



# Mesures énergétiques sur l'ABe 130 «SPATZ» âgé de 15 ans

Possibilités d'augmentation de la durabilité lors du *refit* de la moitié de la durée de vie

Stansstad, le 10 janvier 2019, Oliver Buss et Matthias Tuchschnid

# Plan

Chapitre	Page
1. Genèse du présent exposé	3
2. Brève présentation de la zb	4
3. Situation de l'ABe 130 «Spatz»	6
4. Objectif de la campagne de mesure	8
5. Structure du système de mesure	9
6. Potentiels d'économie d'énergie examinés	13
7. Activation rapide du mode veille	14

# Plan

Chapitre	Page
8. Mise hors tension de la pompe à huile du transformateur en mode veille	21
9. Gestion et réduction de la quantité d'air extérieur	24
10. Adaptation de la température intérieure souhaitée	32
11. Récapitulation et prochaines étapes	35
12. Annexes	36

## Genèse du présent exposé

Cette présentation a été créée sur la base du rapport «**Potentiel d'efficacité énergétique des trains SPATZ**» de *Matthias Tuchschnid*, spécialiste Efficacité énergétique des CFF, et *Oliver Buss*, gestionnaire de flotte de la zb.

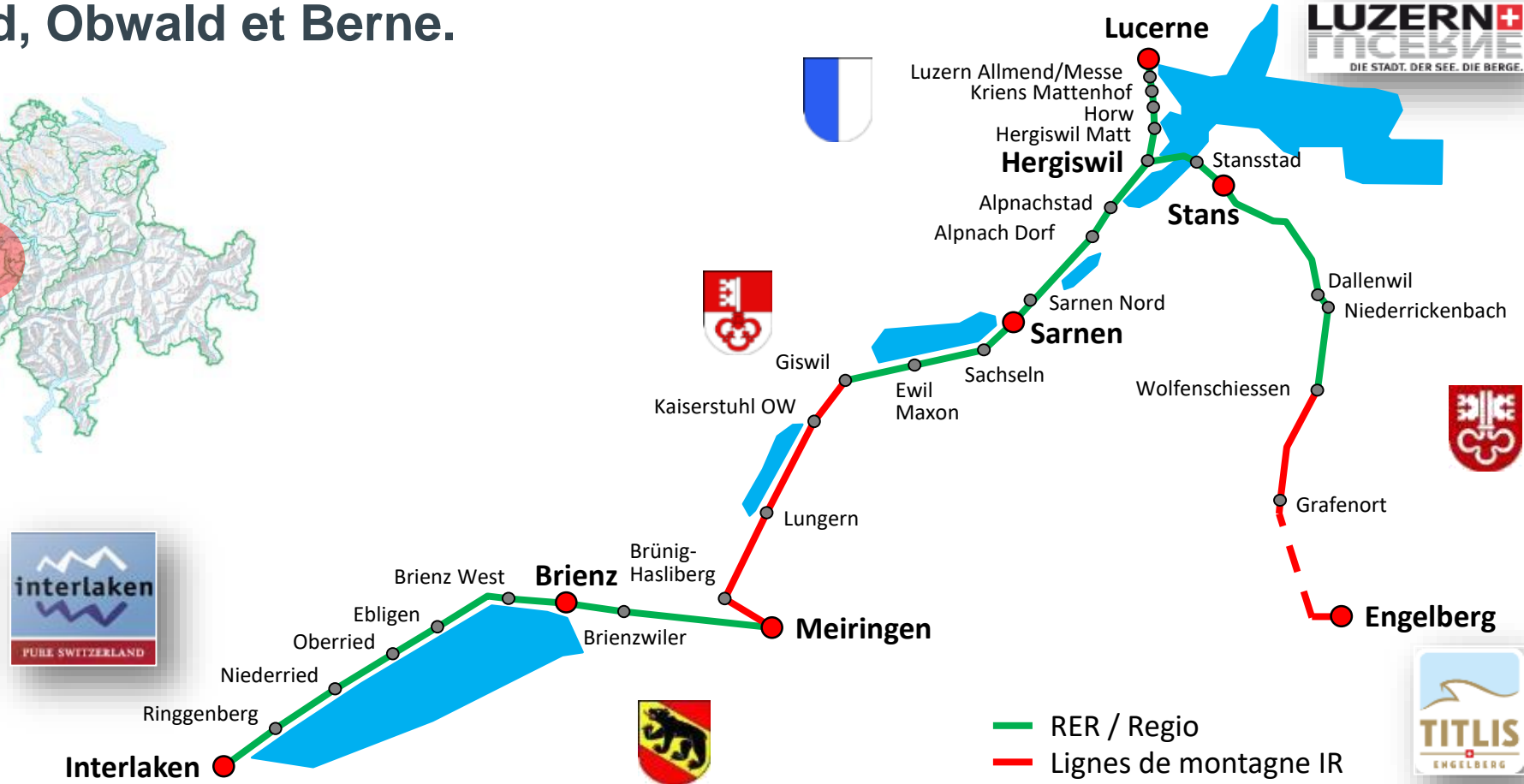
Il concerne les possibilités d'augmenter la durabilité lors du *refit* de la moitié de la durée de vie, lequel est prévu pour 2022.

Après 18 ans d'exploitation, un *refit* pour environ 1,5 million de francs par véhicule est prévu pour les dix véhicules de la zb. La durée de vie restante prévue sera de 16 ans.

Je remercie chaleureusement Matthias Tuchschnid pour son engagement auprès de la zb.

## Brève présentation de la zb

La Zentralbahn fournit la desserte de base et du trafic touristique dans les cantons de Lucerne, Nidwald, Obwald et Berne.



