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)

Energieeffiziente HLK im öV

Jahrestreffen vom 5.4.2019 in Ittingen

Schlussbericht

Franz Sidler, Hochschule Luzern
Technikumstrasse 21, 6048 Horw, franz.sidler@hslu.ch, www.hslu.ch

Urs-Peter Menti, Hochschule Luzern
Technikumstrasse 21, 6048 Horw, urs-peter.menti@hslu.ch, www.hslu.ch

Impressum

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

Programmleiter:
Tristan Chevroulet, BAV

Projektnummer: 140 (des ESöV 2050-Programms)
Bezugsquelle
Kostenlos zu beziehen über das Internet
www.bav.admin.ch/energie2050

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren/-innen dieses Berichts verantwortlich.

Bern, den 29.08.2019

Inhalt

Danksagung 4
Zusammenfassung, Tagesprogramm 4
Résumé sommaire 4
Executive summary 5
1. Ausgangslage 7
2. Ziele 7
3. Methodik 7
4. Ergebnisse der Präsentationen 8
4.1 Key-Referat «Effizienzverbesserungen und Umsetzung der Energiestrategie 2050» 8
4.2 Strategie und Ziele BAV 9
4.3 Präsentationen der vorgestellten Projekte 10
4.3.1 Temperaturabsenkung im S-Bahnverkehr Zürich 10
4.3.2 Auswertung von Verbrauchs- und Klimadaten mit multipler Regression am Steuerwagen 11
4.3.3 Messung der Türöffnungsverluste beim Trolleybus 12
4.3.4 Verbesserung der Wärmedämmung bei einem NINA-Triebzug BLS 13
4.3.5 Berechnung von Kondensation in Zugwänden 14
4.3.6 Anfeuchtung Wärmedämmung (Simploneffekt) 15
4.3.7 Messungen der klimatischen Verhältnisse in der Fahrzeughülle des RhB-Steuerwagens 16
4.3.8 3D-Wärmebrückenanalysen im RhB-Steuerwagen BDt1751 17
4.3.9 Innovative Wärmedämmkonzepte zur Heizenergieeinsparung im RhB-Steuerwagen 18
5. Workshop 19
5.1 Resultate: 19
5.1.1 Elektrische Busse (HLK, Hülle) 19
5.1.2 Fahrzeughülle 20
5.1.3 HLK Komponenten 21
5.1.4 HLK Betrieb 21
5.1.5 Regulation 22
5.2 Wichtigkeit der Themen 23
6. Schlussfolgerungen und Empfehlungen 23
7. Anhang 24
7.1 Keyreferat «Effizienzverbesserungen und Umsetzung der Energiestrategie 2050» 24
7.2 Strategie und Ziele BAV 25
7.3 Präsentationen der vorgestellten Projekte 26
7.3.1 Temperaturabsenkung im S-Bahnverkehr Zürich 26
7.3.2 Auswertung von Verbrauchs- und Klimadaten mit multipler Regression am Steuerwagen 27
7.3.3 Messung der Türöffnungsverluste beim Trolleybus 28
7.3.4 Verbesserung der Wärmedämmung bei einem NINA-Triebzug BLS 29
7.3.5 Berechnung von Kondensation in Zugwänden 30
7.3.6 Anfeuchtung Wärmedämmung (Simploneffekt) 31
7.3.7 Messungen der klimatischen Verhältnisse in der Fahrzeughülle des RhB-Steuerwagens 32
7.3.8 3D-Wärmebrückenanalysen im RhB-Steuerwagen BDt1751 33
7.3.9 Innovative Wärmedämmkonzepte zur Heizenergieeinsparung im RhB-Steuerwagen 34
7.4 Workshop 35
7.4.1 Elektrische Busse (HLK, Hülle) 35
7.4.2 Fahrzeughülle 36
7.4.3 HLK Komponenten 42
7.4.4 HLK Betrieb 43
7.4.5 Regolatorien 44
7.5 Teilnehmerliste 46

Danksagung

Wir bedanken uns beim Bundesamt für Verkehr (Dr. Tristan Chevroulet und Stefan Schnell) für die finanzielle Unterstützung. Ohne diesen Finanzpartner wäre es nicht möglich gewesen, das Jahrestreffen in dieser Form umzusetzen.

Des Weiteren möchten wir uns bei allen Referenten für Ihre Präsentationen und den spannenden Austausch bedanken.

Ein weiterer Dank geht an alle Teilnehmenden, die aktiv in Gesprächen oder im Workshop dazu beigetragen haben, Ihr Wissen einzubringen.

Zusammenfassung, Tagesprogramm

Das Jahresmeeting 2019 «Energieeffiziente HLK im öV» wurde dieses Jahr wieder in Ittingen mit 29 Teilnehmenden gemäss folgendem Tagesprogramm durchgeführt. Herr Mathieu Bayon der Firma Bombardier präsentierte im Key-Referat Effizienzverbesserungen am Beispiel des neuen Zug Twindexx Express, welcher in Zukunft bei der SBB eingesetzt wird. Die Ziele und welche Projekte vom BAV in der Energiestrategie 2050 gefördert werden, wurde von Tristan Chevroulet vorgestellt. In neun Präsentationen wurden aktuelle F+E Projekte aus dem Bereich «Energieeffizienz im öffentlichen Verkehr», welche vom BAV unterstützt wurden, vorgestellt und diskutiert.

In Kleingruppen wurde in Workshops zu fünf thematischen Schwerpunkten Effizienzverbesserungen diskutiert. Ziel der Workshops war, den zukünftigen Forschungs- und Entwicklungsbedarf sowie die Entwicklung neuer Projektideen zu diskutieren. Die Auswertung der Workshopthemen zeigte, dass den Teilnehmenden ein einfaches Monitoring am wichtigsten ist.

Die Veranstaltung war eine ausgezeichnete Plattform für den informellen und bilateralen Austausch unter den Beteiligten.

Résumé sommaire

L'assemblée annuelle 2019 "CVC efficace sur le plan énergétique dans les transports publics" s'est de nouveau tenue cette année à Ittingen avec 29 participants, selon le programme de la journée suivant. M. Mathieu Bayon, du groupe Bombardier, a présenté les améliorations de l'efficacité énergétique dans le discours d'ouverture en prenant l'exemple du nouveau train Twindexx Express, qui sera utilisé par les CFF à l'avenir. Tristan Chevroulet a présenté les objectifs de l'OFT et les projets qui seront promus dans la stratégie énergétique 2050. Neuf présentations ont permis d'exposer et de discuter les projets de R&D en cours dans le domaine de "l'efficacité énergétique dans les transports publics" soutenus par l'OFT.

Dans le cadre de workshops, cinq thématiques d'amélioration de l'efficacité énergétique ont été débattu en petits groupes. L'objectif de ceux-ci était de discuter des besoins futurs en matière de recherche et de développement ainsi que de l'élaboration de nouvelles idées de projets. L'évaluation des thèmes des workshops a montré qu'un suivi simple est le plus important pour les participants.

L'événement a été une excellente plateforme d'échanges informels et bilatéraux entre les participants.

Executive summary

The annual meeting 2019 "Energy-efficient HVAC in public transport" was again held this year in Ittingen with 29 participants according to the following daily programme. Mr. Mathieu Bayon of Bombardier presented efficiency improvements in the keynote speech using the example of the new Twindexx Express train, which will be used by SBB in the future. Tristan Chevroulet presented the BAV's objectives and which projects will be promoted in the Energy Strategy 2050. In nine presentations, current R&D projects in the field of "Energy efficiency in public transport" supported by the FOT were presented and discussed.

In small groups, the workshops discussed five thematic focal points of efficiency improvements. The aim of the workshops was, to discuss future research and development requirements and the development of new project ideas. The evaluation of the workshop topics showed that simple monitoring is most important to the participants.

The event was an excellent platform for informal and bilateral exchange between the participants.

Tagesprogramm

8:45 – 9:15	**Eintreffen der Gäste**	
9:15	**Begrüssung**	**Tristan Chevroulet, BAV**
9:20	**Allgemeine Einführung, Programm**	**Urs-Peter Menti, HSLU**
9:25	**Präsentationen 1**	
	- Temperaturabsenkung im S-Bahnverkehr Zürich	Johannes Dréwniok, SBB
	- Auswertung von Verbrauchs- und Klimadaten mit multipler Regression am Bsp. Steuerwagen RhB	Jeremy Fleury, EPFL
	- Messung der Türöffnungsverluste beim Trolleybus	Franz Sidler, HSLU
	- Verbesserung der Wärmedämmung bei einem NINA-Triebzug	Christoph Isenschmid, BLS
10:30	**Pause**	
10:45	**Präsentationen 2**	
	- Berechnung von Kondensation in Zugwänden	Marc Achermann, HSLU
	- Anfeuchtung Wärmedämmung (Simploneffekt)	Peter Wüest, Ecotans
	- Messungen der klimatischen Verhältnisse in der Fahrzeughülle des RhB-Steuerwagens BDt1751ff	Wolfgang Rädle, BFH
	- 3D-Wärmebrückenanalysen im RhB-Steuerwagen BDt1751ff	Amabel Melián Hernández, BFH
	- Innovative Wärmedämmkonzepte zur Heizenergieeinsparung im RhB-Steuerwagen BDt1751ff	Urs Uehlinger, BFH
12:00	**Lunch**	
13:00	**Keyreferat Effizienzverbesserungen und Umsetzung der Energiestrategie 2050**	**Mathieu Bayon, Bombardier**
13:45	**Strategie und Ziele BAV**	**Tristan Chevroulet, BAV**
14:00	**Einführung und Workshop zu den Themen**	**Urs-Peter Menti, HSLU**
	1) Elektrische Busse (HLK, Hülle)	
	2) Fahrzeughülle (Fenster, Wagendämmung)	Andreas Schüler, EPFL
	3) HLK Komponenten (Heizung, Lüftung, Kühlung)	Franz Sidler, HSLU
	4) HLK Betrieb (Lastmanagement, Schlummerbetrieb, Raumsollwerte)	Johannes Drewniok, SBB
	5) Joker (freie Themenwahl)	Rémy Chrétien, Programm Office
15:10	**Pause**	
15:25	**Präsentationen der Ergebnisse der Workshops**	**Gruppensprecher**
16:30	**Schlusswort, Dank**	**Tristan Chevroulet, BAV**

1. Ausgangslage

Das BAV finanziert diverse F+E-Projekte im Bereich «Energieeffizienz im öffentlichen Verkehr» mit Schwerpunkt auf der HLK-Technik und der Fahrzeughülle.

In den letzten Jahren wurden verschiedene Treffen durchgeführt, an welchen die Beteiligten aktuelle Ergebnisse vorstellten. Organisiert wurden die Veranstaltungen von Prof. P. Oelhafen (Universität Basel). In diesem Jahr wurde die Veranstaltung durch die Hochschule Luzern im Auftrag des BAV organisiert und durchgeführt.

Die Veranstaltung ist eine ausgezeichnete Plattform für den Informationsaustausch unter den Beteiligten: Einerseits durch Referate, andererseits durch den informellen, bilateralen Austausch in den Pausen und beim anschliessenden gemeinsamen Lunch. Durch die Veranstaltung hat die Vernetzung der im Bereich «Energieeffiziente HLK im öffentlichen Verkehr» aktiven Organisationen und Personen merklich zugenommen.

2. Ziele

Die Organisation der Veranstaltung Jahrestreffen 2019 «Energieeffiziente HLK im öV» verfolgte folgende Ziele:

- Die Ergebnisse der laufenden Forschung und Entwicklung vorstellen
- Den Informationsaustausch unter den Beteiligten verbessern
- Aufzeigen von zukünftigen Forschungsthemen im Bereich HLK / Fahrzeughülle im öV

3. Methodik

An der Veranstaltung wurden im ersten Teil Ergebnisse aus der laufenden Forschung und Entwicklung von verschiedenen Projekten vorgestellt. Es wurden folgende Projekte à 15 Minuten vorgetragen:

• Temperaturabsenkung im S-Bahnverkehr Zürich	Johannes Dréwniok, SBB
• Auswertung von Verbrauchs- und Klimadaten mit multipler Regression am Bsp. Steuerwagen RhB	Jeremy Fleury, EPFL
• Messung der Türöffnungsverluste beim Trolleybus	Franz Sidler, HSLU
• Verbesserung der Wärmedämmung bei einem NINA-Triebzug	Christoph Isenschmid, BLS
• Berechnung von Kondensation in Zugwänden	Marc Achermann, HSLU
• Anfeuchtung Wärmedämmung (Simploneffekt)	Peter Wüest, Ecotans
• Messungen der klimatischen Verhältnisse in der Fahrzeughülle des RhB-Steuerwagens BDt1751ff	Wolfgang Rädle, BFH
• 3D-Wärmebrückenanalysen im RhB-Steuerwagen BDt1751ff	Amabel Melián Hernández, BFH
• Innovative Wärmedämmkonzepte zur Heizenergieeinsparung im RhB-Steuerwagen BDt1751ff	Urs Uehlinger, BFH

Die einzelnen Präsentationen werden im Kapitel 4 kurz zusammengefasst. Die vollständigen Präsentationen sind im Anhang zu finden.

Der Keynote-Speaker Mathieu Bayon der Firma Bombardier präsentierte Effizienzverbesserungen am neuen Zug Twindexx Express, welcher in Zukunft bei der SBB zum Einsatz kommt.

Das BAV stellte in der Präsentation, basierend auf der Energiestrategie 2050, das Förderprogramm und die Anforderungen an Projektgesuch vor.

Im zweiten Teil wurden in Kleingruppen in fünf Workshops Themen zu Effizienzverbesserungen bearbeitet und diskutiert. Im Anschluss der Workshops habe die Teilnehmenden nach der Wichtigkeit priorisiert.

4. Ergebnisse der Präsentationen

Die Präsentationen werden hier kurz zusammengefasst. Die vollständigen Präsentationen sind im Anhang zu finden.

