



Energiemessung beim 15 Jahre alten ABe 130 'SPATZ'

Möglichkeiten zur Steigerung der Nachhaltigkeit im Midlife-Refit

Stansstad 10.1.2019 Oliver Buss und Matthias Tuchschnid

Inhaltsverzeichnis

Überblick

	Seite
1. Zur Entstehung des Referats	3
2. Kurzvorstellung der zb	4
3. Ausgangslage beim ABe 130 'Spatz'	6
4. Ziel der Messkampagne	8
5. Aufbau des Messsystems	9
6. Untersuchte Energiesparpotentiale	13
7. Schnelle Aktivierung des Schlummerbetriebs	14

Inhaltsverzeichnis

Überblick

	Seite
8. Abschalten der Trafoölpumpe im Schlummerbetrieb	21
9. Steuerung / Reduktion der Aussenluft Menge	24
10. Anpassung der Sollinnentemperatur	32
11. Zusammenfassung und weiteres Vorgehen	35
12. Anhänge	36

Zur Entstehung des Referats

Dieses Referat entstand auf der Basis des Berichtes '**Energieeffizienzpotenzial der SPATZ-Züge**'

von *Matthias Tuchschnid*, Fachspezialist Energieeffizienz SBB, und *Oliver Buss*, Flottenmanager zb.

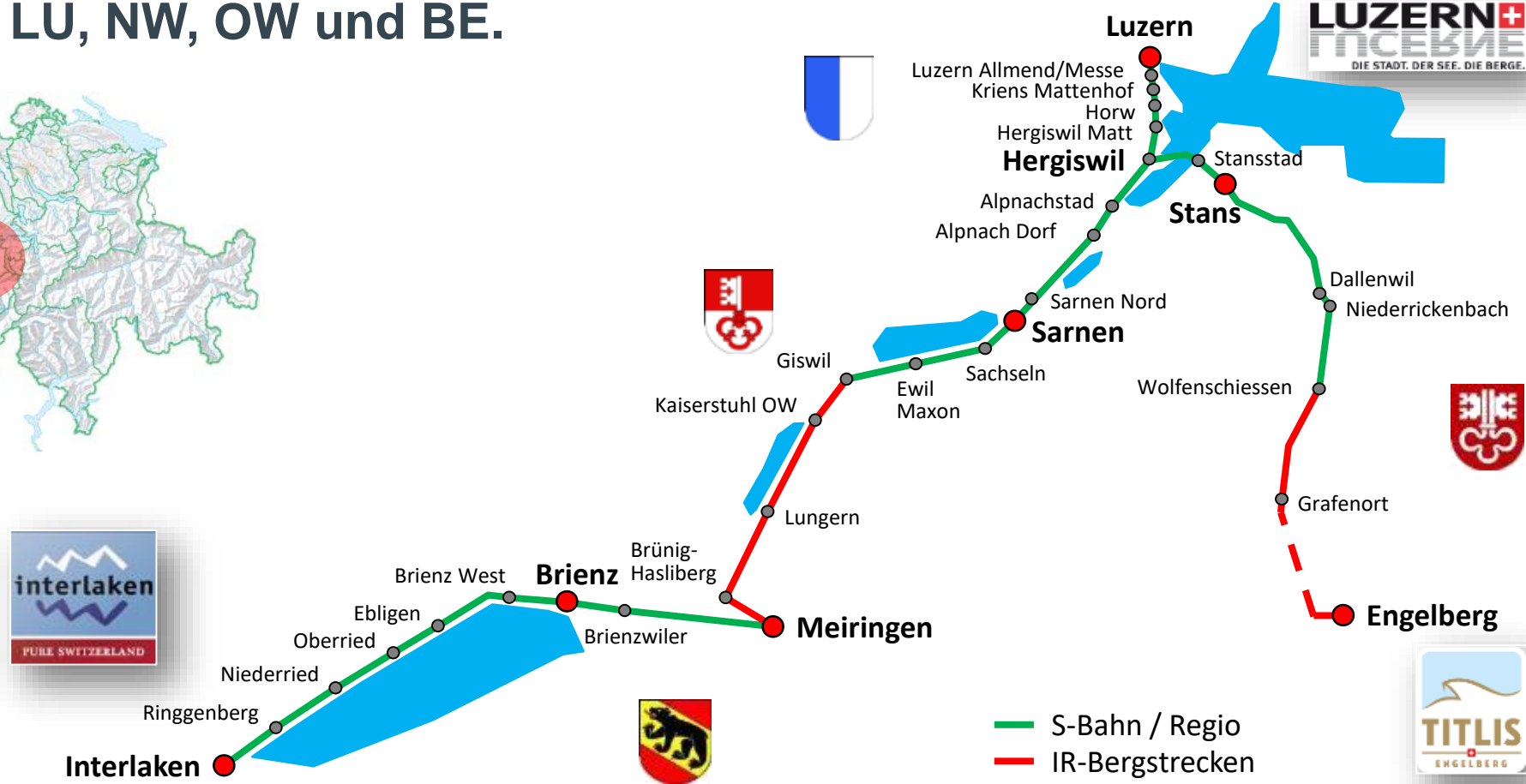
Es geht um Möglichkeiten zur Steigerung der Nachhaltigkeit im Midlife-Refit. Das Midlife-Refit ist 2022 geplant.

Nach 18 Jahren im Betrieb ist für die 10 Fahrzeuge der zb ein Refit für ca. 1.5 MCHF pro Fahrzeug geplant. Es wird von einer Restlebensdauer von weiteren 16 Jahren ausgegangen.

An dieser Stelle möchte ich Matthias Tuchschnid für sein Engagement bei der zb herzlich bedanken.

Kurzvorstellung der zb

Die Zentralbahn betreibt Grundversorgung und touristischen Verkehr in den Kantonen LU, NW, OW und BE.