*Chemin de fer à voie métrique avec tronçons à adhésion et tronçons à crémaillère*

# Brève présentation de la zb

## Nos prestations (base: 2017)

Personnes transportées:	10,16 mio.
Personnes-kilomètres:	184,3 mio.
Trains-kilomètres:	3,16 mio.
Ponctualité des clients à destination:	97,7 %
Chiffre d'affaires d'exploitation (2017):	120 mio.
Total du bilan (2017):	745 mio.
Collaborateurs (personnes):	370

## Nos trains

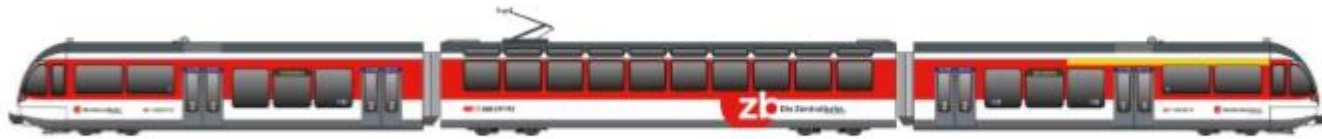
- 10** des Typs «SPATZ»
- 11** des Typs «FINK»
- 4** des Typs «ADLER» (Luzern–Interlaken Express)
- 3** des Typs HGe-GSW-Pendel (Luzern-Engelberg Express)
- 3** HGe-Pendel

## Notre infrastructure



**Réseau de lignes: 97,8 km (12,9 km à crémaillère)**  
**Gares et arrêts: 32**

# Situation de l'ABe 130 «SPATZ»



Données des véhicules	Caractéristiques techniques
Écartement: 1000 mm	Train du trafic local en trois parties avec voitures d'extrémités à plancher bas accouplées (aluminium) pour RER et Regio
Tension d'alimentation: 15 kV / 16.7 Hz	Voiture du milieu à plancher haut (acier) avec dispositif de traction
Nombre de véhicules: 10	Entièrement climatisés, WC accessibles aux handicapés
Mise en service : 2004-2005	4 larges portes d'entrée (1350 mm) par côté
Total de places assises: 131 dont 10 strapontins 270 places debout	4 plateformes de montée avec zone multiusages
Longueur: 51 930 mm	Larges passages ouverts entre les voitures
Largeur: 2650 mm	APFZ, KIS, AFZ, vidéo et postes d'annonces de secours
Poids en service: 66 t de tare, 92 t de poids brut	Traction complète dans la voiture à plancher haut du milieu
Puissance max. à la roue: 1150 kW	
Traction au démarrage: 100 kN jusqu'à 41 km/h	
Vitesse maximale: 100 km/h	



# Situation de l'ABe 130 «SPATZ»



## Caractéristiques d'exploitation des véhicules

Kilométrage par an et par véhicule:	env. 150 000 km
Kilométrage	12 535 km (⊙ 464 km/jour) dont 78,3 km par les trains de service (généralement de Stans à Stansstad)
Numéros de trains	18-19 par jour
Distance moyenne entre les arrêts	2,31 km, 2 min. 44 s
Vitesse moyenne entre deux arrêts	46,7 km/h
Moyenne journalière durée d'exploitation / mode veille	13,3 h / 10,7 h
Mise hors tension des véhicules en été	non



## Objectif de la campagne de mesures

Dans l'optique du *refit* du milieu de la durée de vie des véhicules SPATZ en 2022, le véhicule ABe130 008 a été équipé d'un système de mesure d'[openenergymonitor.org](https://openenergymonitor.org), complété et modifié par la Gestion énergétique des CFF pour répondre aux besoins ferroviaires. L'objectif était d'obtenir la meilleure vue possible des besoins énergétiques des dispositifs auxiliaires et des installations de chauffage, ventilation et climatisation. Les besoins en énergie de traction n'ont pas été pris en compte.

Outre les mesures, des calculs-modèles ont également été utilisés pour identifier des potentiels d'économie.