4.1 Key-Referat «Effizienzverbesserungen und Umsetzung der Energiestrategie 2050»

Referent: Mathieau Bayon, Head of System, Performance & Fleet Support Engineering, Bombardier

Ausgangslage:

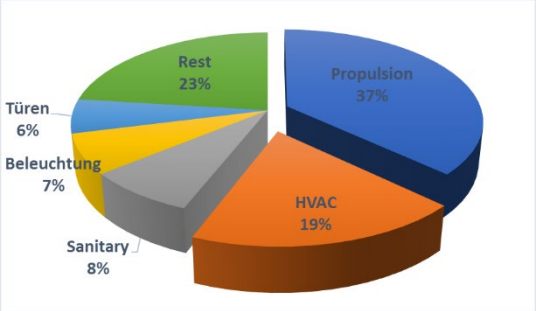
Bombardier ist ein weltweit tätiges Unternehmen mit Hauptsitz in Montréal (Kanada) mit mehr als 69'000 Mitarbeitenden weltweit. Das Segment Transportation ist eines der vier Business Segmente (Business Aircraft, Commercial Aircraft und Aerostructure & Engineering Services) von Bombardier.

Ziel:

Präsentation der Effizienzverbesserungen der Firma Bombardier in den Bereichen der Traktion und den HLK Bereichen der Züge. Die Beispiele wurden basierend auf den neuen doppelstöckigen Zügen der SBB vorgestellt.

Konzept des SBB Triebzugs:

Der Twindexx ist ein 8 oder 4-teiliger Triebzug. Auf einer Länge von 100 oder 200 m sind bis zu 682 Sitzplätze vorhanden. Der Triebzug wird von 12 Motoren mit einer Motorenleistung von 7.5 MW angetrieben und erreicht eine Höchstgeschwindigkeit von 200 km/h.



Die Aufteilung des durchschnittlichen Gesamtenergieverbrauchers ist in Abbildung 1 dargestellt. Der Energiebedarf der Komforteinrichtungen zum Heizen, Kühlen und Lüften (HVAC) beträgt 19%.

Abbildung 1 Durchschnittlicher Energieverbrauch

Traktionsgruppe:

Bei der Entwicklung des neuen Zugs wurden vor allem in diesen Baugruppen folgende Effizienzverbesserungen durchgeführt:

Transformer	optimierte Kühlung nach Bedarf
Getriebeöl	Kompromiss zwischen Wartung und Getriebeeffizienz
Stromrichter/Motor	Hoher Wirkungsgrad bei Teillast, geringe Rotorverluste, Wasserkühlung
Bordnetz	unnötige Verbraucher werden abgeschaltet
Driver Assistent System	Energieanzeige, Fahrempfehlung

HLK Gruppe:

Eine optimierte Wärmedämmung wurde als Fahrzeugstandardisierung umgesetzt.
Das HLK-Systeme erfüllt hohe Ansprüche an den Klimakomfort: Innentemperatur +/- 1K zum Sollwert, extremer horizontaler Gradient < 2K, extremer vertikaler Gradient < 3K und Luftgeschwindigkeit. Im normalen Betrieb wird der Zug mittels Wärmepumpe geheizt und gekühlt. Die Wärme wird mittels Bodenheizung und der leicht temperierten Wandheizung und Heizlüftern bei den Eingängen eingebracht. Mit der Wandheizung wird der Komfort an den äusseren Sitzplätzen erhöht. Die Betriebszustände wurden optimiert, nicht erforderliche Komponenten werden deaktiviert.
Die Aussen- und Umluftklappen werden abhängig von Innen- und Aussenluft sowie CO_2 gesteuert.

Fazit:

Zu den Optimierungen der Traktion wird in den zukünftigen Zügen der Energiebedarf aller Komponenten der Traktion und der HLK reduziert. Dabei wurde auch der U-Wert verbessert. Viele Energiesparfunktionen wie Schlummerbetrieb oder die Abschaltung von nicht benötigten Komponenten wird in den neuen Zügen bei Bombardier als Standard verfügbar sein.

4.2 Strategie und Ziele BAV

Referent: Tristan Chevroulet, Programmleiter Energiestrategie öV, Bundesamt für Verkehr

Ausgangslage:

Ausgangspunkt für das Programm ist die Energiestrategie des Bundes. Sie strebt an, den Energieverbrauch bis 2050 um die Hälfte zu reduzieren, den CO_2-Ausstoss zu verringern und aus der Kernenergie auszusteigen. Der Verkehr ist ein Schlüsselbereich zur Erreichung dieser Ziele. Er verbraucht rund ein Drittel der gesamten Energie und dies mehrheitlich aus fossilen Quellen. Der öV hat dabei zwar nur einen geringen Anteil, jedoch ist auch er aufgefordert, seinen Beitrag zu leisten.

Ziele:

- Klare Schwerpunkte für Effizienzmassnahmen bei Schienenfahrzeugen und im Bahnbetrieb bilden.
- Für das laufende Jahr bildet die Elektrifizierung des strassengebundenen öV eine Priorität. (Dieser Teil ist wesentlich für den Energieverbrauch und die CO_2-Emissionen verantwortlich.)
- Der öV muss seinen Umweltvorteil ausbauen.

Methodik:

Das 2013 lancierte Programm hat sich erfreulich entwickelt. Es konnten im vergangenen Jahr 15 Gesuche im Umfang von 2,36 Mio. CHF bewilligt werden. Damit steigt die Gesamtzahl der geförderten Projekte auf 67. Aktuell sind 33 Projekte in Bearbeitung, 34 konnten bereits abgeschlossen werden.
Das Programm deckt viele Handlungsfelder und schliesst nicht nur technische, sondern auch betriebliche und organisatorische Aspekte ein.

Anforderungen an Projektgesuche:

Das BAV ist Sparringpartner und Förderer für gute Projektideen. Das Programm sucht innovative Projekte, die einen Beitrag zur Energieeinsparung oder zur Energieproduktion leisten und die einen konkreten Nutzen für die Praxis bringen. Kooperationen zwischen Transportunternehmen und Partnern von Industrie und Forschung werden besonders begrüsst.
Das BAV stellt hohe Ansprüche an die Projekte. Es ist Sparringpartner und Förderer für gute Projektideen. In diesem Rahmen ist es wichtig, dass die Projektziele sowie der Stand der Technik und des Wissens schon im Projektgesuch sehr deutlich erläutert werden.

Fazit:

Man kann auch informell mit dem BAV Kontakt aufnehmen, um Ideen zu besprechen, bevor eine formelle Eingabe gemacht wird.

4.3 Präsentationen der vorgestellten Projekte

4.3.1 Temperaturabsenkung im S-Bahnverkehr Zürich

Referent: Johannes Dréwniok, SBB

Ausgangslage:

Der Sollwert der Raumlufttemperatur in der S-Bahn beträgt aktuell 22 °C. Durch eine Absenkung der Raumlufttemperatur in den S-Bahnfahrzeugen um 2 K besteht ein Energiesparpotential von 3.7 GWh/Jahr. Da die Aufenthaltszeiten der Fahrgäste in der S-Bahn meist kurz ausfällt, ziehen die Passagiere die Jacken oft nicht aus.

Ziel:

Hat eine Absenkung des Raumlufttemperatur-Sollwertes von 22 °C auf 20 °C bei niedrigen Aussentemperaturen einen negativen Einfluss auf die thermische Behaglichkeit der Fahrgäste in der S-Bahn?

Methodik:

In einem DPZ+ Komposition der S-Bahn Zürich wurden die Raumlufttemperaturen mit Datenloggern während der Versuchsdauer im Januar 2018 gemessen. Der Raumsollwert wurde in einem oder zwei von drei Wagen abgesenkt. Die Passagiere wurden durch gut sichtbare Beschriftungen in allen Wagen der Komposition über den laufenden Versuch informiert. Die Wagen mit abgesenkten Innentemperaturen variierten täglich ohne Information an die Fahrgäste oder das Personal über die aktuell eingestellte Temperatur.
Im Zug stellten die Befrager mit Tablets den Fahrgästen nur diese Frage: Wie empfinden Sie die Temperatur in diesem Wagen? Die Passagiere beantworteten die Frage mit: «zu warm», «angenehm» oder «zu kalt». Kunden konnten während der Versuchsdauer auch online an der Befragung teilnehmen.

Resultate:

Es wurde festgestellt, dass die Soll- und Ist-Raumlufttemperaturen weit auseinanderliegen können. Auch wurde eine Abhängigkeit der Ist-Raumlufttemperatur von der Tageszeit festgestellt. Es wurden 1940 Online-Antworten und 2'748 Befragungen (Abbildung 2) ausgewertet.

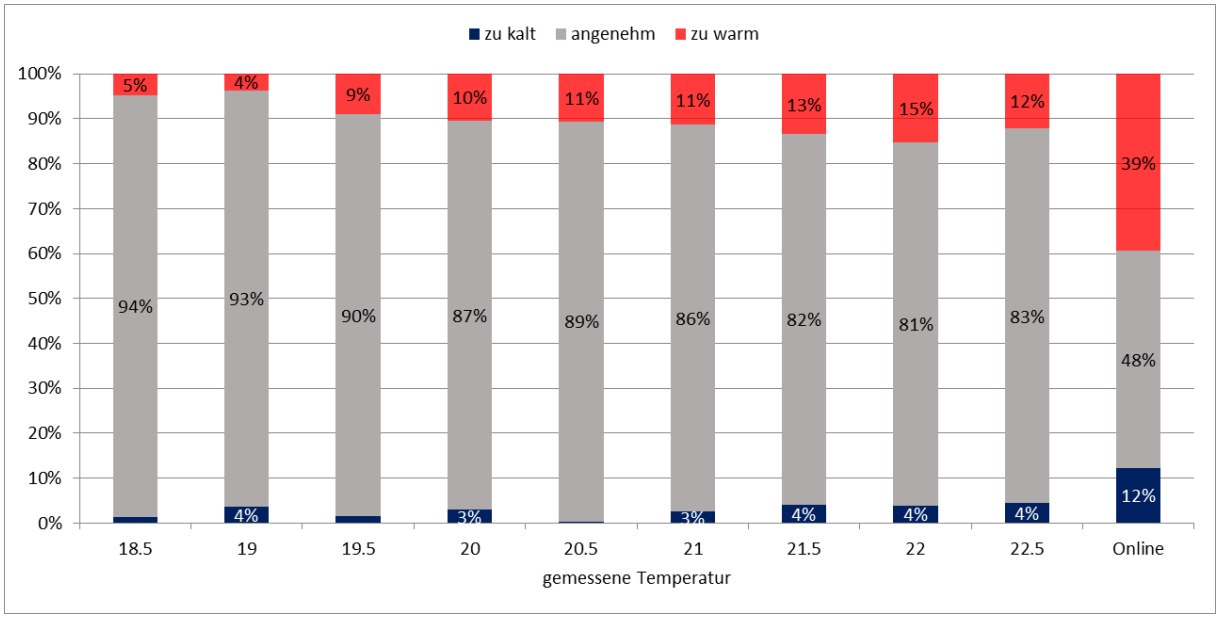


Abbildung 2 Ergebnisse der Befragungen im Zug

Fazit:

Auf Grund der Erkenntnisse kann davon ausgegangen werden, dass der Temperatursollwert von 22 °C auf 20 °C gesenkt werden kann, da die Temperaturempfindlichkeit der Passagiere mit keiner grossen Effektstärke nachgewiesen werden konnte und vermutlich hauptsächlich von anderen Faktoren beeinflusst ist.
Die Implementierung der neuen RLT-Sollwertkennlinie ist für die DPZ+ und DTZ aktuell in Arbeit und für Regio-Dosto in Prüfung.

4.3.2 Auswertung von Verbrauchs- und Klimadaten mit multipler Regression am Steuerwagen

Referent: Jeremy Fleury & Andreas Schüler, EPFL

Ausgangslage:

Die Universität Basel hat an einigen Zügen eine Messeinrichtung zur Messung verschiedener Temperaturen und Leistungen eingebaut. Der U-Wert eines Wagens kann unter Idealbedingungen aufwendig in einer Klimakammer gemessen werden. Einfacher und leicht abweichend zur Norm kann der U-Wert auch aus den laufenden Messungen berechnet werden.

Ziel:

Aus den Messdaten der Universität Basel soll rechnerisch der U-Wert des Steuerwagens BDt1751 berechnet werden.

Methodik:

Es werden drei Kenngrössen des U-Wertes unterschieden:

U (mittlerer U-Wert):	gemessen unter Idealbedingungen
U* (effektiver U-Wert):	bestimmt aus realen Verbrauchswerten (beinhaltet Lüftungsverluste UL)
U* - UL:	ohne Korrektion für Türöffnung, Personenwärme und Solarenergieeintrag
U^*_H:	mit Korrektion für Personenwärme und Solarenergieeintrag, aber ohne Korrektion für Türöffnung

Zur U-Wertberechnung wurden die Rohdaten aus den Messungen der Uni Basel von sechs Monaten von Oktober 2017 bis März 2018 verwendet. Mit der Formel

$$P_{Heizung} + P_{Solar} + P_{Personen} = P_{Hülle} + P_{Lüftung}$$

wurden die benötigten Leistungen aus den Messungen berechnet.
Ohne Korrektur der Lüftungsverluste wurde mit der Formel

$$U^* = \frac{P_{Hülle}}{\Delta T \cdot A_{tot}}$$

der effektive U*-Wert von 3.33 W/m²K berechnet.

Durch lineare Regression mit 3 zeitunabhängigen Variablen (x, y, z) und 3 zeitunabhängigen Parametern (z_0, a,b) wurde am Steuerwagen mit der Gleichung $P_{Hülle}$ berechnet.

$$\underbrace{P_{Heizung}}_{z} = \underbrace{P_{Hülle}}_{z_0} + \mathrm{a} \cdot \underbrace{(P_{Lüftung} - P_{Personen})}_{x} + b \cdot \underbrace{P_{Solar}}_{y}$$

Resultate:

Der U-Wert ergab für den Steuerwagen der RhB U^*_H = 2.77 +/- 0.13 W/m²K.
Im Vergleich wurden von P. Oelhafen im Jahr 2015 folgende Werte für U^*-U_L berechnet:

SOB Flirt:	2.4 W/m²K
RhB GEX:	2.6 W/m²K
BLS NINA:	3.6 W/m²K (vor Retrofit)
tl ST4:	5.3 W/m²K (Trolleybus)

Fazit:

Mit den Messdaten der Uni Basel kann der U*-Wert eines Fahrzeuges auf einfache Weise berechnet werden.