Meterspurbahn mit Adhäsions- und Zahnradstrecken

Kurzvorstellung der zb

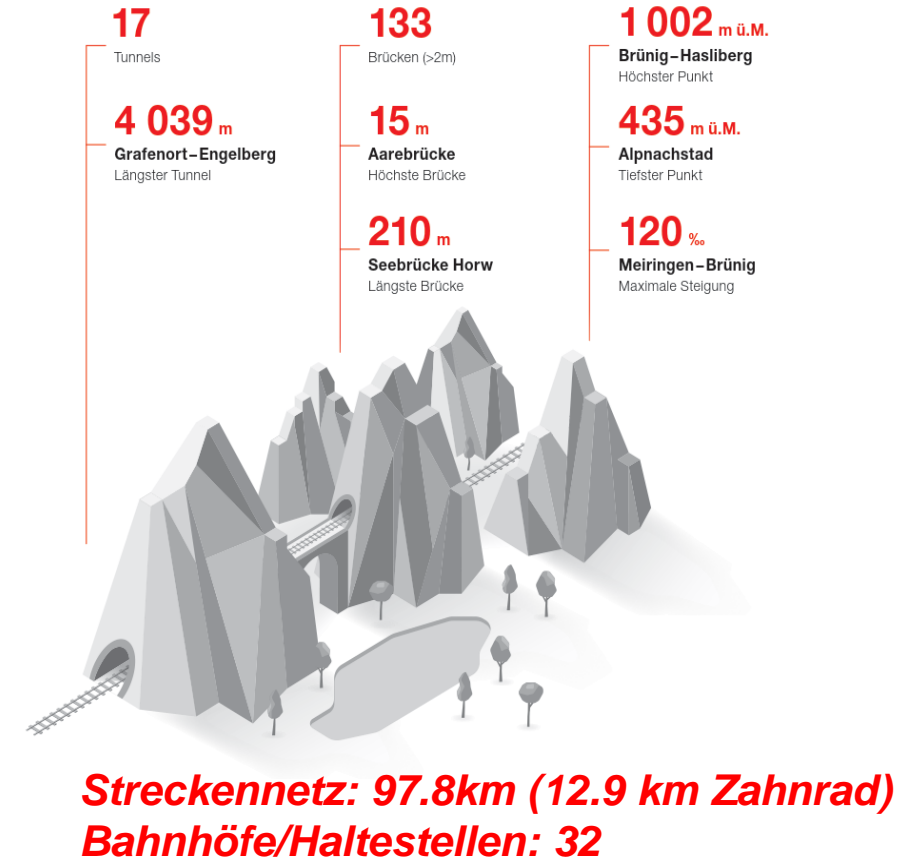
Unsere Leistungen (Basis 2017)

Beförderte Personen:	10.16 Mio.
Personenkilometer:	184.3 Mio.
Zugkilometer:	3.16 Mio.
Kundenankunftspünktlichkeit:	97.7%
Betriebsertrag (2017):	120 Mio.
Bilanzsumme (2017):	745 Mio.
Mitarbeitende (Köpfe):	370

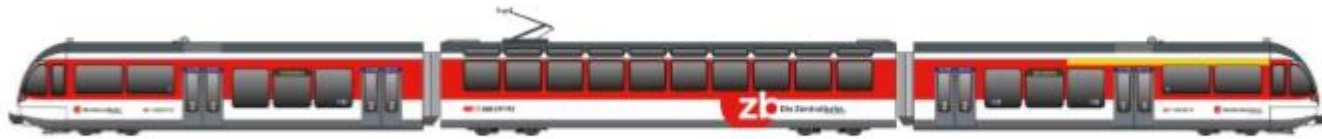
Unsere Züge

- 10**
des Typs «SPATZ»

- 11**
des Typs «FINK»

- 4**
des Typs «ADLER» (Luzern–Interlaken Express)

- 3**
des Typs HGe-GSW-Pendel (Luzern-Engelberg Express)

- 3**
HGe-Pendel


Unsere Infra



Ausgangslage beim ABe 130 ‘SPATZ’



Fahrzeugdaten	Technische Merkmale
Spurweite: 1000mm	3-teiliger Nahverkehrszug mit aufgesattelten Niederflurendwagen (Alu) für S-Bahn / Regio
Speisespannung: 15kV / 16.7 Hz	Hochflurmittelwagen (Stahl) mit Traktionsausrüstung
Anzahl Fahrzeuge: 10	Voll klimatisiert, behindertengerechtes WC
Inbetriebsetzung: 2004/05	4 breite Eingangstüren 1350mm pro Seite
Sitzplätze total: 131 davon 10 Klappsitze 270 Stehplätze	4 Einstiegsplattformen mit Mehrzweckbereich
Länge: 51'930 mm	Breite, offene Wagenübergänge
Breite: 2'650 mm	APFZ, KIS, AFZ, Video und Notsprechstellen
Dienstmasse: 66t tara, 92t brutto	Komplette Traktion im Hochflurmittelwagen
Max. Leistung am Rad: 1150 kW	
Anfahrzugkraft: 100kN bis 41km/h	
Höchstgeschwindigkeit: 100km/h	

Ausgangslage beim ABe 130 'SPATZ'



Betriebscharakteristik der Fahrzeuge

Kilometerleistung pro Jahr und Fz:	ca. 150'000 km
Kilometerleistung	12535 km (⊙464 km/Tag) davon Dienstzüge: 78.3 km (meist Stans nach Stansstad)
Zugsnummern	pro Tag 18-19 pro Tag
mittlerer Haltestellenabstand	2.31 km, 2 Min 44 s
mittlere Geschwindigkeit zwischen 2 Haltestellen	46.7 km/h
mittlere Betriebszeit pro Tag/Schlummerbetrieb	13.3h / 10.7h
Ausschalten der Fahrzeuge im Sommer	nein

Ziel der Messkampagne

Im Hinblick auf das Midlife-Refit des SPATZ-Fahrzeuges 2022 wurde das Fahrzeug ABe130 008 mit einem Messsystem von openenergymonitor.org ausgerüstet, dieses wurde durch SBB Energiemanagement für Bahnzwecke ergänzt und modifiziert. Das Ziel war ein möglichst guter Einblick in den Energiebedarf der Hilfsbetriebe und der HLK-Anlagen, der Traktionsenergiebedarf wurde nicht betrachtet.

Neben den Messungen wurden auch Modellrechnungen herangezogen, um Einsparpotentiale aufzuzeigen.