# Structure du système de mesure



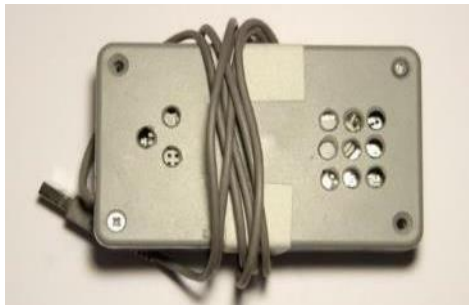
## *Emon Tx avec deux piles AA*

transmission radio 433 MHz toutes les 15 s,  
ampèremètre jusqu'à 100 A rms



## *Emon TH avec deux piles AA*

transmission radio 433 MHz toutes les 30 s  
mesure de la température

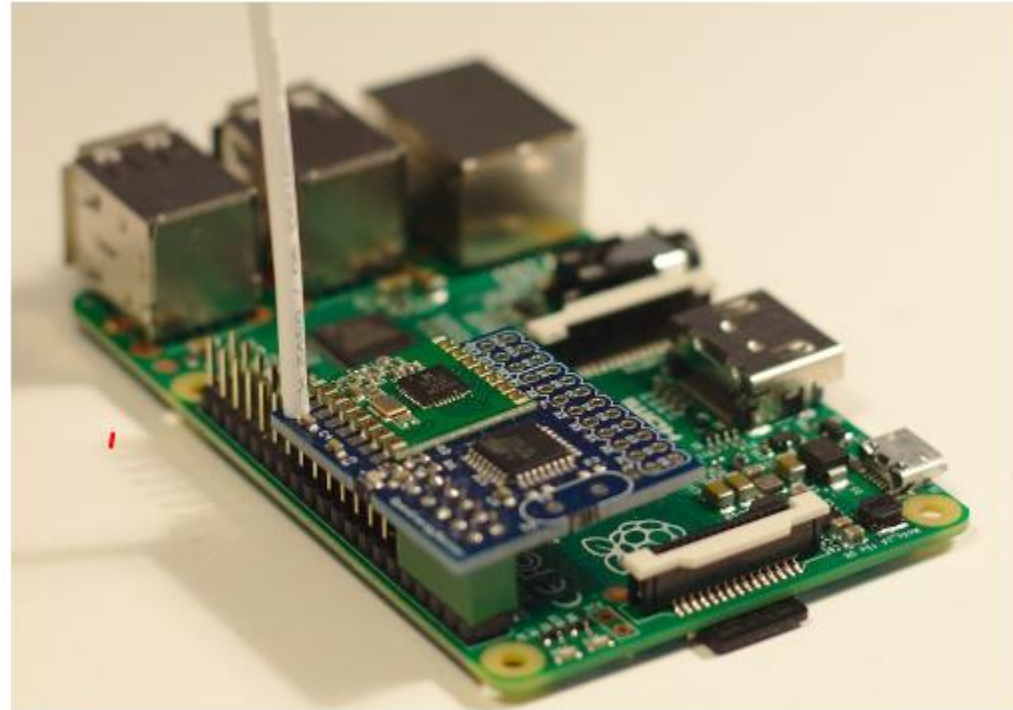


## *Capteur de CO<sub>2</sub> avec adaptateur USB 230V*

transmission radio 433 MHz toutes les 30 s

Les capteurs à piles ont envoyé des données durant plus de trois mois.

# Structure du système de mesure



## *Emon Base*

Les capteurs de CO<sub>2</sub> et de température ainsi que les boîtes de mesure du courant communiquaient sur 433 MHz sans fil avec cet appareil de base. Les données étaient transmises via modem au site Internet [www.emoncms.org](http://www.emoncms.org).

## Structure du système de mesure

Base de données sur [www.emoncms.org](http://www.emoncms.org)

Quelque 3,5 millions de valeurs de mesure ont été transmises à ce site Internet durant la campagne de mesures du 27 septembre au 25 décembre 2017.

Les graphiques ont également été réalisés dans l'environnement de cette base de données.

Les coûts du matériel utilisé se sont montés à environ 2000 francs, le système de mesure a été monté en un jour après un certain travail de préparation.

[illegible]

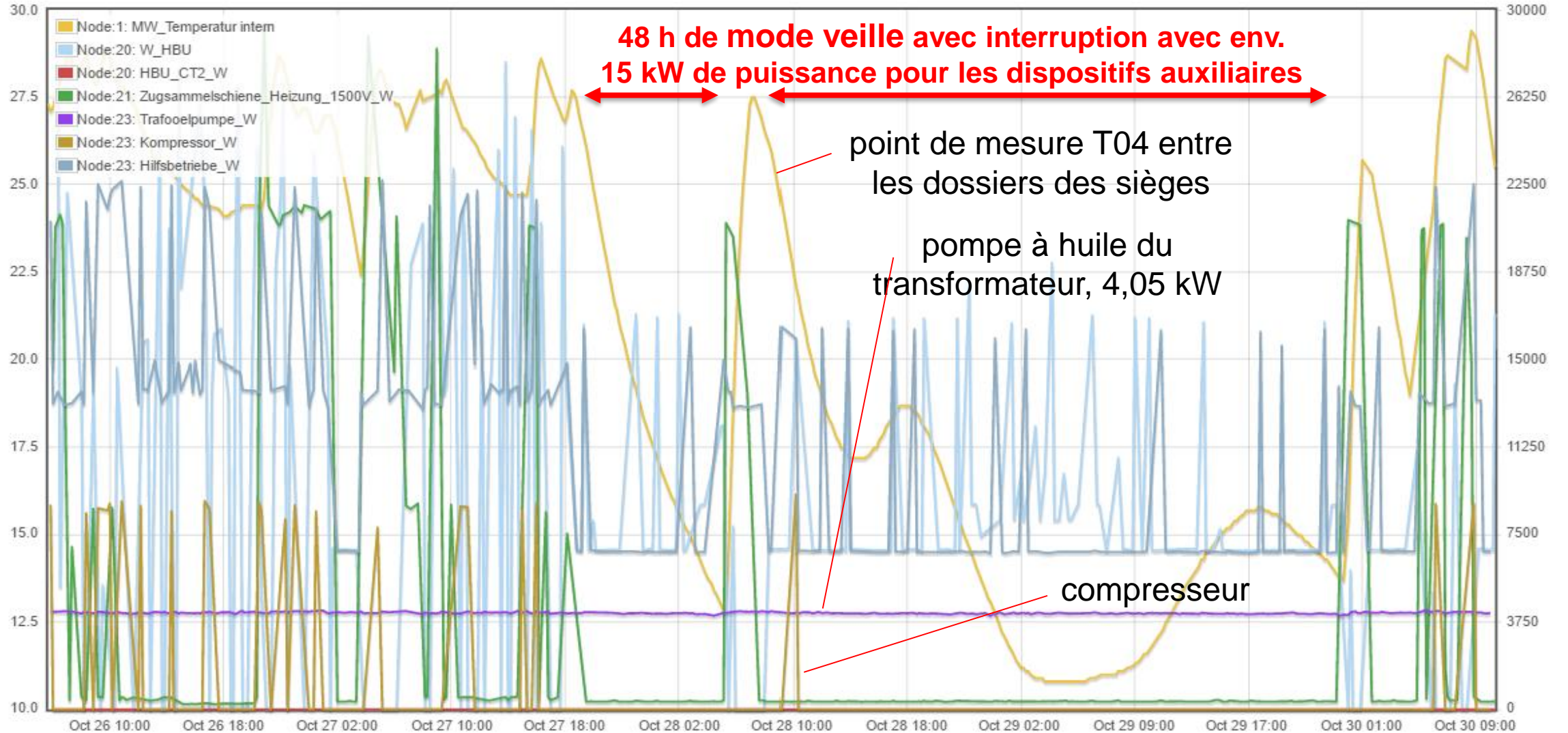
rouge	température entre les rangées de sièges
violet	température à la sortie d'air de l'installation de climatisation
bleu	température extérieure
vert	CO <sub>2</sub>
orange	boîte de mesure de l'énergie
jaune foncé	station réceptrice