4.3.3 Messung der Türöffnungsverluste beim Trolleybus

Referent: Franz Sidler, Hochschule Luzern

Ausgangslage:

Es besteht die These, dass eine aufwendige Wärmedämmung der Fahrzeughülle keinen Sinn machen würde, da die Wärmeverluste durch die Türöffnungen die wesentlichen Wärmeverluste bei Fahrzeugen bestimmen. Um diese These wissenschaftlich zu beantworten sind Messungen der Türverluste unter realistischen Bedingungen erforderlich.

Ziel:

Messung der Türverluste sowie des U-Wertes eines Trolleybusses unter realistischen Bedingungen in einer Klimakammer.

Methodik:

Unter möglichst realitätsnahen Randbedingungen wurde der Energieverlust am Linienbus durch geöffnete Türen am Swisstrolley Plus in der Klimakammer der SBB in Olten gemessen. Während dem Versuch wurden an allen Geräten, welche für die Klimatisierung benötigt wurden, die Leistungen gemessen. Zur Messung der Verluste durch Türöffnungen, wurde basierend auf den Messdaten der tl (transports publics lausanne) und einem detaillierten Fahrplan der VBL ein dem Fahrbetrieb ähnlicher Türzyklus erstellt.
Zur Ermittlung der Türleistungsverluste durch Türöffnungen wurden jeweils bei gleicher Aussentemperatur zwei Messungen durchgeführt. Die erste Referenzmessung mit geschlossenen Türen und die zweite Messung mit dem Türöffnungszyklus. Die Verlustleistung durch Türöffnungen wurde aus der Differenz der Leistung ohne Türöffnung (Referenzmessung) und mit Türöffnung berechnet. Der Leistungs-Mehrbedarf infolge Türöffnungen wurde bei unterschiedlichen Aussenlufttemperaturen mit dem gleichen Türzyklus ermittelt.

Resultate:

Die Verlustleistung durch Türöffnungen nimmt bei steigender Temperaturdifferenz nicht linear zu. So wurde bei der Temperaturdifferenz von rund 10 K zwischen der Lufttemperatur im Bus und der Aussenlufttemperatur ein Leistungs-Mehrbedarf durch Türöffnungen von ca. 1.3 kW gemessen. Bei einer fast doppelt so hohen Temperaturdifferenz von 21 K stieg die Verlustleistung auf ca. 11 KW an. Bezogen auf die gesamte Heizleistung werden dabei 33% der Energie zur Deckung der Verluste durch Türöffnungen benötigt. Der Wärmeverlust durch Türöffnung beträgt klimaabhängig zwischen 10% bis 25%.

Zusätzlich zur Ermittlung der Türöffnungsverluste wurde der mittlere U-Wert des Busses gemäss Norm SN EN 14750-2 mit 2.9 W/m^{2}K bei einer Aussentemperatur von 5 °C mit internen Heizgeräten gemessen.

Fazit:

Die These «eine aufwendige Wärmedämmung der Fahrzeughülle macht keinen Sinn» wurde widerlegt. Womit eine Wärmedämmung der Fahrzeughülle durchaus sinnvoll ist.

4.3.4 Verbesserung der Wärmedämmung bei einem NINA-Triebzug BLS

Referent: Christoph Isenschmid, BLS

Ausgangslage:

Bei den 25 Lötschberger-Triebzügen RABe 535 ist ab ca. 2025 ein Refit erforderlich. Beim Refit soll der Wärmebedarf durch eine neue Wärmedämmung deutlich reduziert werden. Mit einer Potentialanalyse bei den NINA-Triebzügen RABe 525, mit sehr ähnlicher Wagenkastenbauweise sowie Wärmedämmung wie die Lötschberger-Triebzüge RABe 535, sind Varianten einer verbesserten Wärmedämmung zu prüfen. Die ausgewählte Bestvariante wird bei einem NINA-Triebzug RABe 525 umgesetzt und mit einem NINA-Triebzug RABe 525 mit herkömmlicher Wärmedämmung verglichen. Die Ergebnisse dienen als Entscheidungsgrundlage für das zukünftige Refit der Lötschberger-Triebzüge RABe 535.

Ziele:

- Möglichkeiten und Grenzen einer besseren Wärmedämmung für bestehende Züge aufzeigen.
- Verbesserung des mittleren U-Werts der Triebzüge RABe 525 NINA von aktuell 2.4 W/m^2/K um mindestens 20% auf einen Zielwert unter 1.9 W/m^2/K.
- Technische und wirtschaftliche Machbarkeit für zukünftige Refit-Projekte abklären.
- Umsetzung in einem Zug als Prototyp.
- Serienumsetzung bei späteren Refit-Projekten (RABe 535 Lötschberger).

Methodik:

Für den Ist-Zustand des Fahrzeugs NINA-Triebzugs RABe 525 wurde mittels Simulationen ein U-Wert von 2.42 W/m^{2}K berechnet. Die bestehende Wärmedämmung wurde an den Seitenwänden, am Übergang von der Seitenwand zur Decke und vom Dach durch eine neue Wärmedämmung ersetzt. Die Wärmebrücken wurden überdämmt oder durch thermisch getrennte Konstruktionen verbessert, wie z. B. den Ersatz der Halterungen der Seitenwandtische. Der Boden wurde aus finanziellen Gründen nicht saniert.
Mit dem sanierten NINA-Triebzug wurden Vergleichsmessungen im Bahnhof Huttwil durchgeführt.

Resultate:

Die Vergleichsmessungen wurden bei 5 °C Aussenlufttemperatur durchgeführt. Dabei wurden die beiden NINA-Triebzüge RABe 525 mittels den fahrzeugeigenen Heizlüftern mit gleicher Leistung aufgeheizt. Der Triebzug mit der herkömmlichen Dämmung erreichte im Beharrungszustand eine Innenraumlufttemperatur von 30.7 °C. Die Innenraumlufttemperatur des Triebzugs mit verbesserter Wärmedämmung erreichte 39.7 °C.
In einer weiteren Messung im Automatikbetrieb betrug die Leistungsdifferenz der beiden Fahrzeuge 2.7 kW, womit die Transmissionsverluste des sanierten Wagens 21.5% geringer sind.
In der Annahme, dass alle 25 Lötschberger-Triebzüge RABe 535 umgebaut werden, betragen die Refitkosten CHF 85'400 pro Triebzug. Damit wird pro Triebzug jährlich 20 MWh/a weniger Energie benötigt. Die Amortisationsdauer ohne Verzinsung der Investition beträgt 24 Jahre bei einem konstanten Energiepreis von 12 Rp/kWh.

Fazit:

Eine Verbesserung der Wärmedämmung bei bestehenden Zügen ist anlässlich Refit-Projekten möglich, aber mit hohen Kosten und einer Amortisationszeit von 20 bis 25 Jahren verbunden. Eine Verbesserung der Wärmedämmung lässt sich bei Refit-Projekten nicht nur durch Energieeinsparung begründen. Allenfalls ist der Ersatz einer bestehenden Wärmedämmung wegen Alterung notwendig.

4.3.5 Berechnung von Kondensation in Zugwänden

Referent: Marc Achermann, Hochschule Luzern

Ausgangslage:

Das Verhalten von Kondensation in Zugwänden ist ungenügend bekannt. Deshalb wurden von der BFH Messungen in der Zugwand am Steuerwagen der RhB durchgeführt. Zusätzlich sollen mittels Simulationen detaillierte Berechnungen durchgeführt werden, um Fragen zur Kondensation zu beantworten.

Ziele:

Es sind folgende Fragen mittels Simulationsberechnungen zu klären:

- Gibt es Kondensation in Zugwänden?
- Sammelt sich Kondensationswasser langfristig im Dämmmaterial an?
- Unter welchen Bedingungen gibt es Kondensation?
- Welche Wandaufbauten begünstigen oder reduzieren eine Kondensation?

Methodik:

Im Berechnungsmodell wurde der gekoppelte Wärme- und Feuchtetransport basierend auf der Europäischen Norm EN 15026:2007 (SIA 180.226) berechnet. Im Modell wurden folgende physikalischen Effekte von Wärmeleitung, Wasserdampftransport, Kondensation/Verdampfung von Wasser, erzwungene und freie Luftkonvektion an der Aussen- und Innenwand, Einfluss der Zugsgeschwindigkeit auf die erzwungene Luftkonvektion an der Aussenwand und die solare Einstrahlung auf der Aussenwand berücksichtigt.
Vernachlässigt wurden folgende Effekte: Phasenübergang flüssig – fest, Gravitation, z.B. abfliessen von Wasserkondensat und der Flüssigwassertransport.
Es wurde ein offener Wandaufbau mit grossem Feuchteaustausch zwischen der Luftkammer und der Innenraumluft sowie ein reduzierter Wandaufbau mit signifikant reduziertem Feuchteaustausch zwischen dem Luftspalt und der Innenraumluft simuliert.

Resultate:

Wandaufbau offen:

- Bei kalten Aussentemperaturen ist die rel. Feuchte auf der kalten Seite der Dämmung hoch.
- In einer warme Einstellhalle nimmt die rel. Feuchte ab und die Dämmung trocknet aus.
- Wie zu erwarten, ist der Wassergehalt auf der warmen Seite der Dämmung immer relativ gering.

Wandaufbau reduziert:

- Änderungen der Umgebungsbedingungen (Temperatur, Innenraumfeuchte) führen primär zu einer Verschiebung des Wassergehalts innerhalb der Dämmung.
- Nur bei längeren Kälteperioden nimmt der Wassergehalt auf der kalten Seite der Dämmung signifikant zu.

Fazit:

- Im Betrachtungszeitraum von einem Jahr akkumuliert die Feuchtigkeit in der Dämmung nicht.
- Ein erhöhter Wassergehalt in der Dämmung trocknet meistens innerhalb von Stunden wieder aus. Nur während längeren Kälteperioden kann der Wassergehalt über mehrere Tage hoch sein.
- Wenn der Wassergehalt erhöht ist, ist diese Erhöhung nur innerhalb von wenigen Millimetern auf der kalten Seite der Dämmung. Der Wärmefluss erhöht sich deshalb nur geringfügig, da die Feuchte und damit der thermische Widerstand des grössten Teils der Dämmung tief bleiben.
- Es wird kein Abfliessen von Kondensationswasser erwartet.

4.3.6 Anfeuchtung Wärmedämmung (Simploneffekt)

Referent: Peter Wüest, ecotrans

Ausgangslage:

In den Pflichtenheften der Bahnen wird oft eine Prüfung der Wechselwirkungen der extremen Temperatur- und Feuchteschwankungen infolge von Tunneldurchfahrten am Beispiel Simplontunnel gefordert. Die SBB fordert dabei in den Tests bei Tunneleinfahrt eine Lufttemperatur von -10 °C und im Tunnel eine Lufttemperatur von 30 °C bei einer Luftfeuchtigkeit von 70 bis 100%.

Ziel:

Mit dem Test soll unter Extrembedingung sichergestellt werden, dass die Wärmedämmung frei von Kondensat ist und der U-Wert stabil bleibt.

Methodik:

In Versuchen im Labor wurde der Simplontest mit den Parametern der SBB durchgeführt und ausgewertet. Im Versuchsaufbau wurden an einem Prüffenster der Fläche 0.169 m^2 Wärmedämmungen über eine Versuchsdauer von 4 Tagen getestet. Dabei wurde das Kondensat in einem Wasserauffangsack gesammelt.

Resultate:

Wärmedämmung SSC Q1

- Die Oberfläche zur warmen Seite zeigte Wasserperlen. **Der U-Wert blieb unverändert.**
- Innerhalb der Dämmung kondensierte kein Wasser, der Wasserauffangsack blieb leer.
- Die Oberfläche zur kalten Seite war trocken.

=> Die Wärmedämmung SSC Q1 hat den Simplontest bestanden. Es nimmt dank der geschlossenen Struktur kein Wasser auf.

Wärmedämmung Basotect G+

- Die Oberfläche zur warmen Seite fühlte sich trocken an.
- Die Oberfläche zur kalten Seite war nass und zeigte Wasserflussspuren.
- Es gab Wasseransammlungen am unteren Rand und im Wasserauffangsack.
- Innerhalb der Dämmung kondensierte viel Wasser. 15% blieb in der Dämmung.
- Der U- Wert verschlechterte sich wesentlich.

=> Die Wärmedämmung Basotect G+ hat den Simplontest nicht bestanden. Es nimmt durch die offene Struktur Wasser auf.

Fazit:

Nur Gegen Wind und Wasserdampf dichte Materialien erfüllen den Simploneffekt. Bei offenen Materialien kondensiert Wasser in der Dämmung am Taupunkt, womit diese den Simplontest nicht bestanden.

4.3.7 Messungen der klimatischen Verhältnisse in der Fahrzeughülle des RhB-Steuerwagens

Referent: Wolfgang Rädle, Berner Fachhochschule

Ausgangslage:

In vorangegangen Projekten wurden klimatische Vorgänge im Querschnitt der Fahrzeugwand diskutiert, ohne diese jedoch detailliert zu untersuchen. Die Vermutung besteht, dass zwischen der Aussenhülle und der Wärmedämmung von Bahnfahrzeugen Kondensat gebildet wird oder Eisbildungen auftreten können. Auch können starke Luftströmungen zwischen der Innenverkleidung und der Wärmedämmung aufgrund von Druckdifferenzen auftreten.

Ziel:

Messung der klimatischen Verhältnisse von Temperatur, Feuchte, Luftströmungen und Wärmeströmen im Querschnitt der Fahrzeughülle. Gibt es Kondensat im Querschnitt?