Aufbau des Messsystems



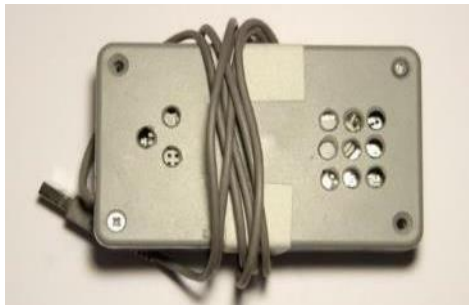
Emon Tx mit 2 AA Batterien

433 MHz Funkübertragung alle 15s,
Strommessung Messzange bis 100 A rms



Emon TH mit 2 AA Batterien

433 MHz Funkübertragung alle 30s
Temperaturmessung

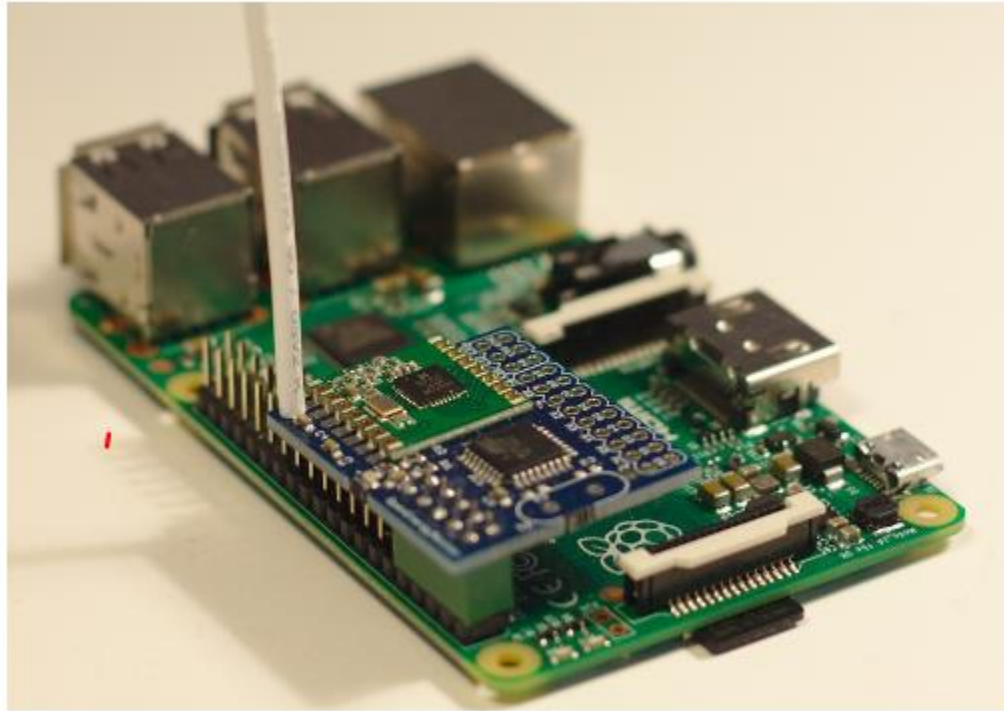


CO2 Sensor mit 230V USB Adapterstecker

433 MHz Funkübertragung alle 30s

Batteriebetrieben schickten die Sensoren mehr als 3 Monate Daten.

Aufbau des Messsystems



Emon Base

Die CO₂- und Temperatursensoren sowie die Strommessboxen kommunizieren 433MHz drahtlos mit diesem Basisgerät. Via Modem werden die Daten an eine Internetseite www.emoncms.org übermittelt.

Aufbau des Messsystems

Datenbank auf www.emoncms.org

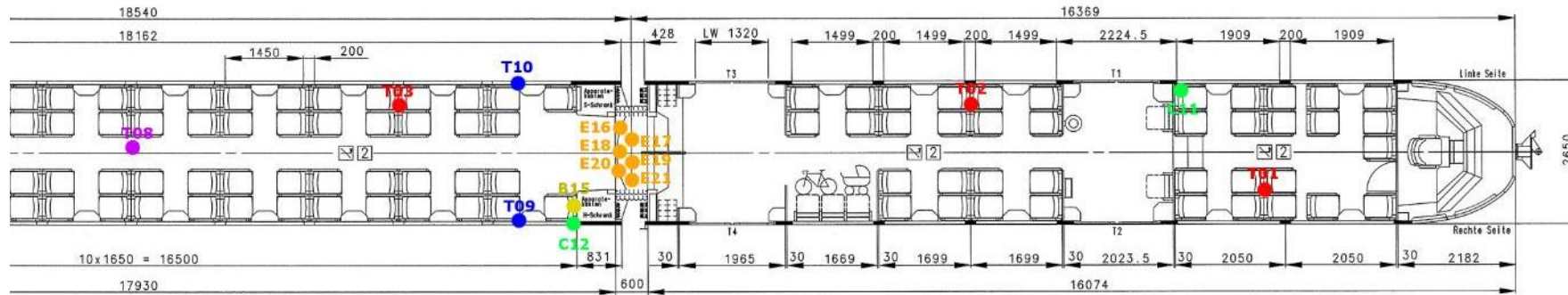
Während der Messkampagne vom 27. September bis 25. Dezember 2017 wurden rund 3.5 Mio. Messwerte auf diese Internetseite übertragen.

Die Grafiken wurden ebenfalls in dieser Datenbankumgebung erstellt.

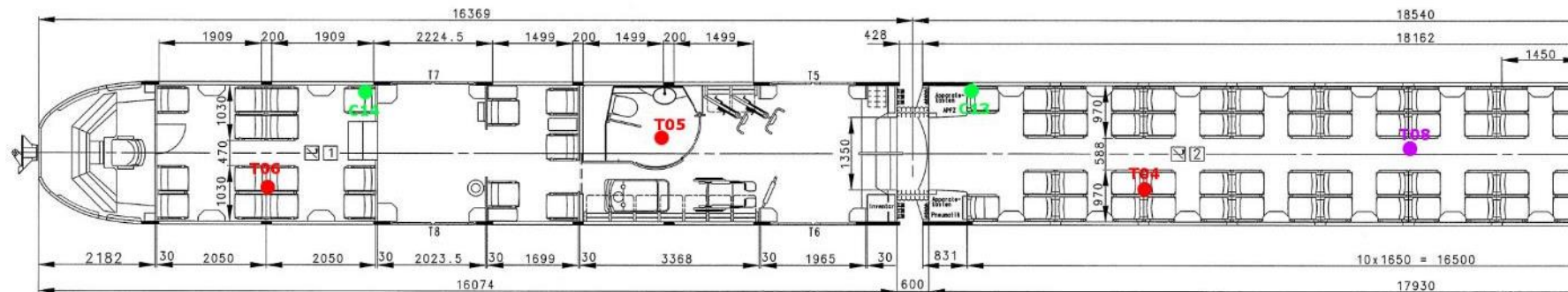
Die Kosten für das verwendete Material liegen bei ca. 2000 CHF, mit etwas Vorbereitung wurde das Messsystem in einem Tag montiert.

Messstellenplan

Endwagen 1 (EW1) und halber Mittelwagen (MW)



Endwagen 2 (EW2) und halber Mittelwagen (MW)



