

Thermische Behaglichkeit im öV

Johannes Estermann, SBB
Christine Schulz-Dübi RBS

10. Forum Nachhaltige Energie,
Solothurn, 30. November 2023



Agenda.

1. Ausgangslage und Einordnung
2. Ergebnisse und Empfehlungen der Kundenbefragung
3. Die Umsetzung beim RBS
4. TempTrim – Energiesparen bei der Trambeheizung
5. Gruppenarbeit
 1. Technische Umsetzung auf Fahrzeugen
 2. Anstossen der Umsetzung in den Unternehmen
6. Zusammenfassung und Abschluss

Ausgangslage

Im Februar 2023 wurde mit Unterstützung des BAV-Programms ESöV in einer Fahrgastbefragung das Temperaturempfinden der Fahrgäste bei sieben Verkehrsunternehmen ermittelt. Damit wurde untersucht, wie sich das Temperaturempfinden bei abgesenkten Temperaturen in den Fahrgasträumen während der Energiemangellage veränderte. Fast 30 000 Fahrgäste im Fern-Regional- und Ortsverkehr wurden befragt.

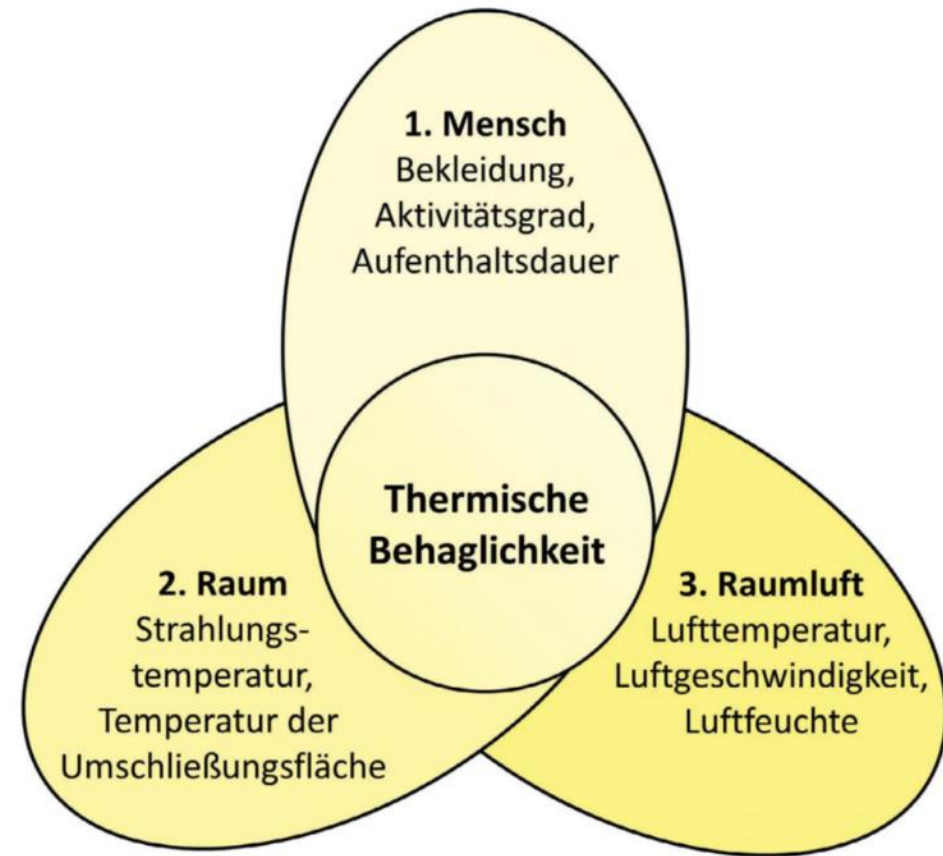
Die Verkehrsunternehmen sind nun aufgefordert zu prüfen, inwieweit unter Berücksichtigung von Reisedauer und Fahrzeugeigenschaften die Temperatur in den Fahrgasträumen für Energieeinsparungen dauerhaft gesenkt werden kann, um das Gesamtpotenzial des öV Schweiz von 38 GWh so weit als möglich zu realisieren.