Methodik:

Im Steuerwagen der RhB wurde eine Messeinrichtung zur Messung von Temperatur, Feuchte, Luftströmungen und Wärmeströmen im Querschnitt der Fahrzeugwand eingebaut. Die Messung erfolgte kontinuierlich im fahrplanmässigen Betrieb des Steuerwagens der RhB. Die Messdaten wurden täglich an den Datenserver übertragen. Die 4 Messgrössen erfolgten verteilt im Nieder- und Hochflurbereich, in der Dachwölbung, den Seitenpfosten und unter den Fenstern.

Resultate:

Die Messungen wurden in der Heizperiode von September 2017 bis Mai 2018 durchgeführt.

Wärmestromdichte
Die hohen Temperaturen an der Innenverkleidung im Brüstungsbereich sind eine Quelle für hohe Wärmeverluste. Die Minimierung der Wärmeverluste über Wärmebrücken und Bereiche mit geringer Wärmedämmung muss berücksichtigt werden.

Luftströmung
Eine erzwungene Konvektion im Querschnitt der Fahrzeughülle wurde nicht festgestellt.

Feuchtemessung
Die Feuchtemessung ergab keine Werte, die auf eine relevante Kondensatbildung im Querschnitt der Fahrzeugwand schliessen lassen. Eine Durchfeuchtung der Wärmedämmung kann aufgrund der gemessenen Werte ausgeschlossen werden.

Durchfahrt Vereinatunnel
Der beobachtete Anstieg der relativen und absoluten Feuchte bei den Tunneldurchfahrten ist zeitlich zu kurz, um eine relevante Kondensatbildung in der Fahrzeughülle zu verursachen. Zusätzlich geht der Anstieg der Feuchte in den Tunneln mit einem Anstieg der Temperatur einher. Dies verringert die Gefahr von Kondensatbildung.

Fazit:

Es wurde weder eine erzwungene Konvektion noch zu hohe Feuchtewerte, welche auf relevante Kondensatbildung schliessen, im Querschnitt der untersuchten Fahrzeughülle festgestellt.

4.3.8 3D-Wärmebrückenanalysen im RhB-Steuerwagen BDt1751

Referentin: Amabel Melián Hernández, Berner Fachhochschule

Ausgangslage:

Die Wärmedämmung des Triebwagens der RhB besteht aus vielen Teilflächen und Wärmebrücken. Deshalb soll der mittlere U-Wert mit Hilfe von stationären Wärmebrückenberechnungen bestimmt werden. Durch Berechnung des Ist-Zustands wird der vorhandene Wärmeschutz ermittelt. Durch Berechnung von verschiedenen Sanierungsvarianten wird die Sanierungsmethode zur Verbesserung des Wärmeschutzes mit dem grössten Verbesserungspotential ermittelt.

Ziel:

Berechnung des mittleren U-Werts für den Ist-Zustand und für die Sanierungsvarianten des Steuerwagens der RhB unter Berücksichtigung der Wärmebrücken.

Methodik:

Die Modellbildung erfolgte auf der Grundlage von PDF- und CAD-Plänen der Firma Stadler, welche als zweidimensionale Schnitte und Ansichten der Wagonhülle zur Verfügung standen. Mit diesen Grundlagen wurde ein dreidimensionales Modell mit dem FEM Programm Ansys erstellt und für die beiden Regelquerschnitte Hochflur und Niederflur die effektiven U-Werte berechnet. Zu den geometrischen Daten wurden die Materialeigenschaften wie Rohdichte, Wärmeleitfähigkeit und die spezifische Wärmekapazität eingegeben. Zur Berechnung der Wärmeströme durch die Wagenhülle wurden stationäre Bedingungen auf der Innenseite mit der Lufttemperatur von 20 °C und dem Wärmeübergangswiderstand R_{Si} = 0.13 (m^2K)/W und auf der Aussenseite eine Lufttemperatur von 0 °C ohne Wärmeübergangswiderstand (R_{SE} = 0 (m^2K)/W) angenommen.

Resultate:

Die Ergebnisse der U-Wertberechnungen sind für den Bereich Niederflur und Hochflur in der folgenden Tabelle 1 als Ist-Zustand, in der Variante A mit der Dämmung Aerogel anstelle Isover PBM2 und der Variante B in Kombination von Aerogel und Überdämmung der Wärmebrücken, zusammengefasst.

	Niederflur U_{eff}		**Hochflur U_{eff}**	
	[W/m^2K]	Verbesserung [%]	[W/m^2K]	Verbesserung [%]
Ist-Zustand	**2,5** ± 0,075	**-**	**3,4** ± 0,10	**-**
Variante A	**2,4** ± 0,072	**5.1**	**3,2** ± 0,096	**4.4**
Variante B	**1,9** ± 0,057	**24**	**2,2** ± 0,066	**33**

Tabelle 1 Berechnete U-Werte

Fazit:

Der Ersatz Wärmedämmung durch Aerogel hat nur eine geringe Wirkung auf dem Wärmeschutz der Wagenhülle. Der Wärmeschutz kann nur durch Überdämmung der Wärmebrücken deutlich verbessert werden.

3D Simulationen sind nötig für eine detaillierte Wärmebrückenanalyse von Wagenhüllen.

4.3.9 Innovative Wärmedämmkonzepte zur Heizenergieeinsparung im RhB-Steuerwagen

Referent: Urs Uehlinger, Berner Fachhochschule

Ausgangslage:

Durch eine gezielte Verbesserung der Wärmedämmung und eine Verringerung der Luftdurchlässigkeit der Fahrzeughülle (Fenster, Dach, Wand, Boden, Wärmebrücken und Infiltration) werden im Bereich der Heizenergie am Steuerwagen der RhB Einsparungen von 20% bis 25% erwartet.

Ziel:

Der Heizenergiebedarf des Steuerwagens der RhB ist durch Anwendung innovativer Wärmedämmung mit neuen Materialien deutlich zu senken. Es werden Einsparungen von 20 bis 25% erwartet.

Methodik:

Die Zugwagenhülle wurde in konsistente Flächenzonen eingeteilt. Der Ist-Zustand wurde am Steuerwagen durch Demontage einzelner Wagenteile detailliert untersucht. Es wurden bekannte und neuartige Hochleistungswärmedämmstoffe wie Aerogel der EMPA untersucht. Bei der Verglasung wurden IR-beschichtete und laserbehandelte Varianten berücksichtigt. Mithilfe der thermischen Simulation wurde der Heizenergiebedarf für ein mehrstufiges Prototypenkonzept berechnet und mit dem Ist-Zustand verglichen.

Resultate:

In Abbildung 3 sind die Einsparungen der Heizenergie und die Kosteneinsparungen der Massnahmenpakete (MP) dargestellt. Die MP sind aufbauend. Das heisst, dass im MP5 die MP1 bis MP4 ebenfalls umgesetzt werden.

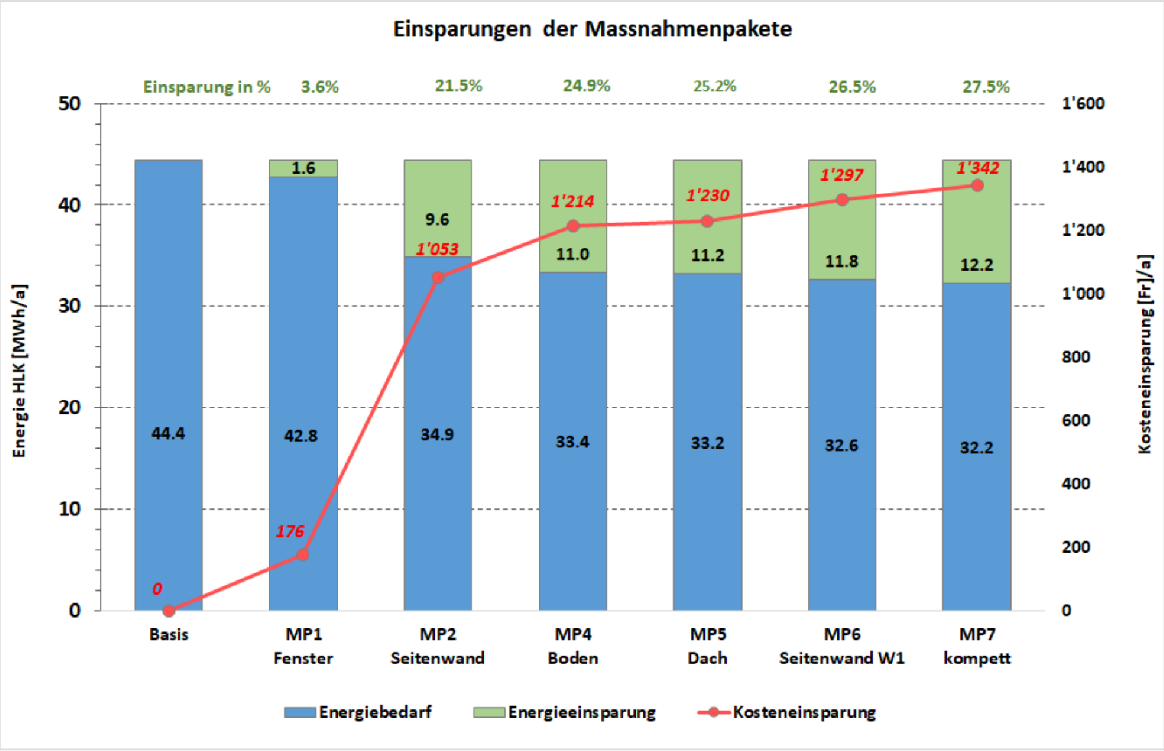


Abbildung 3 Einsparung der verschiedenen Massnahmenpakete

Fazit:

Gemäss den berechneten Werten kann die Heizenergie bis 27% gesenkt werden. Die Resultate sind theoretische Werte und konnten nicht wie geplant im Steuerwagen umgesetzt werden, da das Projekt abgebrochen wurde.

5. Workshop

Ausgangslage:

Im Workshop wurden in Kleingruppen unterschiedliche thematische Schwerpunkte zu Themen der Effizienzverbesserung der HKL im öffentlichen Verkehr bearbeitet. Der Fokus im Workshop lag primär darauf, neue Forschungs- und Entwicklungsfragen zu erarbeiten sowie neue Projektideen aufzuzeigen. Es wurden die folgenden Themen von den Moderatoren bearbeitet:

1) Elektrische Busse (HLK, Hülle)	Stefan Schnell
2) Fahrzeughülle	Andreas Schüler
3) HLK Komponenten	Franz Sidler
4) HLK Betrieb	Johannes Dréwniok
5) Joker => Regolatorien	Rémy Chrétien

Ziel:

Erarbeitung weiterführender, neuer Forschungsfragen im Bereich HLK/Fahrzeughülle im öffentlichen Verkehr.

Methodik:

Jeder Teilnehmende wählte zwei Themen aus den fünf oben genannten Themen aus. Das frei wählbare Thema «Joker» wurde mit dem Thema Regolatorien behandelt. In zwei Durchgängen à 30 min. wurden die fünf Themen, basierend auf folgenden Fragestellungen, bearbeitet:

1) Welche Massnahmen sind identifiziert, aber noch nicht umgesetzt?
   Warum sind sie noch nicht umgesetzt (technische Hemmnisse, wirtschaftliche Hemmnisse, andere Hemmnisse, etc.)?
2) In welchem Bereich werden noch Optimierungspotenziale vermutet?
3) Wo bestehen Unklarheiten, offene Fragen, Abklärungsbedarf?
4) Welche technologischen Entwicklungen, aber auch welche Veränderungen bei den Anforderungen, könnten den Energiebedarf in Zukunft erhöhen bzw. reduzieren?
   Wie könnte das vermieden bzw. forciert werden?
5) Welche konkreten Forschungsfragen bestehen?
   Was sollte eingehender untersucht werden?
6) Was müsste getan werden, um noch mehr Effizienzpotenzial zu realisieren?

5.1 Resultate:

Im Kapitel 5 werden die Ergebnisse der einzelnen Workshops kurz zusammengefasst. Im Anhang 7.4 sind die Details im Fotoprotokoll zu finden.

5.1.1 Elektrische Busse (HLK, Hülle)

1) Welche Massnahmen sind identifiziert, aber noch nicht umgesetzt?
Warum sind sie noch nicht umgesetzt?

Massnahme	**Hemmnisse**
Wärmedämmung der Fahrzeughülle	Preis, Gewicht (gesetzliche Vorgaben zum Maximalgewicht), Dicke (Platzverlust).
Neue Heizsysteme	Keine Alternativen auf dem Markt, Wissen fehlt, was geändert oder verbessert werden müsste.
Wärmepumpen zur Kühlung der Batterien und der Passagierräume	Unklar
Abwärmenutzung der Motoren	Bis jetzt nicht vorgesehen, kein System vorhanden. Motoren werden durch Umgebungsluft gekühlt.

2) In welchem Bereich werden noch Optimierungspotenziale vermutet?
- Wärmedämmung der Fahrzeughülle in den Bauteilen: Boden, Wände, Fenster (Doppelverglasung, Folien)
- Materialien für den Wagenkasten (Kunststoff, statt Alu), WD (geringere Wärmeleitung)

3) Wo bestehen Unklarheiten, offene Fragen, Abklärungsbedarf?

Unterschiedliche Anforderungen stehen zum Teil im Widerspruch zueinander. Zum Beispiel im Themenfeld Umwelt-/Energie-Kosten.

4) *Welche technologischen Entwicklungen, aber auch welche Veränderungen bei den Anforderungen, könnten den Energiebedarf in Zukunft erhöhen bzw. reduzieren?*
Wie könnte das vermieden bzw. forciert werden?
Komfortansprüche steigen tendenziell. Dies kann vermieden werden, indem geringere Anforderungen gestellt werden, respektive grössere Toleranzen akzeptieren werden und die Fahrgäste besser informieren werden.