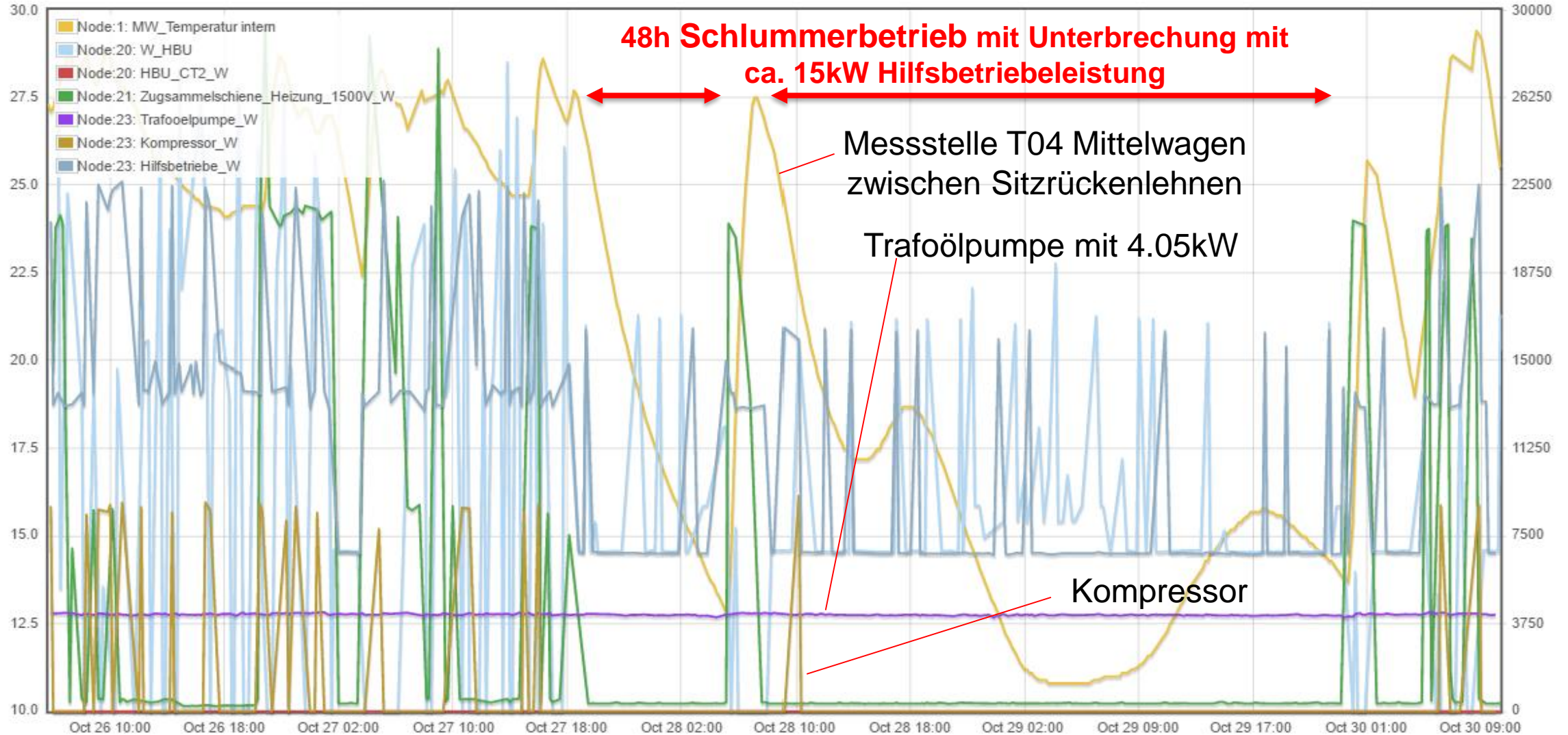
Die Nummern bezeichnen die Node-ID, die Farbe bezeichnet die Sensorart:

- rot Temperatur zwischen Sitzreihen
- violett Temperatur an Ausblasöffnung der Klimaanlage
- blau Aussentemperatur
- grün CO₂
- orange Energiemessbox
- dunkelgelb Empfängerstation

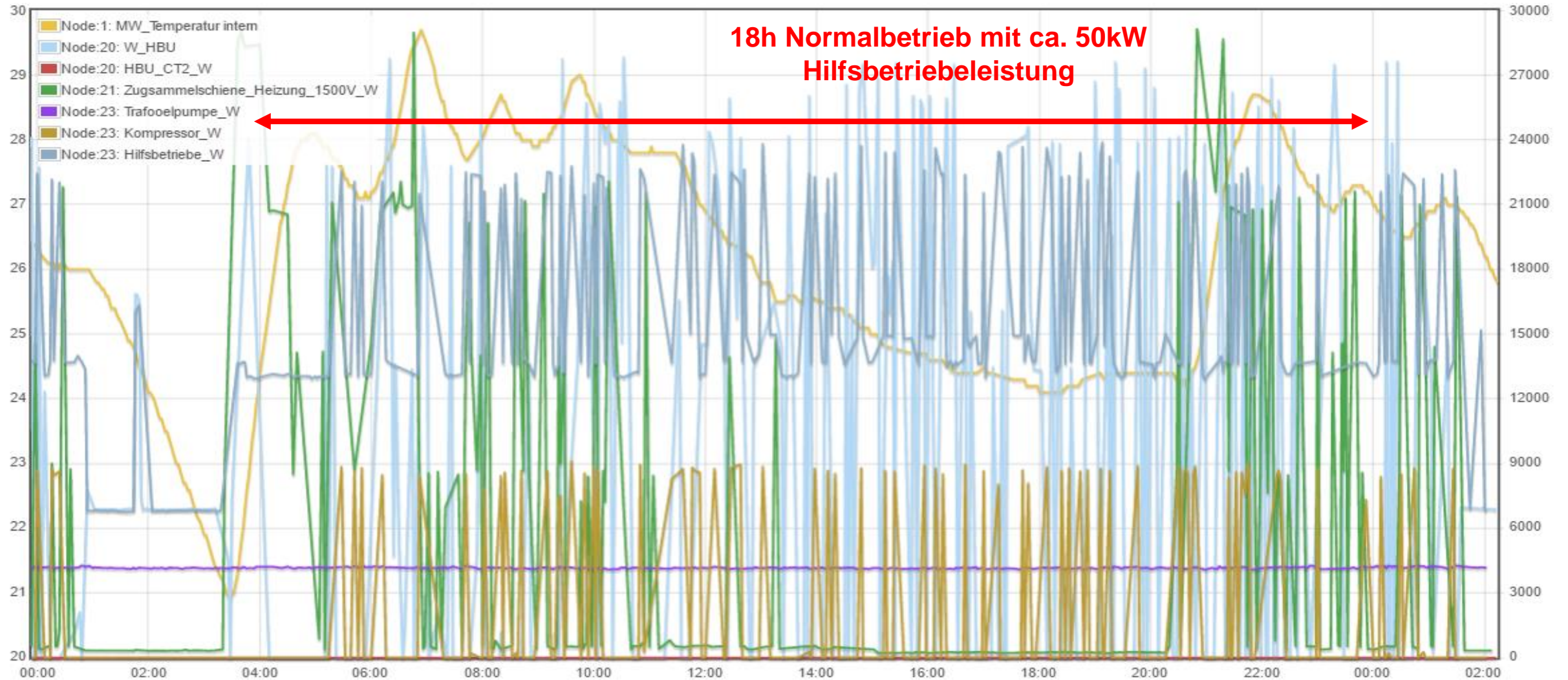
Untersuchte Energiesparpotentiale

- Schnelle Aktivierung des Schlummerbetriebes
- Abschaltung Trafoölpumpe im Schlummerbetrieb
- Steuerung / Reduktion der Aussenluftmengen
- Anpassung der Sollinnentemperatur