Der Schlussbericht wurde durch das BAV ESöV veröffentlicht:
<https://www.aramis.admin.ch/Dokument.aspx?DocumentID=70871>

Thermische Behaglichkeit - Einflussfaktoren.

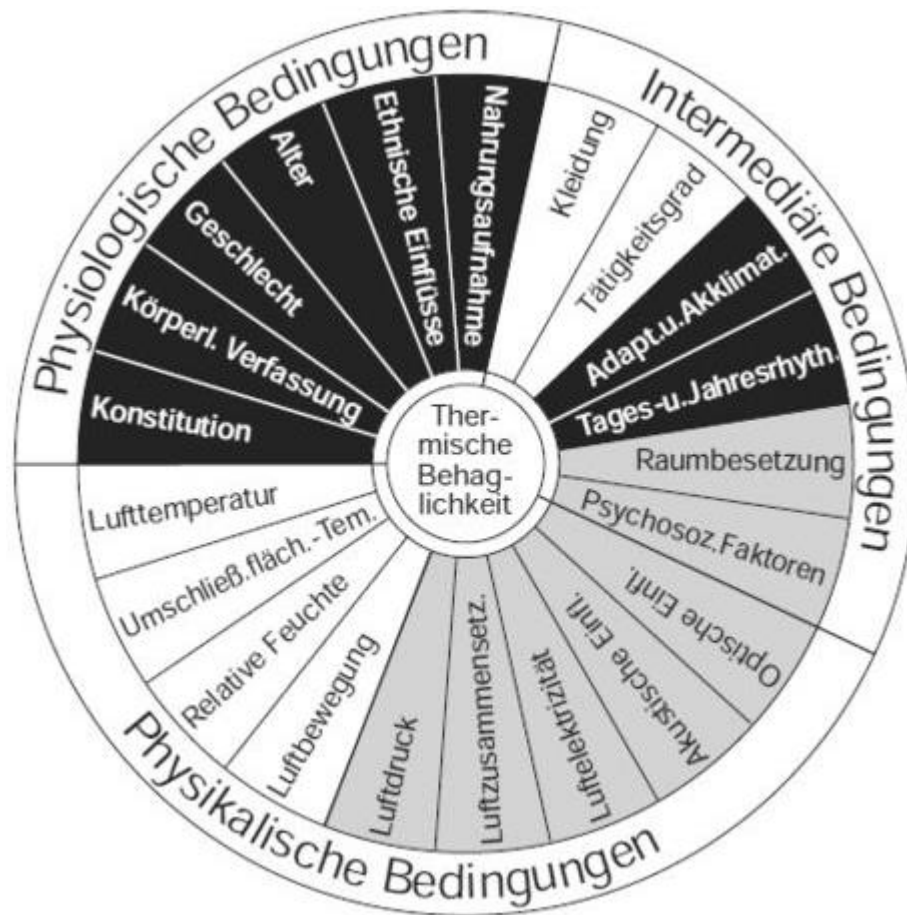
Die thermische Behaglichkeit ist von den drei Faktoren Mensch, Raum und Raumluft abhängig.




Welche Faktoren können durch die Klimageräte in den Zügen beeinflusst werden?



Quelle: kka-online.info

Thermische Behaglichkeit - Einflussfaktoren.



-  Primäre und dominierende Faktoren
-  Zusätzliche Faktoren
-  Sekundäre und vermutete Faktoren

