrzeugrechnern verbundenen bordeigenen Diagnose- und Betriebszustandsüberwachungssysteme für Bremsen, Antrieb und Stromversorgung, Kommunikation und Zugsicherung. Das System basiert auf standardisierten Schnittstellen und einer offenen Systemarchitektur, ist funktional erweiterbar und upgrade-fähig. MITRAC TCMS beherrscht alle gängigen Standards der Datenfernübertragung wie beispielsweise GSM, GPRS, UMTS, WIMAX, WiFi und Satellitennavigation.
- *Wartungsinstrument ORBITA*: Basierend auf den Mitrac-Daten hat Bombardier ein System entwickelt, welche Diagnoseinformationen in „Echtzeit“ dem Betreiber übermitteln und am Bildschirm darstellen. So können Wartungsarbeiten besser geplant, Wartungspläne verbessert und die Ersatzteilplanung optimiert werden. Und weiter wird ORBITA genutzt, um den Energieverbrauch „in Echtzeit“ zu analysieren.

Für die Berechnung des Energieverbrauchs eines Zuges auf einer bestimmten Strecke werden jeweils die Zählerstände der vier Energiezähler bei der Abfahrt, Zwischenhalten und Ankunft des Zuges benötigt. Die Zählerstände der Energiezähler werden zusammen mit dem Kilometerstand der Lokomotive, der eingestellten Zugnummer und anderen interessierenden Größen als Umfelddaten abgelegt.

Tab. 4.3: Übersicht Einsatz von DDS in Re 460, ICN und RABe 520 (GTW)

Fahrzeuge Personenverkehr	RABe 520 („Seetal-GTW“)		
	Re 460		
	ICN 500 (44 Fahrzeuge)	Nr.	RABDe 500 000 – RABDe 500 043
Bezeichnung Messgerät	DDS (Diagnose Daten Satz), auf Fahrzeugsystem abgegriffen		
Messtoleranz / Standardabweichung	Schätzung für Re 460: +/- 4.5%, Schätzung für RABe 520 (GTW) : +/- 1.5%, alle Angaben von Fanta et al. (2003)		
Art der Messung	Aufzeichnung durch Bordsystem, bei GTW direkte Energieverbrauchsmessung, bei Re 460: Integration von Strom und Spannung.		
Messintervall	Sekundengenau, abhängig von Protokollierungsbedingungen		

4.2 Literatur

- Bombardier. (2009). Bombardier Transportation: MITRAC TCMS & ORBITA.
- Fanta, M., & Wegmüller, A. (2003). Energieverbrauch von Reisezügen: Messung des Energieverbrauchs von Re 460 bespannten Zügen: ENOTRAC AG.
- Gerber, K. (2009). *Bericht Energieverrechnung 2008*: SBB: P-OP-RM-FT-TE/Gb.
- ITF EDV. (2005). TEMA: Energiemanagement bei DB Energie, Applikationsbeschreibung. von http://www.itf-edv.de/de/produkte/presseberichte/App_note_DBE_de_4_2.pdf
- Menth, S. (2004). *SBB Personenverkehr: Energieverbrauch SBB Regionalverkehr*. emkamatik-Dokument 04-0041, Version 1.2 vom 24.9.2004
- Meyer, M., Menth, S., & Lerjen, M. (2006). *Potentialermittlung Energieeffizienz Traktion bei den SBB*. Schlussbericht des Projekts 101826 im Auftrag des Bundesamts für Energie, Forschungsprogramm Elektrizität, Dezember 2007