5) *Was müsste getan werden, um noch mehr Effizienzpotenzial zu realisieren?*
Bei den Bussen wurden folgende Hauptthemen genannt:
- Verbesserung der Wärmedämmung bei der Fahrzeughülle
- neue Heizungssysteme und angepasste d.h. geringere Komfortansprüche

5.1.2 Fahrzeughülle

In der Gruppe Fahrzeughülle wurden die Fragestellungen diskutiert und wie folgt beantwortet:

1) *Welche Massnahmen sind identifiziert, aber noch nicht umgesetzt? Warum sind sie noch nicht umgesetzt (technische Hemmnisse, wirtschaftliche Hemmnisse, andere Hemmnisse, etc.)?*
Der Wettbewerb bei der Ausschreibung und der damit verbundene Kostendruck führt dazu, dass an der Dämmstärke gespart wird. Weitere Hemmnisse für eine verbesserte Wärmedämmung mit bereits bekannten Technologien sind Platz und Materialkosten. Gewisse Technologien sind bekannt aber eindeutig zu kostenspielig (z.B. Krypton-Füllung der Fenster) oder das Handling ist kritisch (Vakuum-Isolations-Paneele). In gewissen Fällen kann die Entwicklung und Verbreitung neuer Technologien durch einen Investitionsstopp gehemmt werden. Hemmend können auch übertriebene Normierung wirken sowie ein gewisser Perfektionismus, bei dem die Systeme auf den denkbar ungünstigsten Fall ausgelegt und daher überdimensioniert werden.

2) *In welchem Bereich werden noch Optimierungspotenziale vermutet?*
Die Türen sind zurzeit noch eine Schwachstelle, die durch bessere Dämmung und Gestaltung behoben werden könnte. Die Benutzertoleranz wird vielleicht unterschätzt (Beispiel: „nur so warm wie wirklich nötig“). Bei den Anforderungen sollte nicht auf den Extremwert abgezielt werden. Wärmebrücken in der Seitenwand treten vor allem bei älteren Fahrzeugen auf. Für Steinwolle als Dämmmaterial im Zug sollte das Gewicht und die Wärmeleitfähigkeit optimiert werden. Es sollten Anreize oder Vorschriften für einen niedrigen U-Wert der Fahrzeughülle geschaffen werden.

3) *Wo bestehen Unklarheiten, offene Fragen, Abklärungsbedarf?*
Die jährliche Gesamtenergie-Bilanz ist für viele im Betrieb befindliche Fahrzeuge noch unklar. Die «graue Energie» sollte im Rahmen einer vollständigen Lebenszyklus-Analyse (LCA) quantifiziert werden. Die Lebensdauer der Materialien muss in den Auswahlprozess mit einbezogen werden sowie die lokale Erhältlichkeit der Rohstoffe. Gewisse Materialien können gut recycelt werden (z.B. Metalle, Steinwolle), andere nur schwieriger oder gar nicht (z.B. gewisse Kunststoffe).

4) *Welche technologischen Entwicklungen, aber auch welche Veränderungen bei den Anforderungen, könnten den Energiebedarf in Zukunft erhöhen bzw. reduzieren? Wie könnte das vermieden bzw. forciert werden?*
Sicherheit, Komfort, behindertengerechte Einrichtungen und Redundanz für Sicherheit erzeugen gewisse Kosten und machen sich auch beim Fahrzeuggewicht bemerkbar. Das Bahnnetz wird immer dichter und dadurch störungsanfälliger. In den letzten Jahren haben Mobilkommunikation und neue Medien unseren Lebensstil verändert und die Kunden erwarten heutzutage Kommunikations- und Arbeitsmöglichkeiten im Zug. Bei gestiegenen Komfortanforderungen (z.B. Ruhe) fallen den Kunden heutzutage Faktoren auf, die bisher unbeachtet blieben (z.B. Geräusch der Lüftung).

5) *Welche konkreten Forschungsfragen bestehen? Was sollte eingehender untersucht werden?*
- Wie kann man am besten Verbundkunststoffe einsetzen?
- Wie kann man Wärmebrücken einsparen oder am besten überdämmen?
- Sollten offenporige Materialien hydrophil oder hydrophob sein?
- Wie können die Kosten der Wärmedämmung reduziert werden?
- Wie verhält sich die Feuchtigkeit an Unterbrüchen der Dampfsperre (Fugen zwischen geschlossenporigen Materialien) und Wärme-/Kältebrücken?

- Wie verhält sich die Feuchtigkeit bei reduzierter Luftwechselrate (bedarfsgeregelte Lüftung) und in verschiedenen Klimazonen der Schweiz (Engadin/Mittelland)?
- Fenster: Kann man einen Abstandhalter aus Aluminium durch eine bessere und haltbarere Lösung ersetzen? Wie lange bleibt das Argon wirklich in der Doppelverglasung?
- Kann man Vakuumisolierglas einsetzen?
- Mobilkommunikation: Sind die neuen low-e Schichten für zukünftige Frequenzen (5G, …) tauglich oder müssen sie noch verbessert werden?

6) *Was müsste getan werden, um noch mehr Effizienzpotenzial zu realisieren?*
- Im Zusammenhang mit der Energieeffizienz könnte es konkrete Vorschriften und Regulationen geben (z.B. U-Wert).
- Nur so viel Heizen/Kühlen, wie auch wirklich nötig ist. Ein entsprechendes Bewusstsein sollte beim Kunden geschaffen werden.
- Durch ein Monitoring im Betrieb könnte die Regelungstechnik permanent überwacht werden. Man könnte ein vereinfachtes Messsystem zum Monitoring der Fahrzeuge entwickeln, verbreiten und sogar vorschreiben. Die Auswertung der grossen Datenmengen (Big Data) könnte mit künstlicher Intelligenz erfolgen (KI). Diese Auswertung könnte zur automatischen Fehlermeldung, zum automatischem Korrekturvorschlag oder sogar zum direkten Feedback ins Regelsystem führen.
- Der Austausch zwischen Herstellern, Betreibern und Hochschulen ist wichtig: Hierzu dienen auch Workshops, Fachtagungen und Publikationen.

5.1.3 HLK Komponenten

Im Workshop HLK Komponenten wurden die drei folgenden Punkte diskutiert:

- Wärmepumpe (WP)
  Welche Systeme sind am besten geeignet, um für die Wärmepumpe tiefere Systemtemperaturen zu erreichen (Flächenheizungen, Kühldecken).
  Wieso ist die Einsatzgrenze der WP bei den aktuellen Bussen nur 0 °C und viel höher als im Wohnungsbau mit Auslegungstemperaturen von -10 °C?

- Wärmerückgewinnung
  Das Potential der Abwärme von anderen Systemen wie Motoren, Umrichtern oder Batterien zum Heizen des Fahrgastraums wurde noch nicht genauer untersucht. Ein möglicher Grund ist, dass die Zulieferer die Systemgrenze auf das eigene Produkt begrenzen und nicht übergreifend denken und so das Risiko und die Verantwortung einschränken.

- Gewicht
  Busse im Strassenverkehr müssen die gleichen Gewichtsvorgaben wie der Schwerverkehr einhalten (abhängig vom Bustyp Maximal 28 oder 40 Tonnen). Jede Gewichtszunahme geht zu Lasten der Beförderungskapazität. Eine Anhebung der Maximalgewichte für Busse wird gewünscht, so dass das Mehrgewicht der Komponenten nicht zu Lasten der Förderkapazität ausfällt.

- Luftqualität
  Die Normen schreiben eine minimale Luftmenge pro Passagier fest. Diese sind bei einer Bedarfsregelung nach CO_2 zu hoch. Für eine CO_2-basierte Aussenluftregulierung fehlen in den Normen passende Vorgaben und Grenzwerte.

5.1.4 HLK Betrieb

Im Workshop HLK Betrieb drehte sich die Diskussion um mögliche neue Handlungsfelder mit Forschungs- oder Förderungsbedarf. Das grösste Potenzial sahen die Teilnehmenden in diesen Bereichen:

HLK im Regelbetrieb

a) Effizientere HLK durch prädiktives Regeln unter Einbezug von
   - Standortdaten (Tunnel, Region)
   - Rekuperation des Fahrzeugs
   - Berücksichtigung des Wärmeeintrags durch Fahrgäste, Besetzungsgrad über CO_2 Sensoren und prognostizierte Änderung der Besetzung über Zugnummer und Folgezugnummer ermitteln
   - Solareinstrahlung über Pyranometer oder Meteodaten berücksichtigen
   - Grössere zulässige Abweichung vom RLT-Sollwert, um rasch aufeinander folgendes Heizen und Kühlen zu verhindern

b) Individuelle Sollwertvorgabe je Sitzplatz, durch den Fahrgast einzustellen bei insgesamt leicht abgesenkter Raumlufttemperatur. Einsparungen werden in den Nebenverkehrszeiten erwartet. Bedingt neue Klimatisierungskonzepte des Fahrgastraums.

c) Weniger Potential im HLK Regelbetrieb hat die Berücksichtigung der relativen Luftfeuchtigkeit bei der Raumlufttemperatur-Sollwertvorgabe im Kühlbetrieb. Bei trockener Luft sollen höhere Sollwerte gelten und damit der Kühlbedarf gesenkt werden.

HLK in der Abstellung

- Fahrzeuge komplett ausschalten und ferngesteuert wieder einschalten.
- Maximal und minimal zulässige Grenzwerte der Innenraumtemperatur erweitern in Verbindung mit automatischer Übermittelung der Bereitstellzeit.
- Reduktion von Abstelllärm reduziert auch den Energieverbrauch.

HLK im Übergangsbetrieb von Abstellung zu Regelbetrieb

- Minimale Vorbereitungsdauer in Verbindung mit automatisch übermittelter Bereitstellzeit.

5.1.5 Regulation

Die Arbeitsgruppe beschäftigte sich mit der Frage, welche Regulatorien (Gesetze, Normen, Richtlinien) geändert werden müssten, um die Massnahmenumsetzung im Bereich HLK zu unterstützen. Dabei wurden diese drei Handlungsfelder diskutiert:

- Es wurde als wünschenswert betrachtet, dass ein verbindlicher Grenzwert für den Energieverbrauch von Zügen (ähnlich den Vorgaben im Gebäudebereich) festgelegt wird. Dieser müsste nach Fahrzeugklassen unterschiedlich sein, um die unterschiedlichen Einsatzzwecke angemessen zu berücksichtigen und zwischen Traktionsenergie und dem Energiebedarf HLK zu unterscheiden.
- Es wäre notwendig, einheitliche und praktikable Definitionen für die zu messenden Schlüsselgrössen (z.B. U-Wert) einzuführen sowie Referenzszenarien für die Überprüfung der Werte im Betrieb festzulegen.
- Die Teilnehmenden stellten fest, dass die relevanten Normen auf veraltete Vorgaben untersucht werden müssten (z.B. Sollwerte für Innenraumtemperaturen in Zügen), die der Umsetzung von Energieeffizienzmassnahmen entgegenstehen.

5.2 Wichtigkeit der Themen

Während der Präsentation wurden wichtige Themen ausgewählt. Jeder Teilnehmende konnte nach seiner Wichtigkeit Themen markieren, welche weiterbearbeitet werden sollten. Die Antworten sind in Tabelle 2, aufsteigend nach Nennungen sortiert, aufgeführt.

Gruppe	Firma	Einfaches Monitoring im Betrieb (KI, Big Data, ...)	Fahrzeughülle optimieren (Materialien, Konstruktionen)	Energie- und komfort-optimierte Lüftung	Neue Systeme für Heizen (Kühlen, WP, WRG, ...)	Prädektive Regelung (- Energie, + Komfoert)	Vorschlag für Grenzwerte	Normenreview /-bereinigung	Graue Energie, LCA... (Recycling, Lebensdauer)	Individuelles Sitzplatzklima (Komfort, Effizienz)	Kühlung & Heizung von Bussen (Abwärme, alternative Systeme	Wärmedämmung von Bussen (Preis, Gewicht, Wirkung)	Musterausschreibung
Transportunternehmen	SOB	x	x	x	x	x							
	SBB	x		x		x				x			
	BLS						x						x
	RhB			x	x								
Hersteller / Unternhemer	Bombardier												
	Hess AG		x										
	Stadlerrail	x		x			x						
	Ecotrans		x		x								
	OPIT Solution AG	x											
	Flumroc		x					x					
Hochschule / Forschung	HSLU	x		x	x	x	x	x	x	x	x		
	EPFL	x	x						x			x	
	BFH												
	Empa												
Bund	BAV												
	Summe	6	5	5	4	3	3	2	2	2	1	1	1

Tabelle 2 Wichtigkeit der Workshopergebnisse

6. Schlussfolgerungen und Empfehlungen

An der Jahresversammlung 2019 «Energieeffiziente HLK im öV» konnten die Ergebnisse der laufenden Projekte nicht nur innerhalb der Hochschulen, sondern auch den Transportunternehmen und den Herstellern vorgestellt werden. Dies ermöglichte einen wichtigen Austausch zwischen Forschung, Transportunternehmern und Herstellern.

Die Auswertung der Workshop-Themen zeigte, dass den Teilnehmenden ein einfaches Monitoring am wichtigsten ist. In der zweiten Priorität steht die Optimierung der Fahrzeughülle sowie eine Energie- und komfortoptimierte Lüftung.