## Potentiels d'économie d'énergie examinés

- Activation rapide du mode veille
- Mise hors tension de la pompe à huile du transformateur en mode veille
- Gestion et réduction des quantités d'air extérieur
- Adaptation de la température intérieure souhaitée

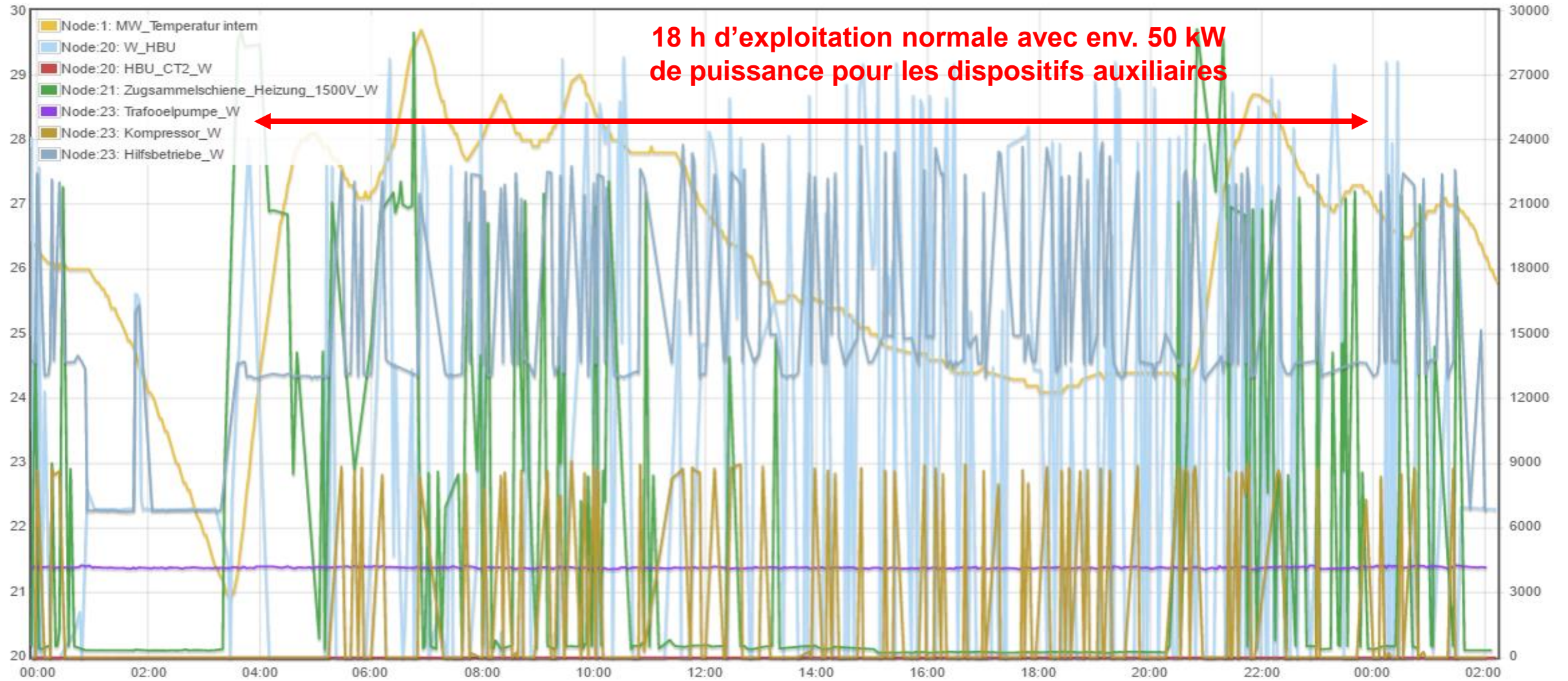


# Activation rapide du mode veille

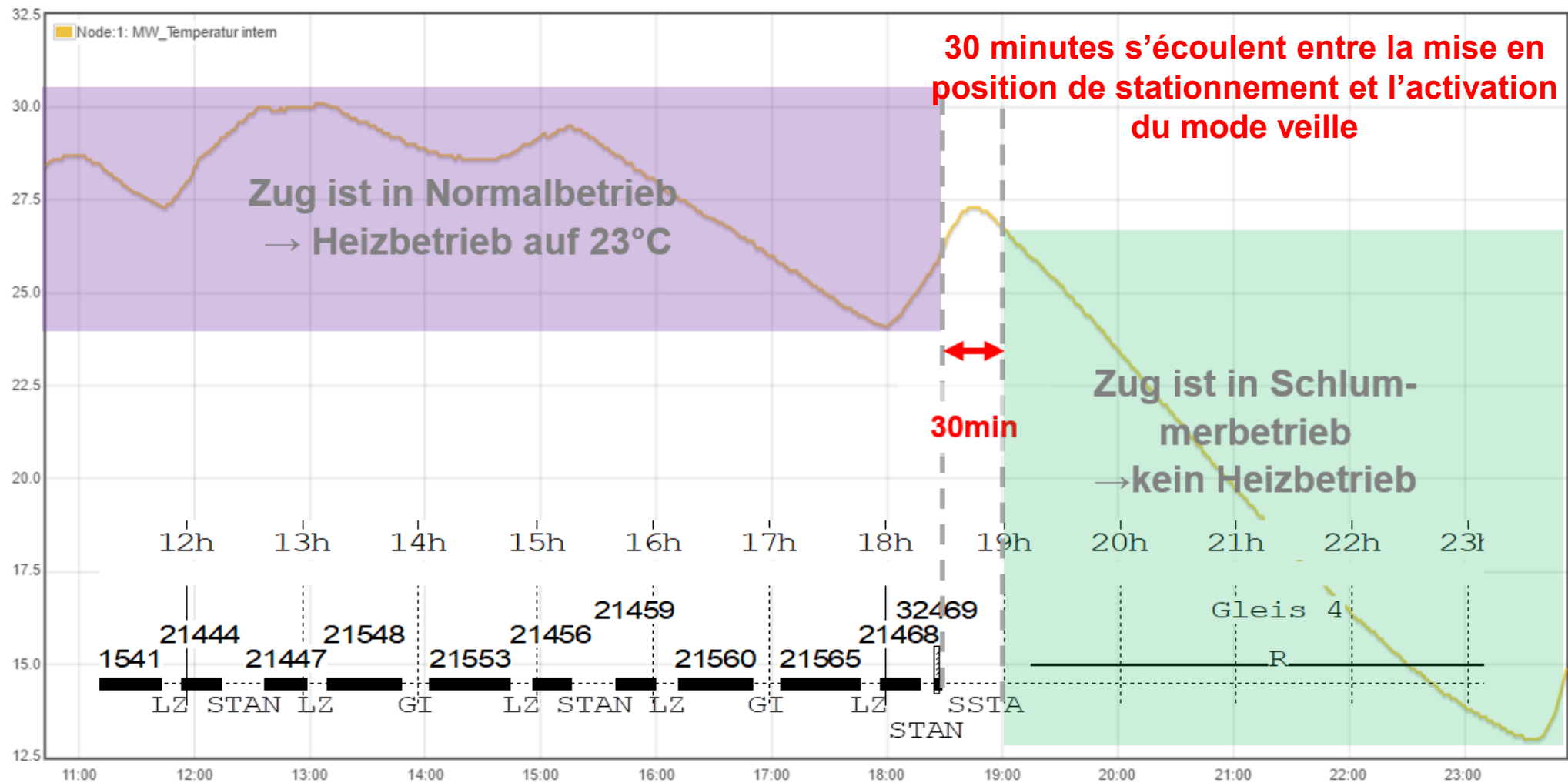




# Activation rapide du mode veille



# Activation rapide du mode veille



# Activation rapide du mode veille

**Hypothèses de potentiel d'économie et de coûts de la mesure isolée si le mode veille est activé après 2 minutes au lieu de 30:**

Hypothèses:

- 1x mode veille par jour et par véhicule sur 365 jours et 10 véhicules = 3650 fois
- économie d'énergie par activation du mode veille (50 kW - 15 kW) pour 28 minutes = 16,33 kWh
- 10 centimes / kWh

Coûts:

- 30 000 francs pour la modification du logiciel

# Activation rapide du mode veille

**Mesure N° 1: activation rapide du mode veille**

**Estimation des coûts: 30 000 francs; économie annuelle:  $\approx$  59 MWh, soit 5900 francs**

**Durée d'amortissement: 5,1 ans**

## ***Réalisation technique:***

Le mode veille s'active deux minutes après la mise en position de stationnement et l'extinction de l'éclairage dans les compartiments passagers.

## Activation rapide du mode veille

***Discussion des résultats par rapport au refit de la moitié de la durée de vie et à la durée de vie restante de 16 ans:***

Que signifierait la mise hors tension des véhicules en été pour la deuxième moitié de la durée de vie?

Si l'on met les véhicules hors tension pendant 5 mois sur 12, la durée d'amortissement augmente à 8,7 ans.

Étant donné que le logiciel devra de toute manière être adapté sous plusieurs aspects lors du *refit*, les coûts devraient plutôt être moindres que ce qui est calculé ici en tant que mesure isolée.