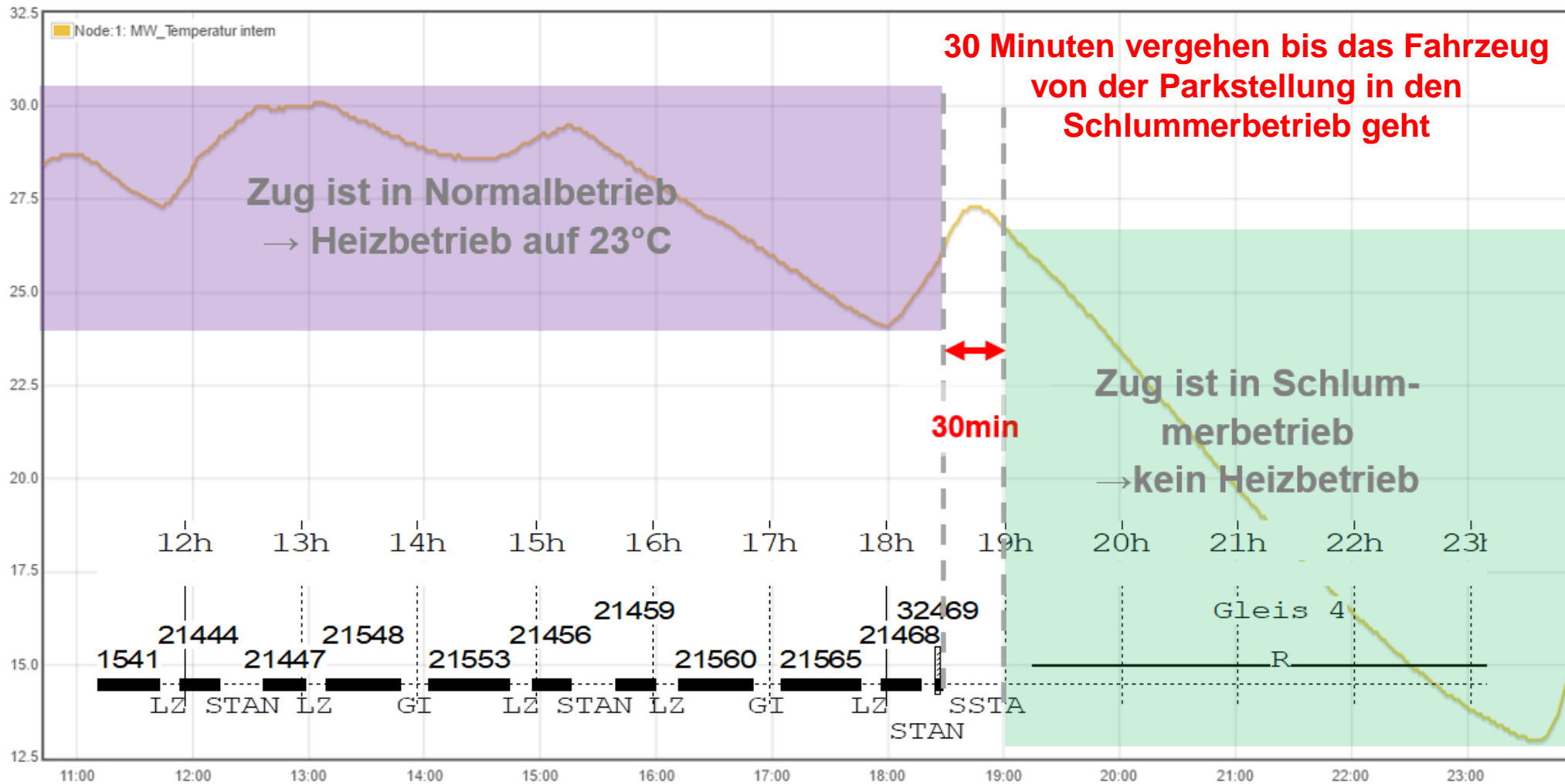
Schnelle Aktivierung des Schlummerbetriebes



Schnelle Aktivierung des Schlummerbetriebes



Schnelle Aktivierung des Schlummerbetriebes



Schnelle Aktivierung des Schlummerbetriebes

Annahmen für Einsparpotential und Kosten als Einzelmassnahme, wenn der Schlummerbetrieb nach 2' statt nach 30' eingeleitet wird:

Annahmen:

- 1x Schlummerbetrieb pro Tag und Fahrzeug an 365 Tagen für 10 Fahrzeuge = 3650 Mal
- Energieersparnis pro Mal Schlummerbetrieb (50kW-15kW) für 28 Minuten = 16.33kWh
- 10 Rp. / kWh

Kosten:

- 30'000 CHF für Softwareänderung

Schnelle Aktivierung des Schlummerbetriebes

Massnahme 1: Schnelle Aktivierung des Schlummerbetriebes.

Kostenschätzung: 30'000 CHF, jährliche Einsparung: \approx 59 MWh, resp. 5'900 CHF

Paybackzeit: 5.1 Jahre

Technische Umsetzung:

Schlummerbetrieb wird 2' Minuten nach Eintritt in die Parkstellung und gelöschtem Licht in Passagierraum aktiv.

Schnelle Aktivierung des Schlummerbetriebes

Diskussion der Resultate im Zusammenhang mit dem Midlife-Refit und der Restlebensdauer von 16 Jahren:

Was würde das Ausschalten der Fahrzeuge im Sommer in der zweiten Lebenshälfte bedeuten?

Schaltet man die Fahrzeuge in 5 von 12 Monaten im Jahr aus steigt der Payback entsprechend auf 8.7 Jahre.

Da die Software im Midlife-Refit bei diversen Themen sowieso angepasst wird, werden die Kosten eher tiefer sein, als hier als Einzelmassnahme geplant.

Die Massnahme wird umgesetzt.

Abschalten der Trafoölpumpe während Schlummerbetriebes

Annahmen für Einsparpotential und Kosten für das Abschalten der Trafoölpumpe als Einzelmassnahme:

Annahmen:

- Schlummerbetrieb 10.7h pro Tag und Fahrzeug an 365 Tagen für 10 Fahrzeuge = 39'055h
- Energieersparnis in der Stunde 4.05 kW/h
- 10 Rp. / kWh

Resultierendes Potential pro Jahr: ca. 158 MWh entspricht ca. 15'800 CHF

Abschalten der Trafoölpumpe während Schlummerbetriebes

Kosten:

Änderung Leittechnik:	30'000 CHF
Einbau Schütz:	9500 CHF
Analyse:	30'000 CHF (FMEA und Machbarkeit)
Testaufwände:	20'000 CHF
Summe	89'500 CHF

Abschaltung Trafoölpumpe im Schlummerbetrieb

Kostenschätzung: 89'500 CHF, jährliche Einsparung: 158 MWh, resp. 15'800 CHF

Paybackzeit: 5.7 Jahre

Abschalten der Trafoölpumpe während Schlummerbetriebes

Diskussion der Resultate im Zusammenhang mit dem Midlife-Refit und der Restlebensdauer von 16 Jahren (Machbarkeit gegeben):

Was würde das Ausschalten der Fahrzeuge im Sommer in der zweiten Lebenshälfte bedeuten?

Schaltet man die Fahrzeuge in 5 von 12 Monaten im Jahr aus steigt der Payback entsprechend auf 9.8 Jahre.

Da die Software im Midlife-Refit bei diversen Themen sowieso angepasst werden die Kosten eher tiefer sein, als hier als Einzelmassnahme geplant.