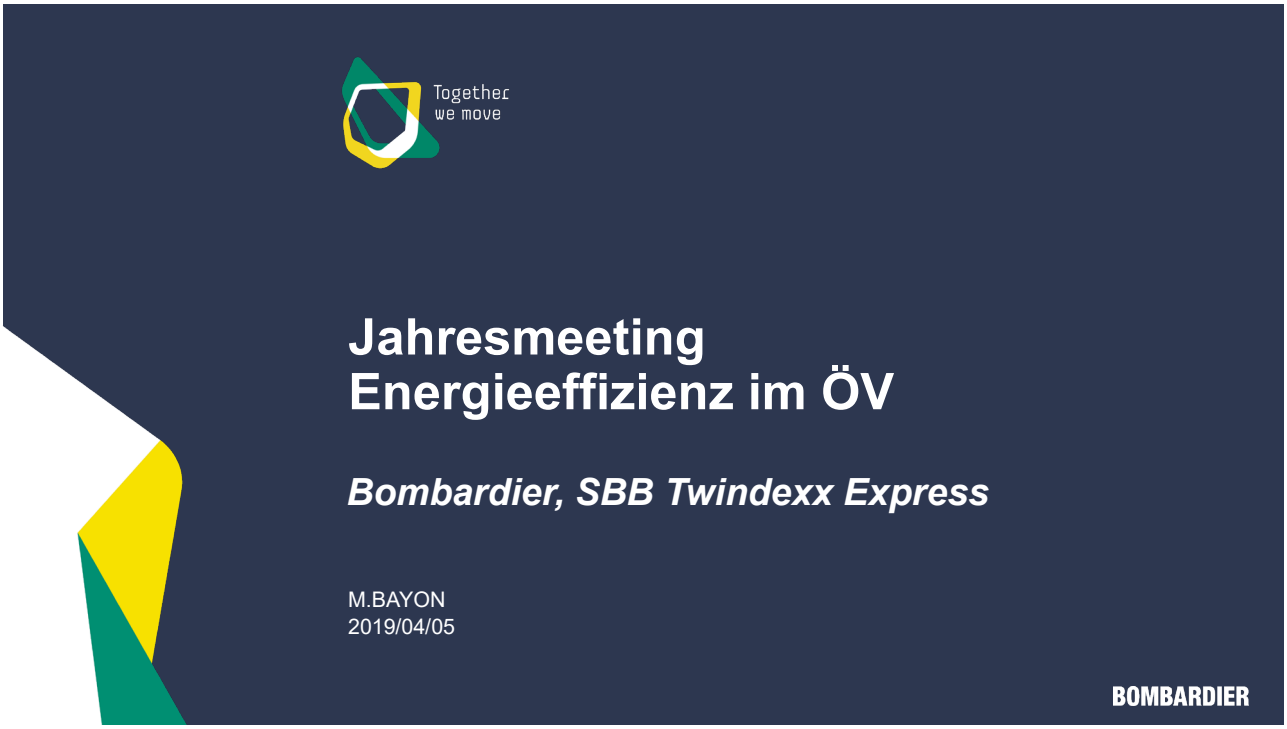
Es wurden 66 Personen per Mail eingeladen. Dabei wird die Erweiterung des Teilnehmerkreises gewünscht. Vor allem waren nur wenige Vertreter von Busbetreibern anwesend.

Es wird empfohlen, das Jahresmeeting in einem Jahr erneut durchzuführen. Der Teilnehmerkreis sollte durch Busbetreiber durch aktive Anfragen erweitert werden.

7. Anhang

Im Anhang sind alle Präsentationen sowie die Fotodokumentation des Workshops vollständig angefügt. Durch Doppelklicken auf die Büroklammer können die Präsentationen geöffnet werden.

7.1 Keyreferat «Effizienzverbesserungen und Umsetzung der Energiestrategie 2050»

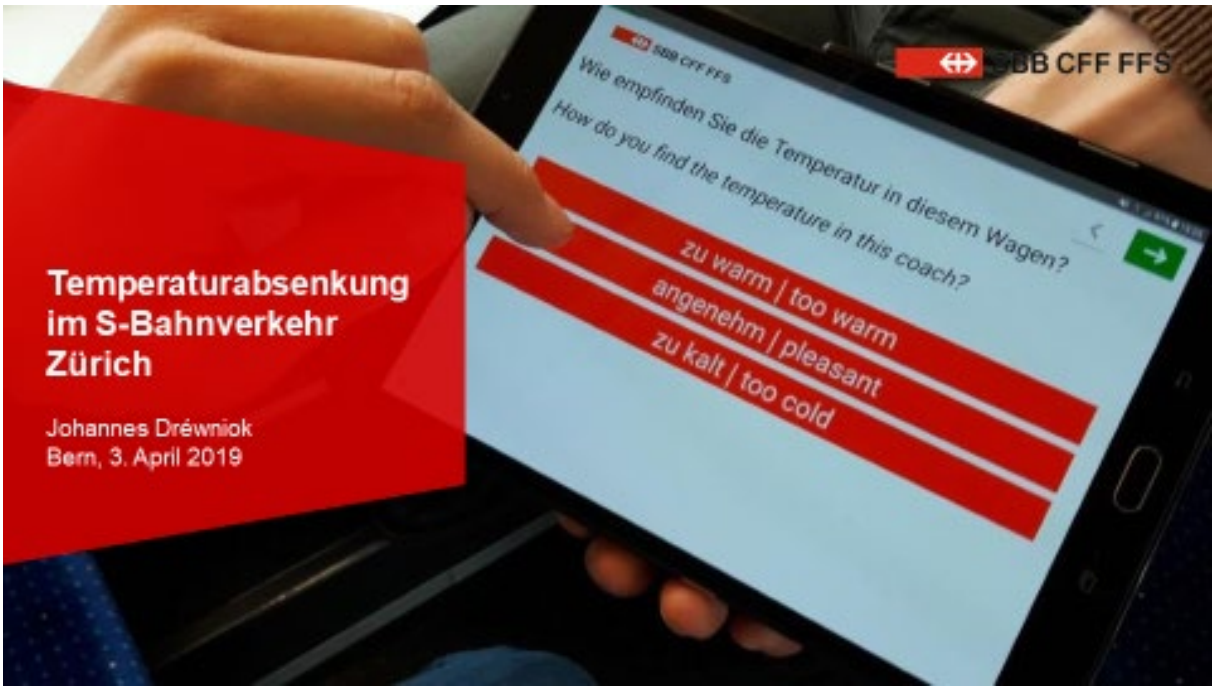


7.2 Strategie und Ziele BAV



7.3 Präsentationen der vorgestellten Projekte

7.3.1 Temperaturabsenkung im S-Bahnverkehr Zürich



Auswertung von Verbrauchs- und Klimadaten mit multipler Regression am Beispiel des Steuerwagens RhB

Jeremy FLEURY, Andreas SCHÜLER

5. April 2019

Laboratoire d'Énergie Solaire et de Physique du Bâtiment
LESO-PB
École Polytechnique Fédérale de Lausanne EPFL

7.3.3 Messung der Türöffnungsverluste beim Trolleybus

Lucerne University of
Applied Sciences and Arts

HOCHSCHULE
LUZERN

Technik & Architektur

Energiebedarf durch Türöffnungen
Ergebnisse aus den Messungen am Trolleybus

Franz Sidler
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

T direkt +41 41 349 33 77
franz.sidler@hslu.ch

Horw, 5. April 2019

FH Zentralschweiz

EFQM
Recognised for excellence
5 star

7.3.4 Verbesserung der Wärmedämmung bei einem NINA-Triebzug BLS



7.3.5 Berechnung von Kondensation in Zugwänden

Berechnung der Kondensation in Zugwänden

Projekt P122: Energiestrategie 2050 des öffentlichen Verkehrs, BAV

Marc Achermann, Tom Graf, Felix Lüönd
Hochschule Luzern, Technik und Architektur, Horw

7.3.6 Anfeuchtung Wärmedämmung (Simploneffekt)



Anfeuchtung
Wärmedämmung

Simploneffekt

7.3.7 Messungen der klimatischen Verhältnisse in der Fahrzeughülle des RhB-Steuerwagens



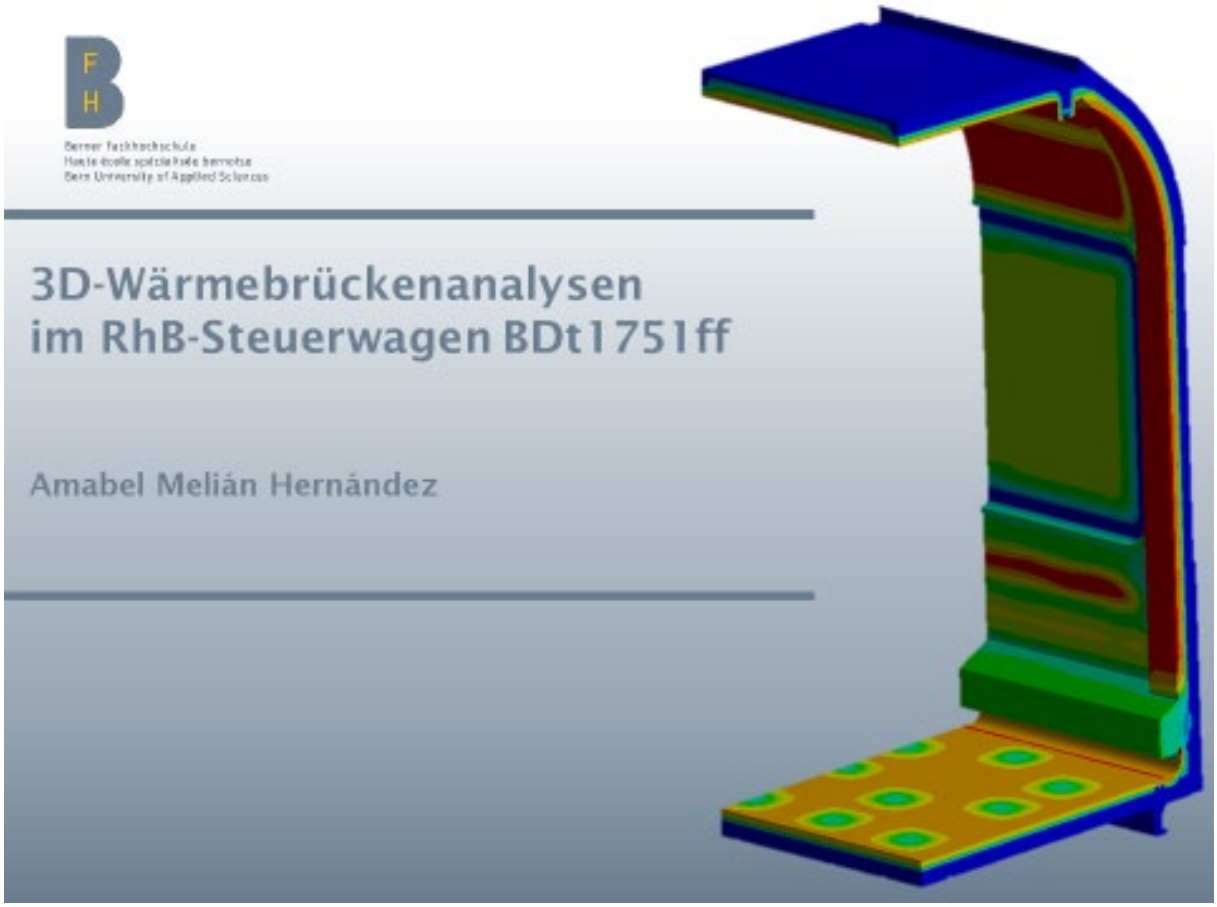
Berner Fachhochschule
Haute école spécialisée bernoise
Bern University of Applied Sciences

Messungen in der Fahrzeughülle eines Bahnfahrzeugs

Wolfgang Rädle

Departement für Architektur, Bau und Holz, Kompetenzbereich Fenster-, Türen- und Fassadentechnik

7.3.8 3D-Wärmebrückenanalysen im RhB-Steuerwagen BDt1751



7.3.9 Innovative Wärmedämmkonzepte zur Heizenergieeinsparung im RhB-Steuerwagen



Berner Fachhochschule
Haute école spécialisée bernoise
Bern University of Applied Sciences

Innovative Wärmedämmkonzepte zur Heizenergie-einsparung im RhB-Steuerwagen BDt 1751ff

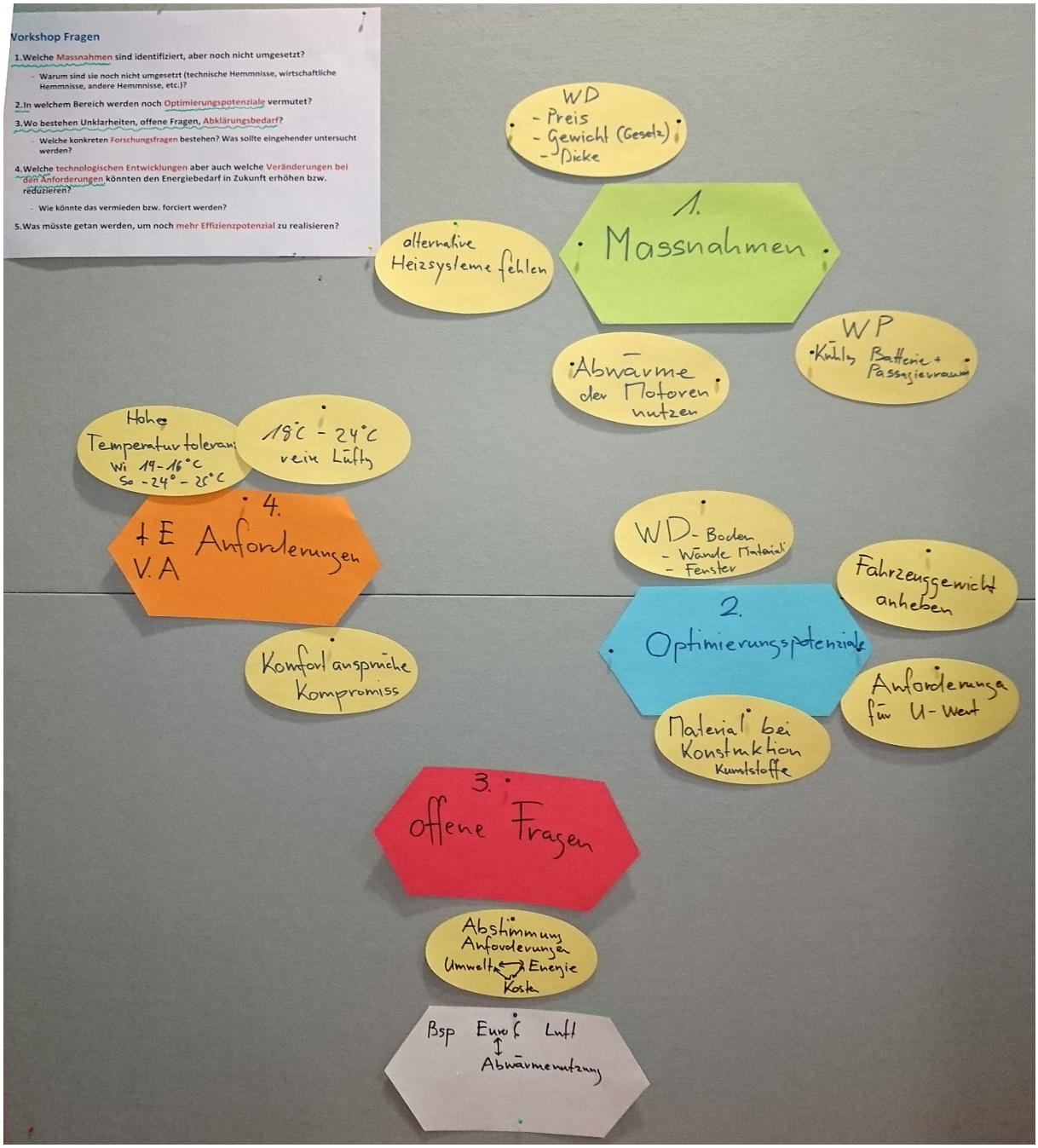
Urs Uehlinger, Roman Hausammann
BFH-AHB

Departement für Architektur, Bau und Holz, Kompetenzbereich Fenster-, Türen- und Fassadentechnik