***La mesure sera réalisée.***

# Mise hors tension de la pompe à huile du transformateur durant le mode veille

## Hypothèses de potentiel d'économie et de coûts de la mesure isolée de mise hors tension de la pompe à huile du transformateur:

Hypothèses:

- mode veille pendant 10,7 h par jour et par véhicule sur 365 jours et 10 véhicules = 39 055 h
- économie d'énergie par heure: 4,05 kW/h
- 10 centimes / kWh

**Potentiel par année: environ 158 MWh, soit 15 800 francs**

# Mise hors tension de la pompe à huile du transformateur durant le mode veille

## Coûts:

Changement de la technique de contrôle-commande:	30 000 francs
Montage d'un contacteur:	9500 francs
Analyse:	30 000 francs (AMDE et faisabilité)
Travail de test:	20 000 francs
<b>Total:</b>	<b>89 500 francs</b>

**Mise hors tension de la pompe à huile du transformateur durant le mode veille**

**Estimation des coûts: 89 500 francs; économies annuelles: 158 MWh, soit 15 800 francs**

**Durée d'amortissement: 5,7 ans**



# Mise hors tension de la pompe à huile du transformateur durant le mode veille

***Discussion des résultats par rapport au refit de la moitié de la durée de vie et à la durée de vie restante de 16 ans (si faisabilité démontrée):***

Que signifierait la mise hors tension des véhicules en été pour la deuxième moitié de la durée de vie? Si l'on met les véhicules hors tension pendant 5 mois sur 12, la durée d'amortissement augmente à 9,8 ans.

Étant donné que le logiciel devra de toute manière être adapté sous plusieurs aspects lors du *refit*, les coûts devraient plutôt être moindres que ce qui est calculé ici en tant que mesure isolée.

Une pompe hors tension sur un véhicule stationné ne fait pas de bruit!