Eine ausgeschaltete Pumpe beim abgestellten Fahrzeug macht keinen Lärm!

***Die Massnahme wird bei gegebener Machbarkeit umgesetzt.
Machbarkeit ist zu klären.***

Steuerung / Reduktion der Aussenluftmengen

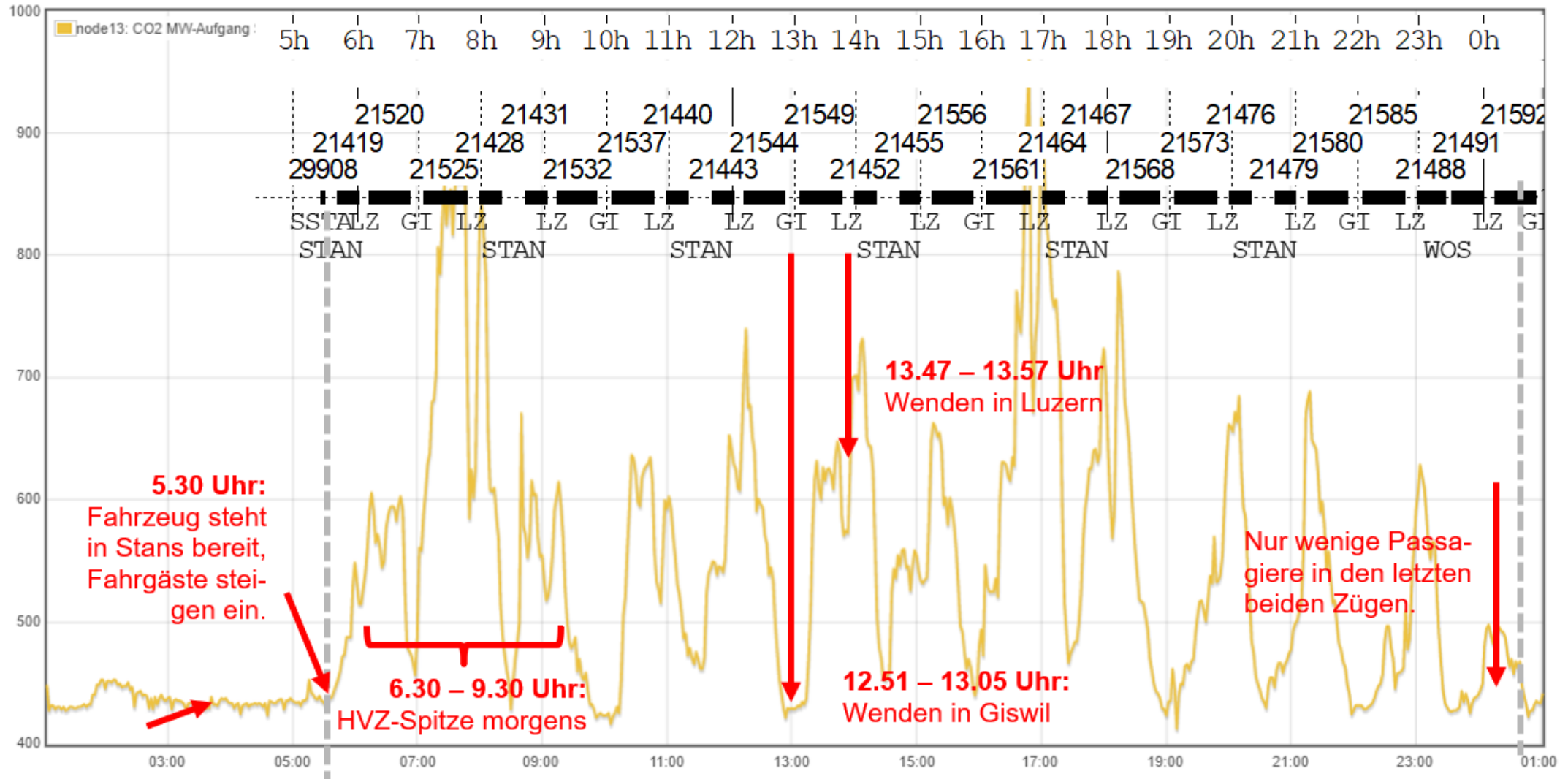
Was wurde dazu auf dem Fahrzeug ABe 130 008 gemessen?

Auf dem ABe 130 008 wurde auf dem Mittelwagen und auf beiden Endwagen die CO₂-Konzentration mit mehreren Sensoren gemessen. Die Anzahl Passagiere auf den Fahrzeug wurde nicht gemessen.

Der CO₂-Sensor mit den höchsten Werten und dem Tagesfahrspiel mit höchsten CO₂-Werten genommen.

Das folgende betrachtete Tagesspiel dauerte 1156 Minuten.

Steuerung / Reduktion der Aussenluftmengen



Steuerung / Reduktion der Aussenluftmengen

CO ₂ -Konzentration	Anzahl Minuten Tagesfahrspiel	Verteilung
< 500ppm	462	40%
500 ppm < x < 600ppm	363	31%
600 ppm < x < 700ppm	226	20%
700 ppm < x < 800ppm	57	5%
800 ppm < x < 900ppm	43	4%
900 ppm < x (peak bei 1100ppm)	5	0%
Total	1156	100%

Steuerung / Reduktion der Aussenluftmengen

Was bedeuten die gemessenen Werte?

- Der CO₂-Gehalt wird in "parts per million" (ppm) gemessen: 1000 ppm entsprechen 1 Liter CO₂ pro Kubikmeter Luft. Die natürliche Konzentration liegt bei etwa 400 ppm, unterhalb von 800 ppm kann die Luftqualität als sehr gut bezeichnet werden.
- In den meisten Büroarbeitsräumen wird eine Konzentration zwischen 800 ppm und 1500 ppm erreicht, darüber sollte schon mal gelüftet werden. In SBB-Zügen mit einer bedarfsabhängigen Aussenluftsteuerung mit CO₂-Sensoren wird auf eine CO₂-Konzentration von 1500 ppm geregelt.
- In Kinos wird kurz vor der Pause, resp. vor Ende des Filmes eine CO₂-Konzentration von gut 2500 ppm erreicht.

Steuerung / Reduktion der Aussenluftmengen

Betrachtet man die Grafik Seite 25 und die Tabelle Seite 26, so hat man auch bei einem sehr gut ausgelasteten Zug in 96% der Zeit sehr gute Luftqualität!
⇒ Es gibt hier sicher Potential.