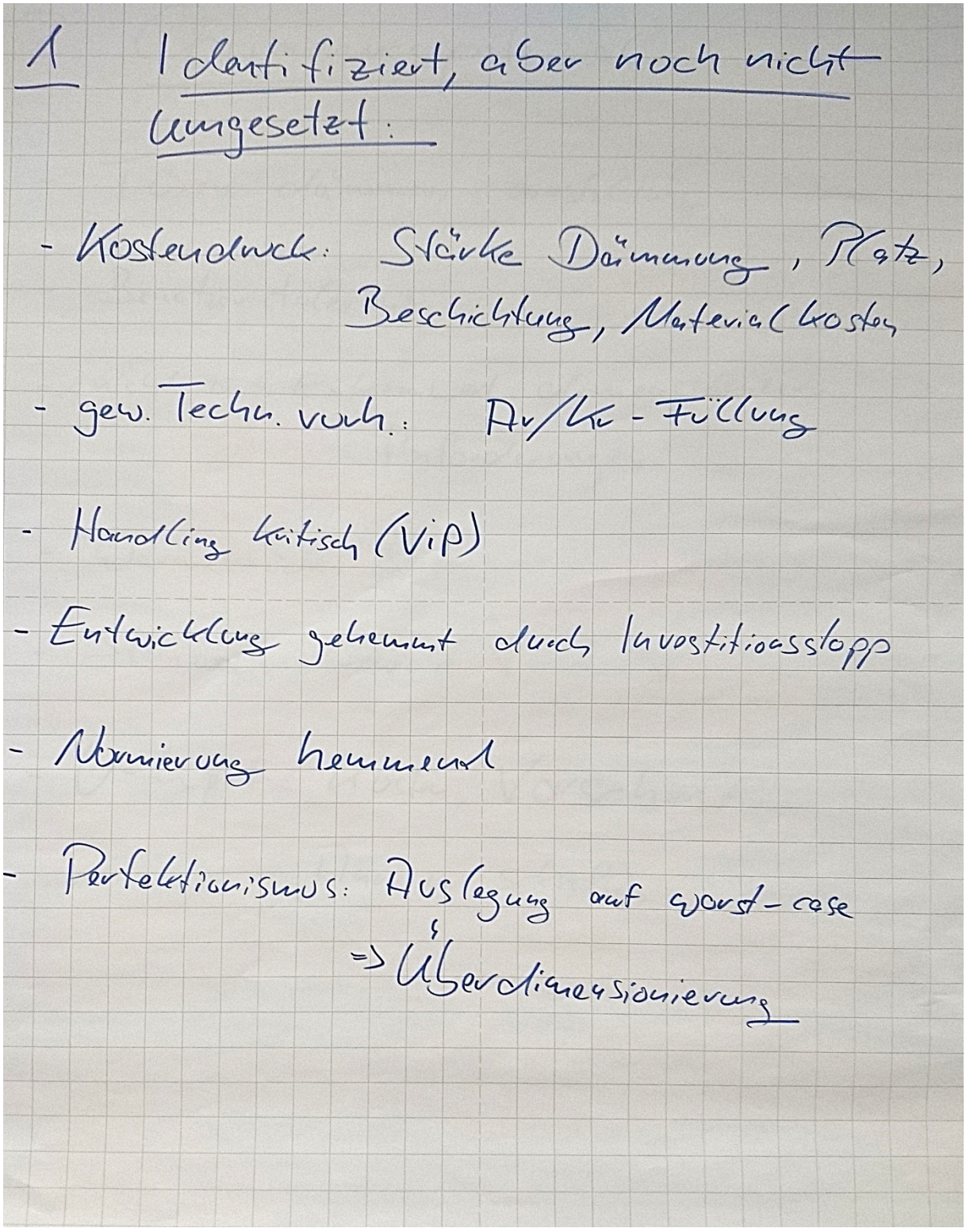
7.4 Workshop

In den folgenden Kapiteln 7.4.1 bis 7.4.5 werden die Ergebnisse der einzelnen Workshops dargestellt.

7.4.1 Elektrische Busse (HLK, Hülle)

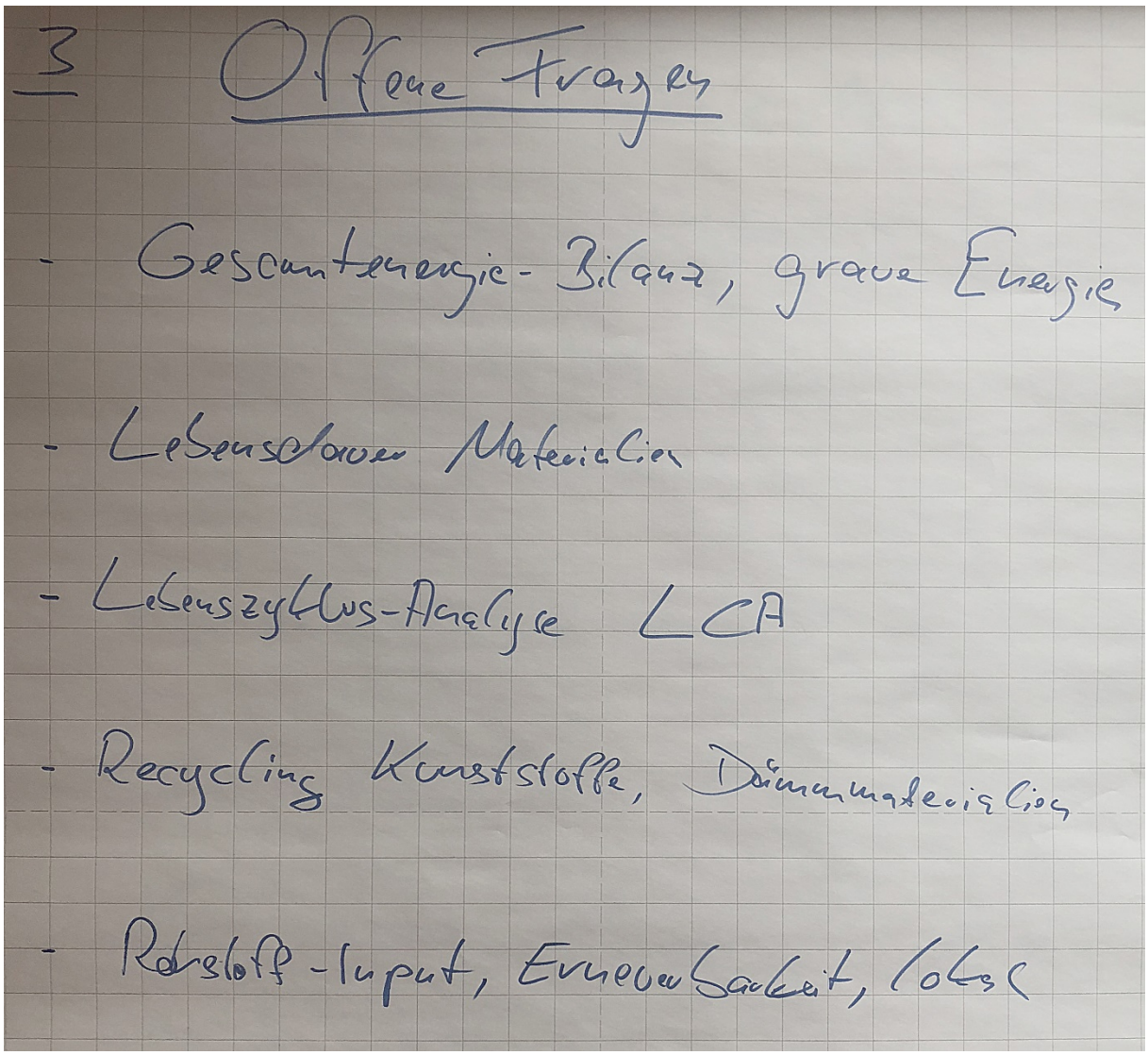


7.4.2 Fahrzeughülle



2 Optimierungspotenzial

- Türen dämmen, Gestaltung
- Benutzertoleranz
- nicht auf Extremwert dimensionieren: Anforderungen
- Wärmebrücken Seitenwand
- Steinwolle: Gewicht ↓ 2 ↓
- U-Wert: Kosten, Vorschriften, Anreize schaffen


3 Offene Fragen
- Gesamtenergie-Bilanz, graue Energie
- Lebenszyklus Materialien
- Lebenszyklus-Analyse LCA
- Recycling Kunststoffe, Dämmmaterialien
- Rohstoff-Input, Erneuerbarkeit, Lokal