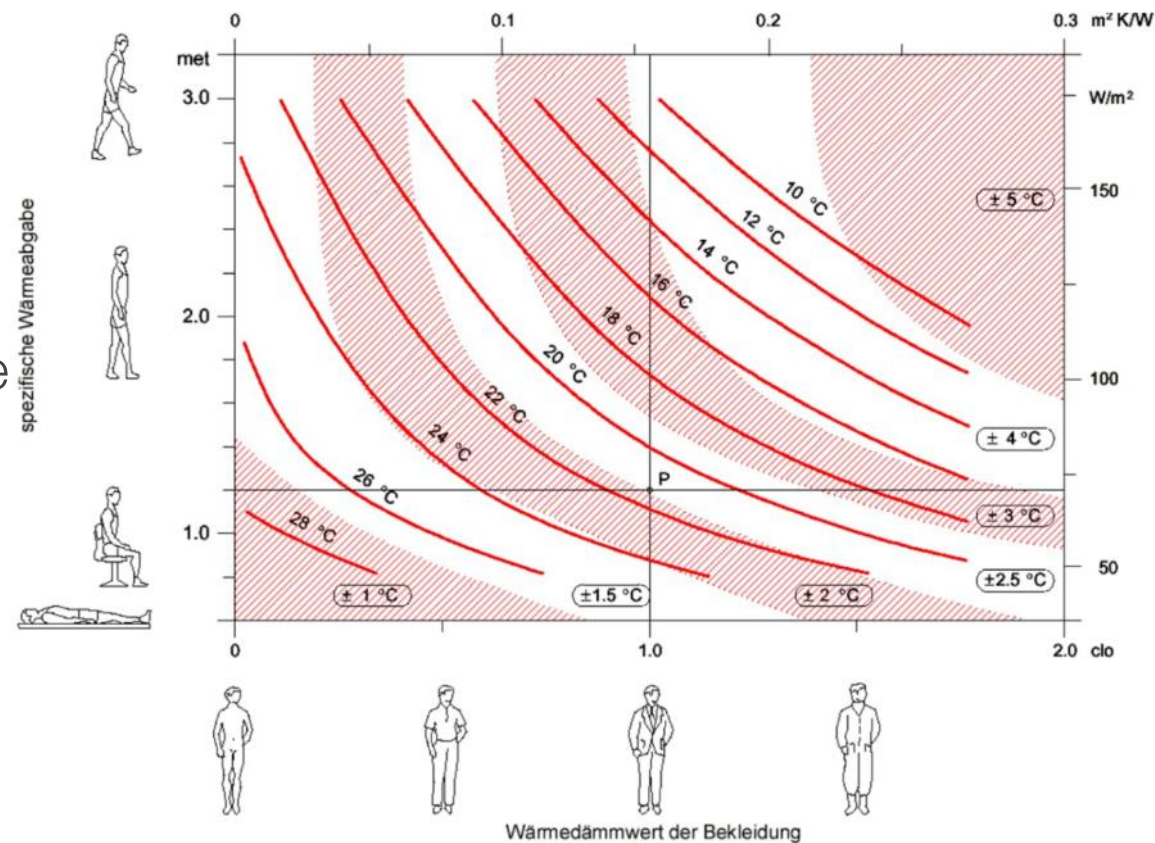
Welche Faktoren werden durch die Klimageräte in den Zügen beeinflusst?

Quelle: K. Schild und W. M. Willems, „Wärmeschutz - Grundlagen - Berechnung - Bewertung,“ 2011

Optimale Temperatur nach ISO 7750

Komfortdiagramm für optimale Raumtemperatur in Abhängigkeit von Aktivität und Bekleidung. Die rot schraffierten Bereiche geben die zulässige Abweichung von der optimalen Raumtemperatur an, die einem $-0.5 < \text{PMV} < 0.5$ entspricht. **PMV** ist das vorausgesagte mittlere Votum (predicted mean vote)

Das Beispiel, Punkt «P» zeigt, dass die optimale Temperatur einer Person für leichte, sitzende Beschäftigung (1.2 met) und Strassenkleidung (1.0 clo) bei $t_{\text{im}} = 21.5^\circ\text{C}$ liegt.



Prozentsatz der Unzufriedenen nach EN ISO 7730.

Der vorausgesagte Prozentsatz an Unzufriedenen (predicted percentage of dissatisfied, PPD) liefert Angaben zur thermischen Unbehaglichkeit oder Unzufriedenheit, indem der Prozentsatz an Menschen vorausgesagt wird, die ein bestimmtes Umgebungsklima wahrscheinlich als zu warm oder zu kalt empfinden.