Steuerung / Reduktion der Aussenluftmengen

Abschätzung möglichen Energieeinsparung aufgrund einer Modellrechnung im Anhang 1:

Die Abschätzung der Energieeinsparung basiert auf einem von SBB Klimatechnik entwickelten Modell: Gegenüber heute kann die Aussenlufrate im Mittel auf 40% (bei einer Regelung auf 1500ppm CO₂) gesenkt werden. Die Einsparung entsteht dadurch, dass nur so viel kalte respektive warme Aussenluft aufgewärmt respektive gekühlt werden muss, wie zur Wahrung der Luftqualität notwendig. Pro Wagenkasten wird eine Einsparung von ca. 7.1 MWh jährlich erwartet. 3x7.1 MWh à 0.1CHF/kWh und 10 Fahrzeuge macht ein Potential von **21'300 CHF pro Jahr.**

Steuerung / Reduktion der Aussenluftmengen

Die detaillierte Modellrechnung ist im Anhang 1 Teil 1 und Teil 2 zu sehen:

- Sie wurde für 148 Leute im Fahrzeug gemacht und verschiedene Aussen- und Innentemperaturen gemacht über das ganze Jahr (Annahme eines Temperaturprofils über das Jahr in Stunden)
- 100% Aussenluft in der Rechnung bedeuten 10-15 m³/h pro Kopf (je nach Aussenlufttemperatur) und insgesamt maximal 2'210 m³/h.

Was wird auf dem Fahrzeug nominal an Frischluft gefördert?

- Bei kleiner Lüfterdrehzahl fördern die 2 Endwagenklimaanlagen und die Mittelwagenklimaanlage zusammen bereits ca. 3500 m³/h Frischluft, bei voller Leistung sind es ca. 5400 m³/h!

Steuerung / Reduktion der Aussenluftmengen

Die installierte Frischluftversorgung hat sehr grosses Energiesparpotential und wird weiter untersucht:

Die Ansätze sind:

- Installation von CO₂-Sensoren und Anpassung der Klimasteuerung
- Nutzung der AFZ-Sensordaten und Anpassen der Klimasteuerung
- Nutzung des im FLG vorhandenen Luftfederdruck und Anpassung
- Fixe Reduktion der Aussenluftmengen durch Reduktion der Öffnung

Das Thema wird weiter untersucht.

***Als Umsetzungszeitpunkt ist der Midlife-Refit sinnvoll,
weil die total 30 Klimaanlage ebenfalls revidiert werden.***

Anpassung der Sollinnentemperatur

Ausgangslage

Heute beträgt gemäss die Sollinnentemperatur im Fahrgastraum 23°C für den Heizbetrieb, im Sommer wird bei steigender Aussentemperatur die Sollinnentemperatur angepasst.

Anpassung der Sollinnentemperatur

Potentialabschätzung mittels Modellrechnung für ein Fahrzeug im Anhang 2:

- Das Modell geht von einer Aussenluftmenge für 144 Personen/Fahrzeug mit $15 \text{ m}^3/\text{h}$ also total $2160 \text{ m}^3/\text{h}$
- Die Rechnung zeigt das Energiesparpotential bei eine Absenkung der Sollinnentemperatur von 23°C auf 22°C und von 23°C auf 20°C .
- Die Rechnungen zeigen ein Potential von **5'800 CHF** pro Jahr resp. **15'800 CHF** pro Jahr für 10 Fahrzeuge.

Anpassung der Sollinnentemperatur

Anpassung der Sollinnentemperatur von 23 auf 20°C:

Kostenschätzung: 30'000 CHF, jährliche Einsparung: 158 MWh, resp. 15'800 CHF

Paybackzeit: 1.9 Jahre

Die Massnahme wird umgesetzt.

Zusammenfassung und weiteres Vorgehen

- Es gibt günstige und einfach zu installierende Messmittel, die Daten können in einer webbasierten Datenbank gespeichert und aufbereitet werden.
- Messungen und Modellrechnungen sind sehr hilfreich beim Identifizieren von Energiesparpotentialen
- Der bevorstehende Midlife-Refit bietet der zb die Möglichkeit diese Massnahmen auf der ABe 130 Flotte kostengünstig als Gesamtpaket umzusetzen. Diese Gelegenheit werden wir nutzen!

Vielen Dank für ihre Aufmerksamkeit!

Anhang 1: Modellrechnung zur Reduktion der Aussenluftmengen Teil 1

Energieeinsparung durch bedarfsabhängige Aussenluftsteuerung (Fahrzeug ABe130, "SPATZ")						
Zug in Betrieb	13.3	[h/d]		Mittl. Aussenluftanteil bei T<-5°C oder T>26°C	493	[m³/h]
Faktor E insatz	0.554			Mittl. Leakage bei T<5°C oder T>26°C	49	[m³/h]
Faktor Schlummern	0.446			Mittl. Aussenluftanteil bei T>-5°C	740	[m³/h]
Aussenluft rate gegenüber heute	40.0%			Mittl. Leakage bei T>5°C	74	[m³/h]
spez. Wärmekapazität Luft c _{p,l}	1.005	[kJ/(kg·K)]		Aussenluft T em < -5°C	10	[m³/h*Sitzplatz]
Dichte Luft	1.293	[kg/m³]		Aussenluft T em > -5°C	15	[m³/h*Sitzplatz]

Randbedingungen			Einsparung während der Fahrt					
t _{em}	Häufigk.	t _{im} IST	V _{le}	V _{le,Leck}	V _{le, eff}	Energie bisher	Energie mit Bedarfslüftung	Differenz
[°C]	[h]	[°C]	[m³]			[kWh]	[kWh]	[kWh]
-15	20	22.0	493	49	197	73	29	44
-10	70	22.0	493	49	197	221	88	133
-4	290	22.0	740	74	296	1'116	446	670
0	730	22.0	740	74	296	2377	951	1'426
5	1'670	22.0	740	74	296	4202	1'681	2521
10	1'850	22.0	740	74	296	3286	1'314	1'972
15	1'680	22.0	740	74	296	1741	696	1'044
20	1'190	22.0	740	74	296	352	141	211
22	550	22.4	740	74	296	33	13	20
24	320	23.4	740	74	296	28	11	17
26	170	23.8	740	74	296	55	22	33
28	100	24.5	493	49	197	35	14	21
30	70	25.5	493	49	197	31	12	19
35	50	30.0	493	49	197	25	10	15
Summe			Modellierungsunsicherheit (Annahme 20%)				1'086	-1'086
						13'576	6'516	7'059

Anhang 1: Modellrechnung zur Reduktion der Aussenluftmengen Teil 2

Energiebedarf ohne bedarfsabhängige Aussenluftsteuerung				[MWh]	13.6	pro Wagen
Energiebedarf mit bedarfsabhängiger Aussenluftsteuerung				[MWh]	6.5	pro Wagen
Einsparung durch bedarfsabhängige Aussenluftsteuerung				[MWh]	7.1	pro Wagen
Nebenrechnung Aussenluftvolumenstrom & Oberfläche				Einsparung für gesamte Spatz-Flotte		
Fzg.-Typ	Personen	Aussenluft tem < -5°C	Aussenluft tem ≥ -5°C	Wagen	Wagenkasten	Einsparung Flotte
	[Anzahl]	[m3/h]	[m3/h]	[Stck.]	30	211.8 [MWh]
EWI	50	500	750	10		
MW	48	480	720	10		
EWII	50	500	750	10		
		14'800	22'200	30		
Mittelwerte		493	740			