***La mesure sera réalisée si la faisabilité est établie.  
La faisabilité doit être examinée.***

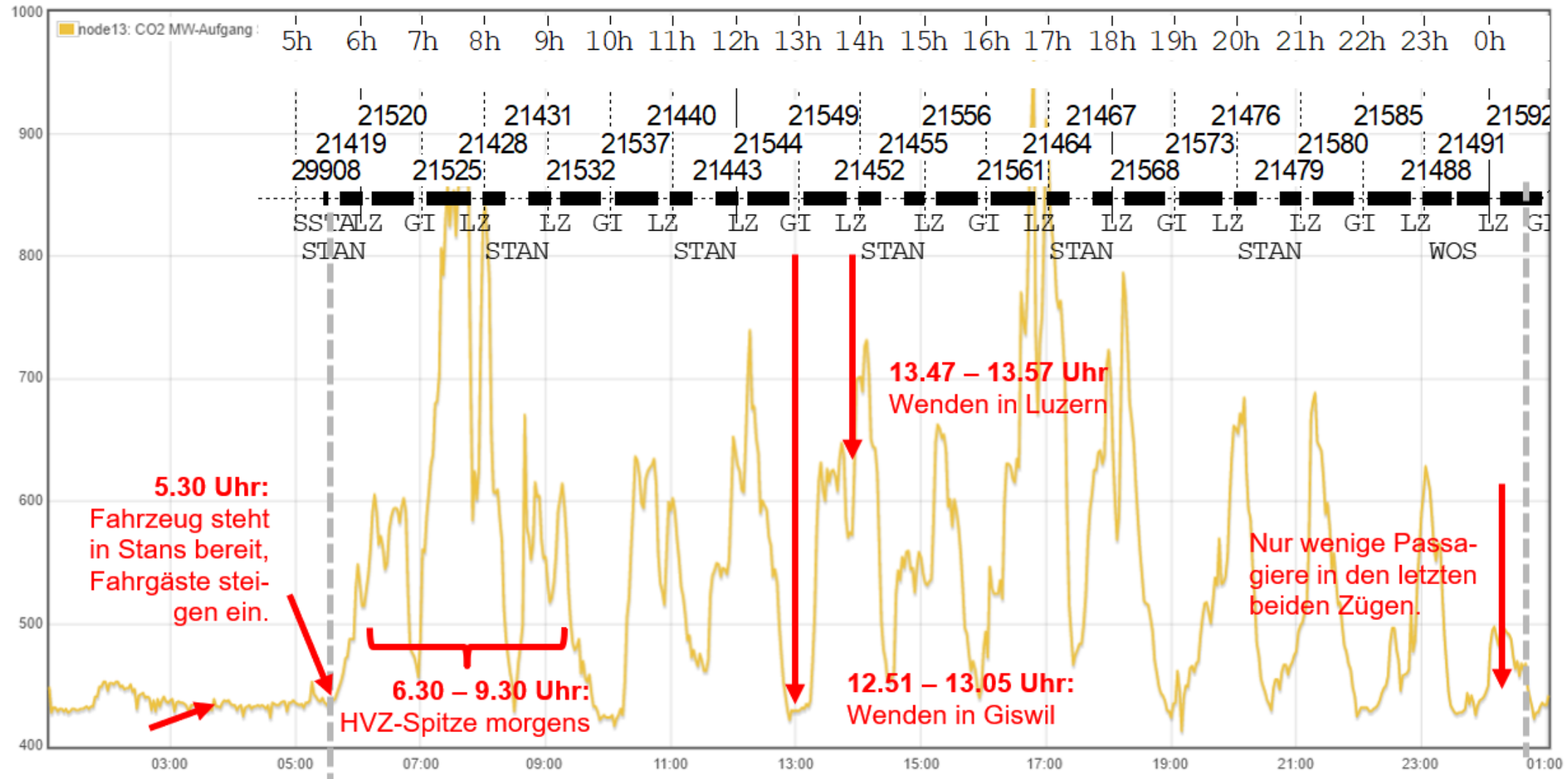
## Gestion et réduction des quantités d'air extérieur

### Qu'est-ce qui a été mesuré à ce sujet sur le véhicule ABe 130 008?

La concentration de CO<sub>2</sub> a été mesurée dans la voiture du milieu et les deux voitures d'extrémité de l'ABe 130 008 au moyen de plusieurs capteurs. Le nombre de passagers dans le véhicule n'a pas été mesuré.

Le capteur de CO<sub>2</sub> et le tableau journalier avec les valeurs de CO<sub>2</sub> les plus élevées ont été considérés. Le tableau journalier ci-après a duré 1156 minutes.

## Gestion et réduction des quantités d'air extérieur



## Gestion et réduction des quantités d'air extérieur

CO <sub>2</sub> -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%

# Gestion et réduction des quantités d'air extérieur

## Que signifient les valeurs mesurées?

- La concentration en CO<sub>2</sub> est mesurée en parties par million (ppm): 1000 ppm correspondent à 1 litre de CO<sub>2</sub> par mètre cube d'air. La concentration naturelle est d'environ 400 ppm, et la qualité de l'air peut être qualifiée de très bonne en dessous de 800 ppm.
- Dans la plupart des bureaux, la concentration oscille entre 800 et 1500 ppm, valeur au-dessus de laquelle il est nécessaire d'aérer les locaux. Dans les trains CFF disposant d'une gestion de l'air extérieur en fonction des besoins avec des capteurs de CO<sub>2</sub>, le système est réglé sur une concentration de 1500 ppm.
- Dans les cinémas, une concentration en CO<sub>2</sub> de plus de 2500 ppm est atteinte juste avant l'entracte et avant la fin du film.