Selbst in Neutralzone PMV +/- 0.5 muss man etwa mit 10% der Raumnutzer rechnen, die mit dem Raumklima unzufrieden sein werden.

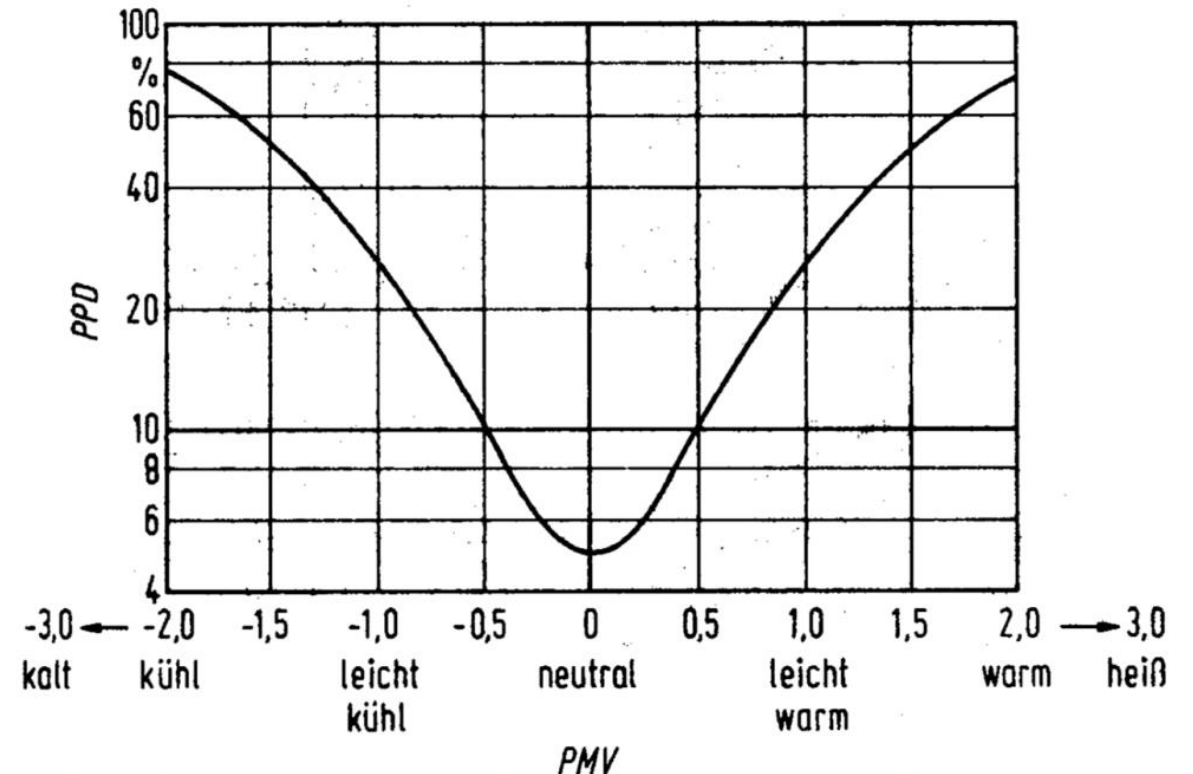


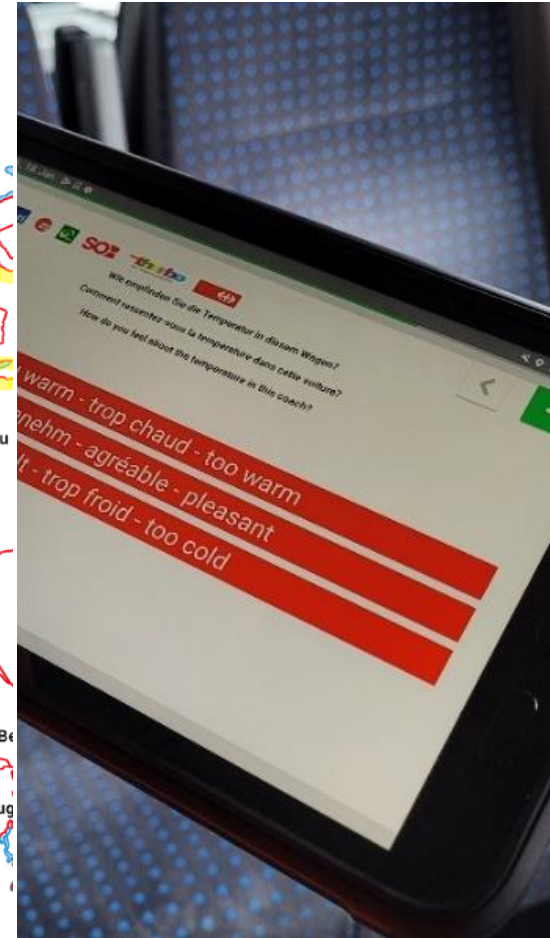
Abb. Zusammenhang PPD als Funktion des Bewertungs-Index PMV

Grosses Energiesparpotenzial durch Temperaturabsenkung.

Schätzung des Gesamtpotenzials der Energieeinsparung für die Absenkung der Fahrgastraumtemperaturen mit einer Genauigkeit von $\pm 50\%$.

		Fern- verkehr	Regional- verkehr	Tram	Trolleybusse	Summe
Energiebedarf 2021	GWh/Jahr	648	1'342	154	78	2'222
Anzahl Fahrzeuge (Wagenkasten / Fahrzeug)	Stück	1'992	5'505	731	536	8'764
Absenkung der Raumlufthtemperatur	K	1	2 - 3	2 - 3	2 - 3	
Abschätzung: Energieeinsparung pro Wagenkasten / Fahrzeug	MWh/Jahr	2.5	4	11	5	
Gesamtpotenzial Energieeinsparung	GWh/Jahr	5	22	8	3	38
Potenzial bis 2035 Annahme: 60% realisierbar	GWh/Jahr	3	13	5	2	23

Kundenbefragung zu Temperaturen in Fahrzeugen.



Was wurde erfasst?