Anhang 2: Anpassung der Sollinnentemperatur Teil 1

Energieeinsparung durch Temperatursenkung (Fahrzeug ABe130, "SPA TZ")

Faktoren		
Wärmekapazität Luft	1.005	kJ/(kg·K)
Dichte Luft	1.293	kg / m ³
Strompreis	100	CHF/MWh
Strombedarf pro Haushalt	4000	kWh/a
Wärmeleistung durch Menschen	100	W
Ausselutvolumenstrom pro Person	15	[m ³ pro Person]

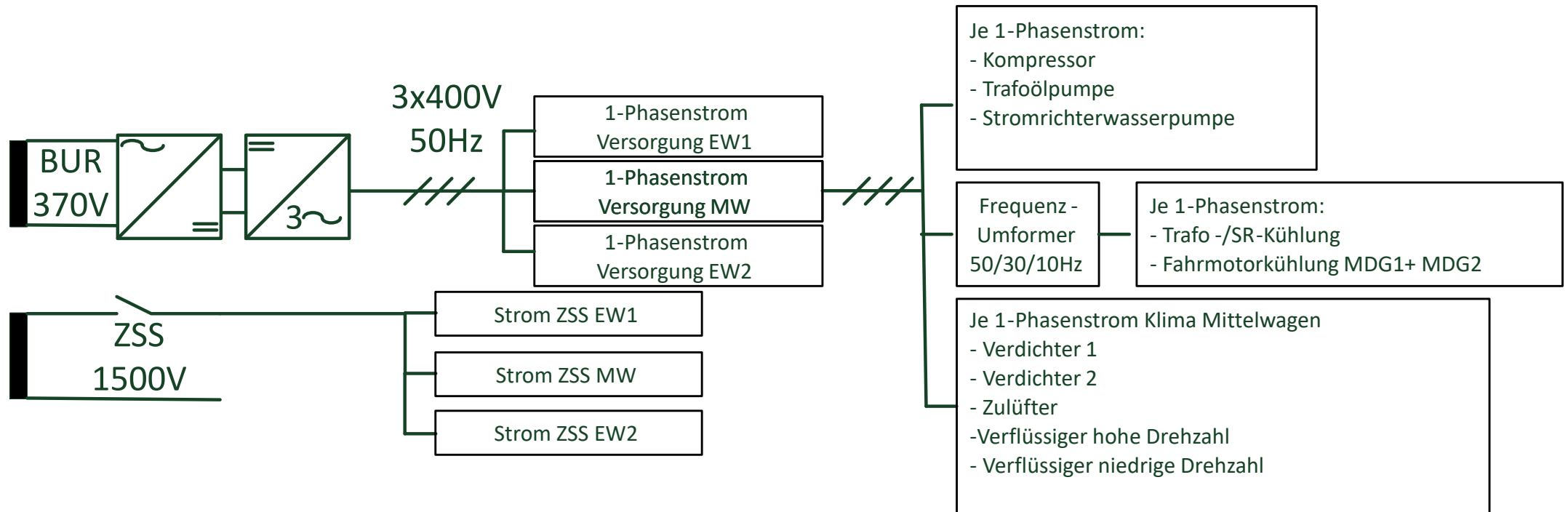
Anzahl Wagen pro Triebzug	3 Stück
Anzahl Triebzüge	10 Stück
Anzahl Wagenkasten	30 Stück
Zug in Betrieb	13.3 h/d
Wagenkastenstunden in Betrieb pro Tag	399 [h/Tag]

Variante 22°C					
A [m ²]		197			
k [W/m ² K]		1.8			
durchschn. # Sitzplätze pro Wagenkasten		48			
durchschn. Sitzplatzbelegung		100%			
Aussenluftanteil [m ³ /h]		720			
Anzahl Türzyklen pro Stunde [1/h]		10			
Luftaustausch pro Halt pro Türe [m ³]		10			
Anzahl Türen pro Wagen		2			
Zus. Luft (Türöffnung) pro Stunde [m ³ /h]		200			
Einsatzzeit * #Wagenk. [WGK*h/d]		399			
Randbedingungen				Transmission Lüftung	
t _{am}	Häufigk.	t _m IST	t _m RED	Flotte	Flotte
[°C]	[h/a]	[°C]	[°C]	[MWh/a]	[MWh/a]
-15	20	23.0	22.0	0	0
-10	70	23.0	22.0	0	0
-4	290	23.0	22.0	2	2
0	730	23.0	22.0	4	4
5	1'670	23.0	22.0	10	9
10	1'850	23.0	22.0	11	10
15	1'680	23.0	22.0	10	9
20	1'190	22.0	22.0	0	0
22	550	22.4	22.4	0	0
24	320	23.4	23.4	0	0
26	170	23.8	23.8	0	0
28	100	24.5	24.5	0	0
30	70	25.5	25.5	0	0
35	50	30.0	30.0	0	0
Summe	8760			37	35
Summe Einsparungen				MWh/a	72
				- 20% (Unsicherheit)	
				MWh/a	58
				CHF/a	5'800
Umgerechnet auf Haushalte				1450	

orange hinterlegte Felder sind Schätzungen
Kein Δt_m beachtet, da teilweise Strahlung schon ausreicht

Variante 20° C					
A [m ²]		197			
k [W/m ² K]		1.8			
durchschn. # Sitzplätze pro Wagenkasten		48			
durchschn. Sitzplatzbelegung		100%			
Aussenluftanteil [m ³ /h]		720			
Anzahl Türzyklen pro Stunde [1/h]		10			
Luftaustausch pro Halt pro Türe [m ³]		10			
Anzahl Türen pro Wagen		2			
Zus. Luft (Türöffnung) pro Stunde [m ³ /h]		200			
Einsatzzeit * #Wagenk. [WGK*h/d]		399			
Randbedingungen				Transmission Lüftung	
t _{am}	Häufigk.	t _m IST	t _m RED	Flotte	Flotte
[°C]	[h/a]	[°C]	[°C]	[MWh/a]	[MWh/a]
-15	20	23.0	20.0	0	0
-10	70	23.0	20.0	1	1
-4	290	23.0	20.0	5	5
0	730	23.0	20.0	13	12
5	1'670	23.0	20.0	30	28
10	1'850	23.0	20.0	33	31
15	1'680	23.0	21.0	20	19
20	1'190	22.0	22.0	0	0
22	550	22.4	22.4	0	0
24	320	23.4	23.4	0	0
26	170	23.8	23.8	0	0
28	100	24.5	24.5	0	0
30	70	25.5	25.5	0	0
35	50	30.0	30.0	0	0
Summe	8760			102	95
Summe Einsparungen				MWh/a	197
				- 20% (Unsicherheit)	
				MWh/a	158
				CHF/a	16'000
Umgerechnet auf Haushalte				40	

Anhang 3: Übersicht der gemessenen Ströme im Apparateschrank



Anhang 3: Übersicht der gemessenen Ströme im Apparateschrank