## Gestion et réduction des quantités d'air extérieur

***Si l'on considère le graphique de la page 25 et le tableau de la page 26, la qualité de l'air est très bonne 96 % du temps même dans un train bien rempli.***  
***⇒ Il y a certainement ici un potentiel.***

## Gestion et réduction des quantités d'air extérieur

### ***Estimation des économies d'énergie possibles sur la base d'un calcul-modèle figurant à l'annexe 1:***

L'estimation de l'économie d'énergie se fonde sur un modèle développé par le secteur Technique de climatisation des CFF: le taux d'air extérieur peut être réduit à une moyenne de 40 % (en cas de fixation à 1500 ppm de CO<sub>2</sub>). L'économie résulte du fait que seule la quantité d'air extérieur nécessaire à maintenir la qualité de l'air doit être chauffée ou refroidie. Une économie d'environ 7,1 MWh par année et par caisson de voiture est attendue. 3 x 7,1 MWh à 0,1 franc/kWh et pour 10 véhicules correspondent à un potentiel de **21 300 francs par année.**



## Gestion et réduction des quantités d'air extérieur

### ***Le calcul-modèle détaillé peut être consulté à l'annexe 1, 1<sup>re</sup> et 2<sup>e</sup> parties***

- Il a été effectué pour 148 personnes dans le véhicule, différentes températures intérieures et extérieures et sur toute l'année (profil de température sur l'année en heures)
- 100 % d'air extérieur dans le calcul signifient 10 à 15 m<sup>3</sup>/h par personne (en fonction de la température de l'air extérieur) et un total maximal de 2210 m<sup>3</sup>/h.

### ***Quelle quantité nominale d'air frais est amenée dans le véhicule?***

- Avec une vitesse de ventilation réduite, les deux installations de climatisation des voitures d'extrémité et celle de la voiture du milieu amènent ensemble déjà 3500 m<sup>3</sup>/h d'air frais, et environ 5400 m<sup>3</sup>/h à puissance maximale!

## Gestion et réduction des quantités d'air extérieur

***L'approvisionnement en air frais installé présente un très grand potentiel d'économie d'énergie dont l'examen sera poursuivi.***

Les approches prévues sont les suivantes:

- Installation de capteurs de CO<sub>2</sub> et adaptation des commandes de la climatisation
- Utilisation des données des capteurs de comptage automatique des passagers et adaptation des commandes de la climatisation
- Utilisation de la pression pneumatique du **FLG** et adaptation
- Réduction fixe des quantités d'air extérieur par la réduction de l'ouverture

***Les recherches sur le sujet se poursuivent.***

***Le moment du refit de la moitié de la durée de vie est judicieux pour la réalisation si toutes les 30 installations de climatisation sont également révisées.***

# Adaptation de la température intérieure souhaitée

## Contexte

Aujourd'hui, la température souhaitée dans les compartiments voyageurs est de 23 °C lorsque le chauffage est allumé; elle est adaptée en été lorsque la température extérieure augmente.

## Adaptation de la température intérieure souhaitée

### Évaluation du potentiel par un calcul-modèle pour un véhicule à l'annexe 2:

- Le modèle prévoit une quantité d'air extérieur de 15 m<sup>3</sup>/h, soit au total 2160 m<sup>3</sup>/h, pour 144 personnes/véhicule.
- Le calcul montre le potentiel d'économie d'énergie en cas de diminution de la température intérieure souhaitée de 23 à 22 °C et de 23 à 20 °C.
- Les calculs indiquent un potentiel respectif de **5800** et **15 800 francs** par année pour 10 véhicules.

## Adaptation de la température intérieure souhaitée

**Adaptation de la température intérieure souhaitée de 23 à 20 °C**

**Estimation des coûts: 30 000 francs; économies annuelles: 158 MWh, soit 15 800 CHF**

**Durée d'amortissement: 1,9 an**

***La mesure sera réalisée.***

## Récapitulation et prochaines étapes

- Il existe des moyens de mesure peu chers et simples à installer, les données peuvent être enregistrées et traitées dans une base de données en ligne.
- Les mesures et les calculs-modèles sont très utiles pour identifier les potentiels d'économie d'énergie.
- Le prochain *refit* de la moitié de la durée de vie offre à la zb la possibilité de réaliser ces mesures à moindres frais sous forme de paquet global sur la flotte des ABe 130. Nous allons profiter de cette chance!

***Merci pour votre attention!***

# Annexe 1: calcul-modèle pour la réduction des quantités d'air extérieur, 1<sup>re</sup> partie

## 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	[m <sup>3</sup> /h]
Faktor Einsatz	0.554		Mittl. Leakage bei T<5°C oder T>26°C	49	[m <sup>3</sup> /h]
Faktor Schlummern	0.446		Mittl. Aussenluftanteil bei T>-5°C	740	[m <sup>3</sup> /h]
Aussenluft rate gegenüber heute	40.0%		Mittl. Leakage bei T>5°C	74	[m <sup>3</sup> /h]
spez. Wärmekapazität Luft c <sub>p,l</sub>	1.005	[kJ/(kg·K)]	Aussenluft T <sub>em</sub> < -5°C	10	[m <sup>3</sup> /h*Sitzplatz]
Dichte Luft	1.293	[kg/m <sup>3</sup> ]	Aussenluft T <sub>em</sub> > -5°C	15	[m <sup>3</sup> /h*Sitzplatz]

Randbedingungen		
t <sub>am</sub>	Häufigk.	t <sub>im</sub> IST
[°C]	[h]	[°C]
-15	20	22.0
-10	70	22.0
-4	290	22.0
0	730	22.0
5	1'670	22.0
10	1'850	22.0
15	1'680	22.0
20	1'190	22.0
22	550	22.4
24	320	23.4
26	170	23.8
28	100	24.5
30	70	25.5
35	50	30.0
Summe	8'760	