Entwicklungen: Zukunft

technisch + Anforderungen

Sicherheit, Komfort, BehG

⇒ Gewicht

Zuverlässigkeit, Redundanz

dichtes Netz

Neue Medien, MoSiKommunikation

Komfortanforderungen: Ruhe

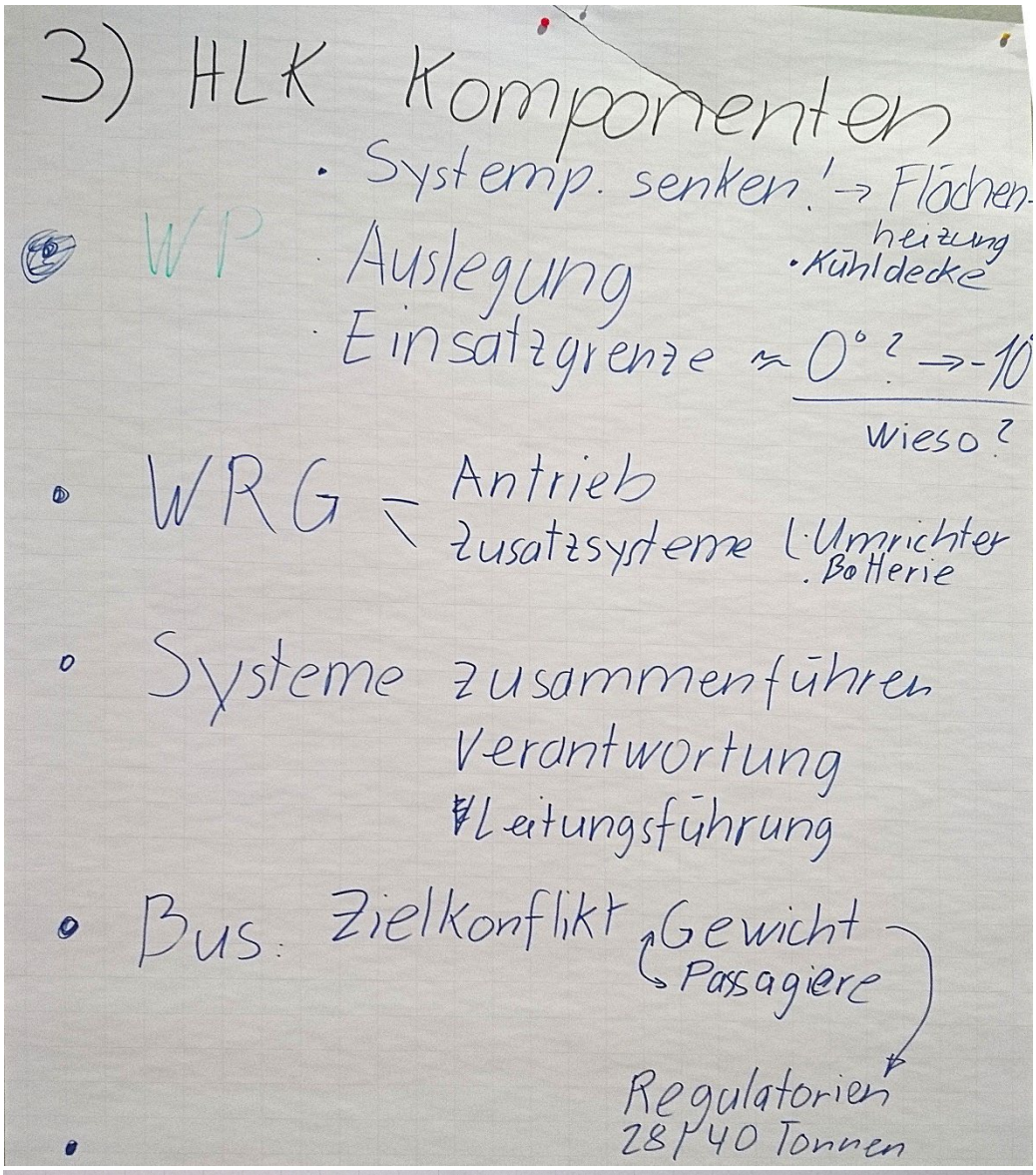
5 Konkrete Forschungsfragen

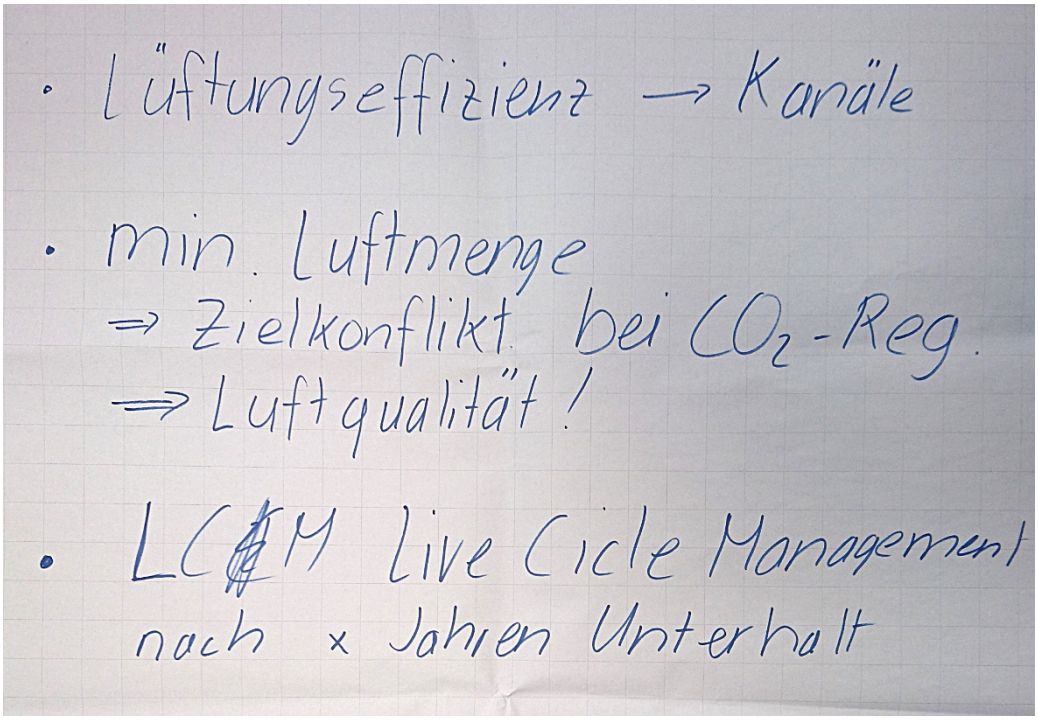
- Verbundkunststoffe? – Wärmebrücken einsparen?
- Überdämmung von Wärmebrücken
- offenporige Materialien: hydrophil/hydrophob?
- Kostengünstige Lösungen
- Undichtigkeiten in der Dampfsperre? (geschlossenporig, Kältebrücken)
- Feuchte bei reduzierter Luftwechselrate/in verschiedenen Klima
- Fenster: Abstandhalter, Argon? Fassung
- Vakuumisolierglas?
- Zukünftige Modellierung: SG Frequenten

6 Was müsste getan werden?

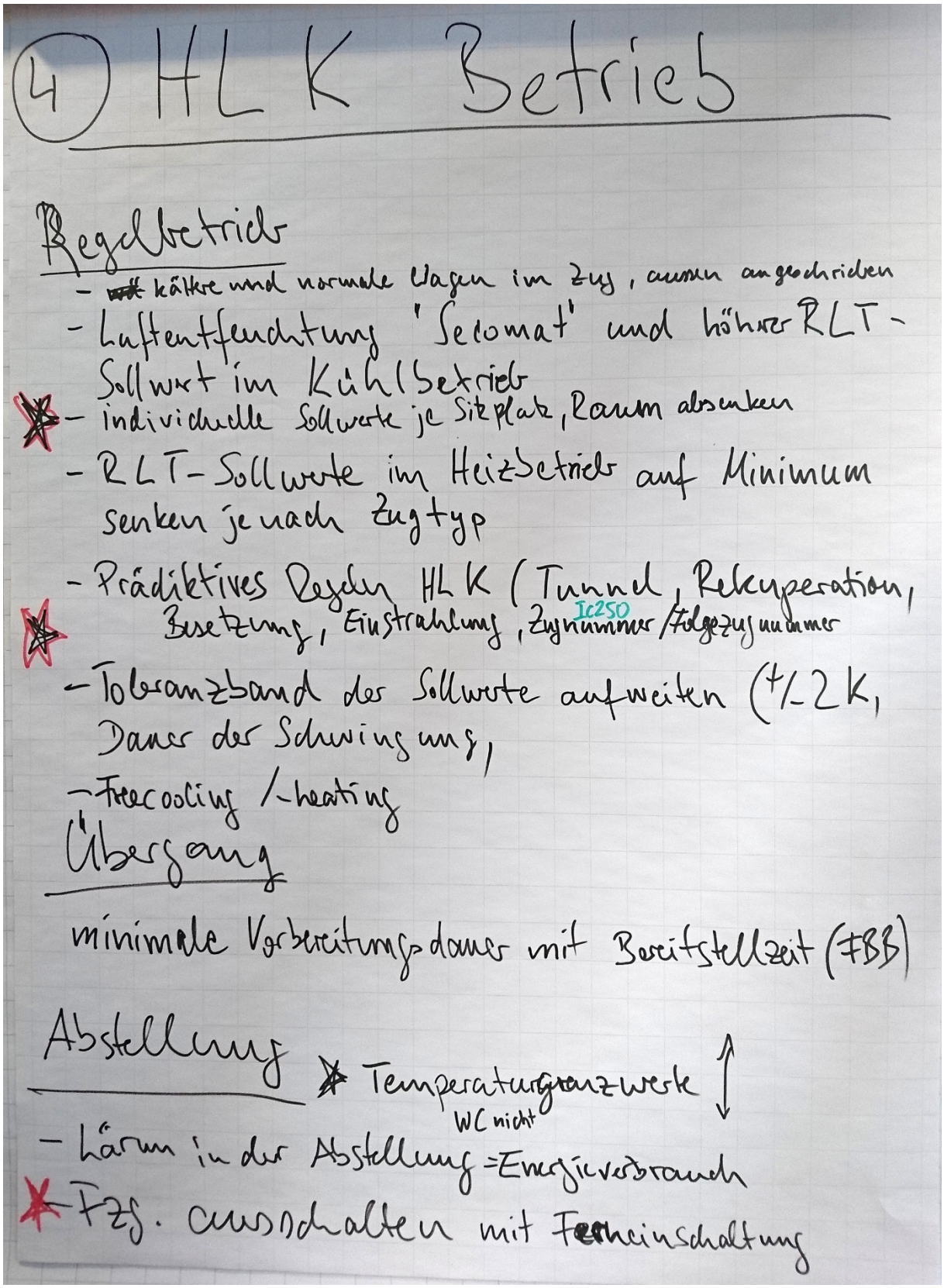
- Vorschriften, regulieren (U-Wert)
- nur so warm wie notwendig
- Kunden: Bewusstsein
- Monitoring im Betrieb:
  Regelungstechnik permanent überwachen
  vereinfachtes Messsystem verbauen/vorschreiben?
  => Big data Auswertung mit KI
  => Feedback
- Austausch: Hersteller, Betreiber, Hochschulen
- Publikationen, Fachtagungen

7.4.3 HLK Komponenten

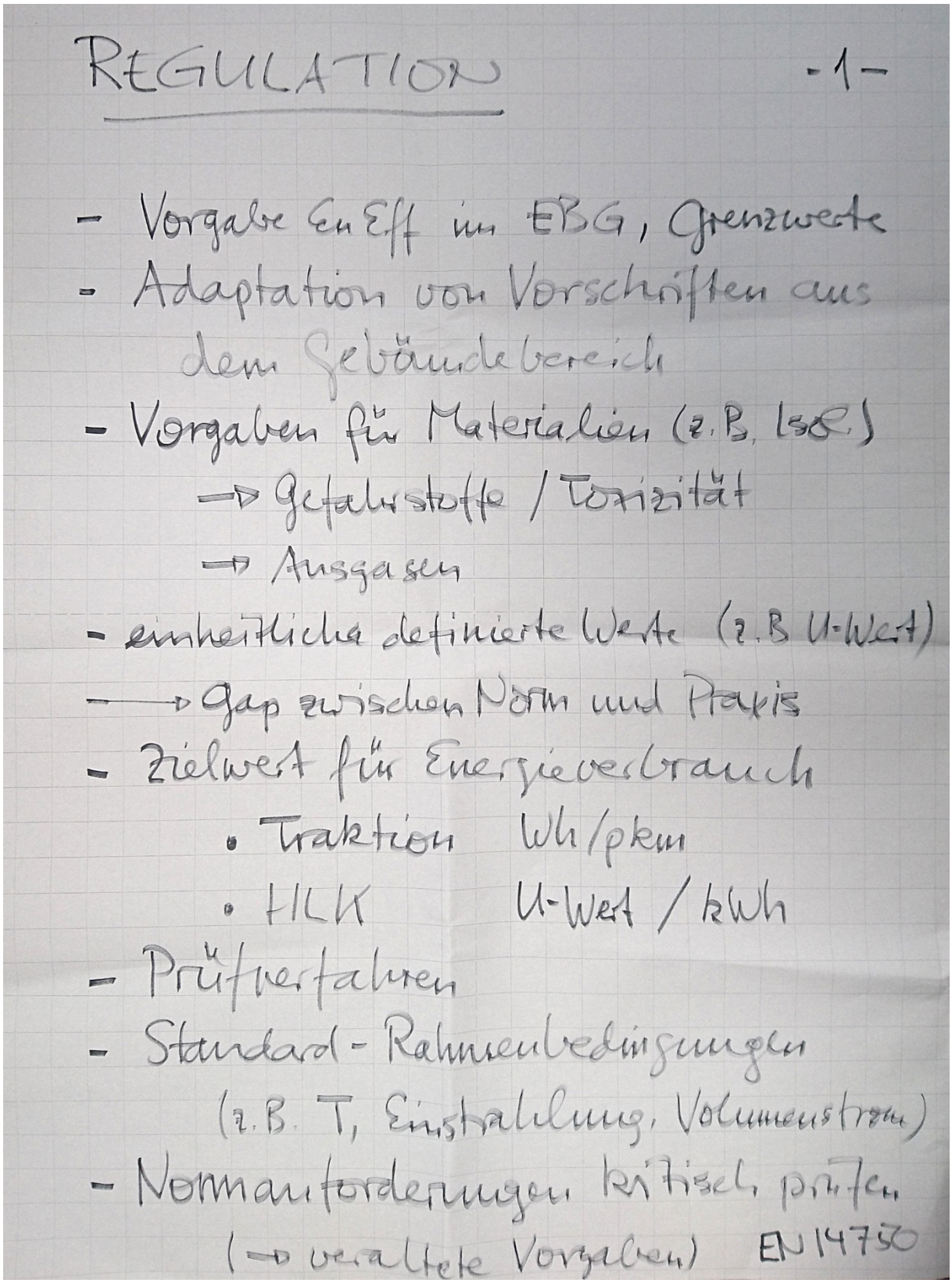




7.4.4 HLK Betrieb

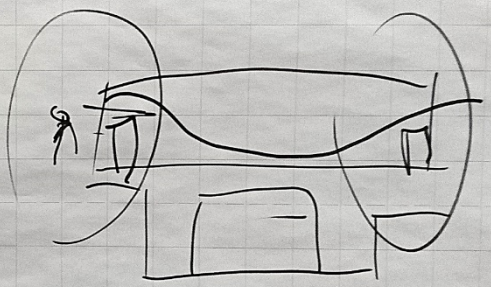


7.4.5 Regolatorien



REGULATION -2-

- technische Vorgaben für Fz / Komponenten
  (analog Sicherheit)
  unterschiedlich nach Fahrzeugklassen
- Effizienzklassen (GEAK)



PROJEKTIDEEN REGULATION

- Vorschlag für Grenzwerte
  für EnEff bei SFZ
- Musterausschreibung / RTE
- Normenreview / -bereinigung

7.5 Teilnehmerliste

Name	Vorname	Mail	Firma
Achermann	Marc	marc.achermann@hslu.ch	Hochschule Luzern
Bayon	Mathieu	mathieu.bayon@rail.bombardier.com	Bombardier
Blättler	Markus	Blättler Markus <markus.blaettler@hess-ag.ch>	Carrosserie HESS AG
Burkard	Hans	hbu@opit.ch	OPIT Solutions AG
Chevroulet	Tristan	Tristan.Chevroulet@bav.admin.ch	Bundesamt für Verkehr
Chrétien	Rémy	rc@geelhaarconsulting.ch	Programm Office
Dörwaldt	Thomas	Thomas.doerwaldt@stadlerrail.com	Stadlerrail
Dréwniok	Johannes	johannes.drewniok@sbb.ch	SBB
Egger	Ivo	Egger Ivo <ivo.egger@hess-ag.ch>	Carrosserie HESS AG
Egli	Christoph	ch.egli@flumroc.ch	Flumroc
Fleury	Jeremy	jeremy.fleury@epfl.ch	EPFL
Gerber	Andreas	Andreas.Gerber@sob.ch	Südostbahn
Graf	Thomas	thomas.graf@hslu.ch	Hochschule Luzern
Isenschmid	Christoph	Christoph.Isenschmid@bls.ch	BLS
Langenegger	Roman	roman.langenegger@stadlerrail.com	Stadlerrail
Lüönd	Felix	felix.lueoend@hslu.ch	Hochschule Luzern
Melián Hernández	Amabel Mónica	amabelmonica.melianhernandez@bfh.ch	Berner Fachhochschule
Menti	Urs-Peter	urs-peter.menti@hslu.ch	Hochschule Luzern
Müri	Matthias	m.mueri@rhb.ch	Rhätische Bahn
Stucki	Nicolai	Stucki Nicolai <nicolai.stucki@hess-ag.ch>	Carrosserie HESS AG
Rädle	Wolfgang	wolfgang.raedle@bfh.ch	Berner Fachhochschule
Schiele	Patrick	Patrick.Schiele@stadlerrail.com	Stadlerrail
Schnell	Stefan	Stefan.Schnell@bav.admin.ch	Bundesamt für Verkehr
Schüler	Andreas	andreas.schueler@epfl.ch	EPFL
Sidler	Franz	franz.sidler@hslu.ch	Hochschule Luzern
Stamm	Martin	martin.stamm@stadlerrail.com	Stadlerrail
Uehlinger	Urs	urs.uehlinger@bfh.ch	Berner Fachhochschule
Wernery	Jannis	jannis.wernery@empa.ch	Empa
Wüest	Peter	ecotrans@bluewin.ch	ecotrans