Einsparung während der Fahrt					
V <sub>Le</sub>	V <sub>Le,Leck</sub>	V <sub>Le,eff</sub>	Energie bisher	Energie mit Bedarfslüftung	Differenz
[m <sup>3</sup> ]			[kWh]	[kWh]	[kWh]
493	49	197	73	29	44
493	49	197	221	88	133
740	74	296	1'116	446	670
740	74	296	2'377	951	1'426
740	74	296	4'202	1'681	2'521
740	74	296	3'286	1'314	1'972
740	74	296	1'741	696	1'044
740	74	296	352	141	211
740	74	296	33	13	20
740	74	296	28	11	17
740	74	296	55	22	33
493	49	197	35	14	21
493	49	197	31	12	19
493	49	197	25	10	15
Modellierungsunsicherheit (Annahme 20%)				1'086	-1'086
			13'576	6'516	7'059



## Annexe 1: calcul-modèle pour la réduction des quantités d'air extérieur, 2<sup>e</sup> partie

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			

# Annexe 2: adaptation de la température intérieure souhaitée, 1<sup>re</sup> partie

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

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

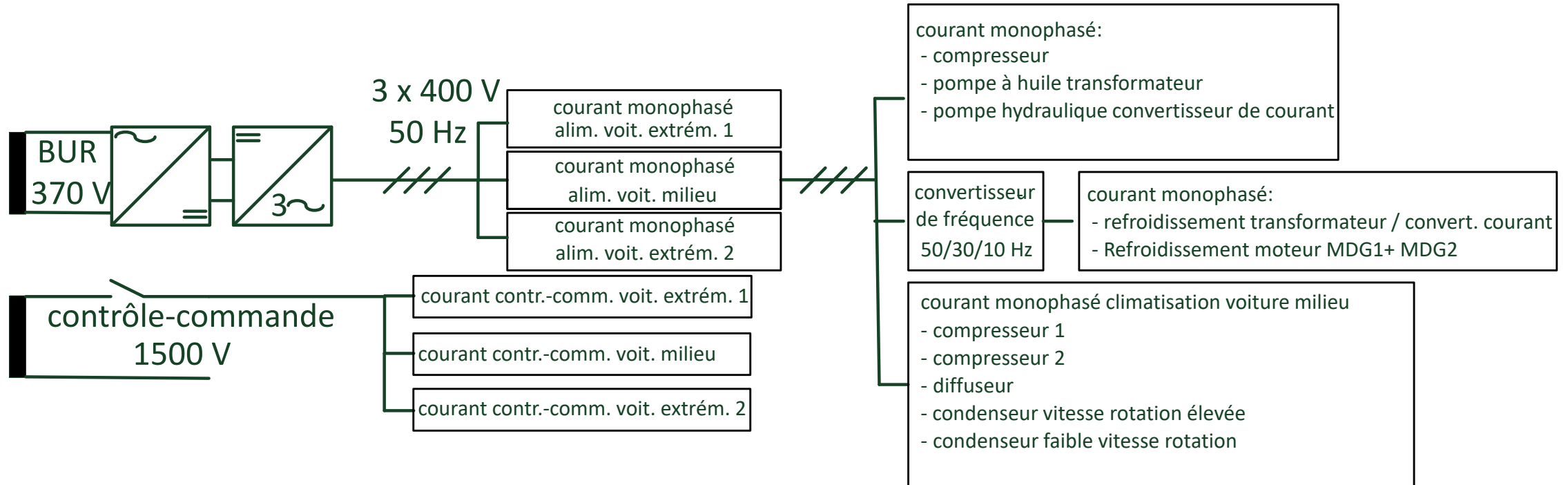
Anzahl Wagen pro Triebzug	3 Stück
Anzahl Triebzüge	10 Stück
Anzahl Wagenkasten	30 Stück
Zug in Betrieb	13.3 h/d
Wagenkastenstunden in Betrieb pro Tag	399 [h/Tag]

Variante 22°C					
A [m <sup>2</sup> ]		197			
k [W/m <sup>2</sup> K]		1.8			
durchschn. # Sitzplätze pro Wagenkasten		48			
durchschn. Sitzplatzbelegung		100%			
Aussenluftanteil [m <sup>3</sup> /h]		720			
Anzahl Türzyklen pro Stunde [1/h]		10			
Luftaustausch pro Halt pro Türe [m <sup>3</sup> ]		10			
Anzahl Türen pro Wagen		2			
Zus. Luft (Türöffnung) pro Stunde [m <sup>3</sup> /h]		200			
Einsatzzeit * #Wagenk. [WGK*h/d]		399			
Randbedingungen				Transmission Lüftung	
t <sub>am</sub>	Häufigk.	t <sub>m</sub> IST	t <sub>m</sub> 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<sub>m</sub> beachtet, da teilweise Strahlung schon ausreicht

Variante 20° C					
A [m <sup>2</sup> ]		197			
k [W/m <sup>2</sup> K]		1.8			
durchschn. # Sitzplätze pro Wagenkasten		48			
durchschn. Sitzplatzbelegung		100%			
Aussenluftanteil [m <sup>3</sup> /h]		720			
Anzahl Türzyklen pro Stunde [1/h]		10			
Luftaustausch pro Halt pro Türe [m <sup>3</sup> ]		10			
Anzahl Türen pro Wagen		2			
Zus. Luft (Türöffnung) pro Stunde [m <sup>3</sup> /h]		200			
Einsatzzeit * #Wagenk. [WGK*h/d]		399			
Randbedingungen				Transmission Lüftung	
t <sub>am</sub>	Häufigk.	t <sub>m</sub> IST	t <sub>m</sub> 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)	
					158
				CHF/a	16'000
Umgerechnet auf Haushalte				40	

## Annexe 3: vue d'ensemble des courants mesurés dans l'armoire de commande



## Annexe 3: vue d'ensemble des courants mesurés dans l'armoire de commande