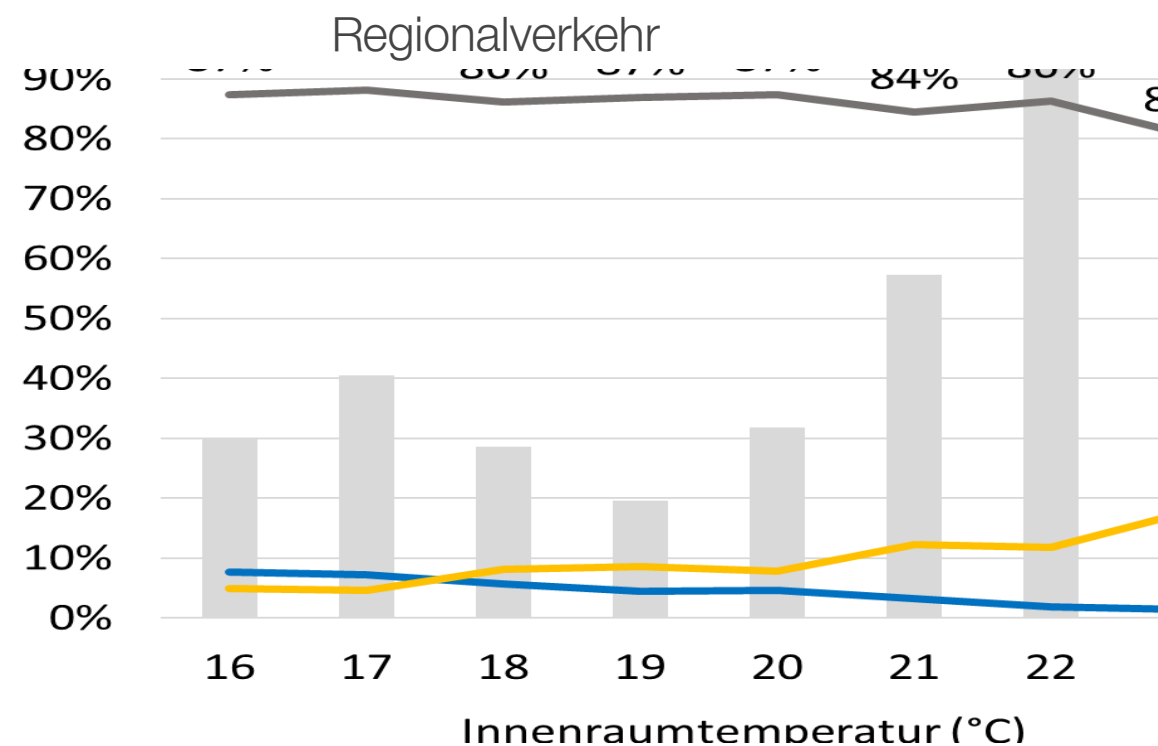
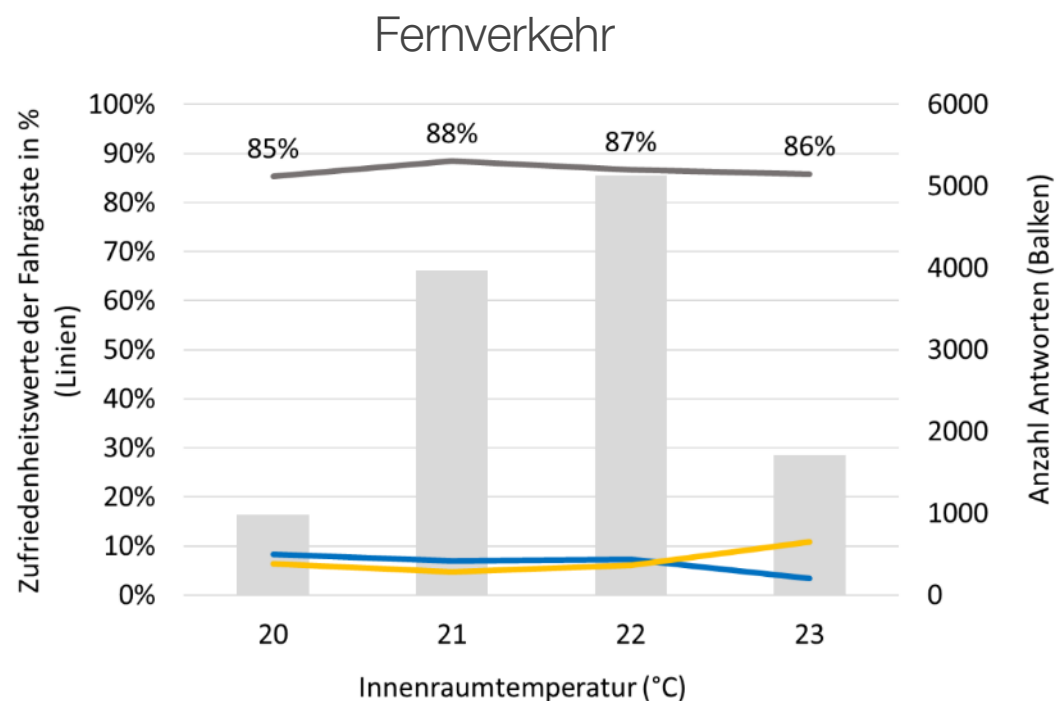
- Temperaturempfinden
- Aufenthaltsdauer
- Fahrzeugnummer
- Wetter
- Raumlufttemperatur

Weitere Einflussfaktoren auf die **thermische Behaglichkeit** wie Luftgeschwindigkeit, Oberflächentemperaturen, rel. Feuchte oder Bekleidung der Fahrgäste wurden nicht erhoben.

Fahrgastzufriedenheit bei unterschiedlicher Raumlufttemperatur.

Prozentuale Zufriedenheit der Kunden je Raumlufttemperatur (°C),

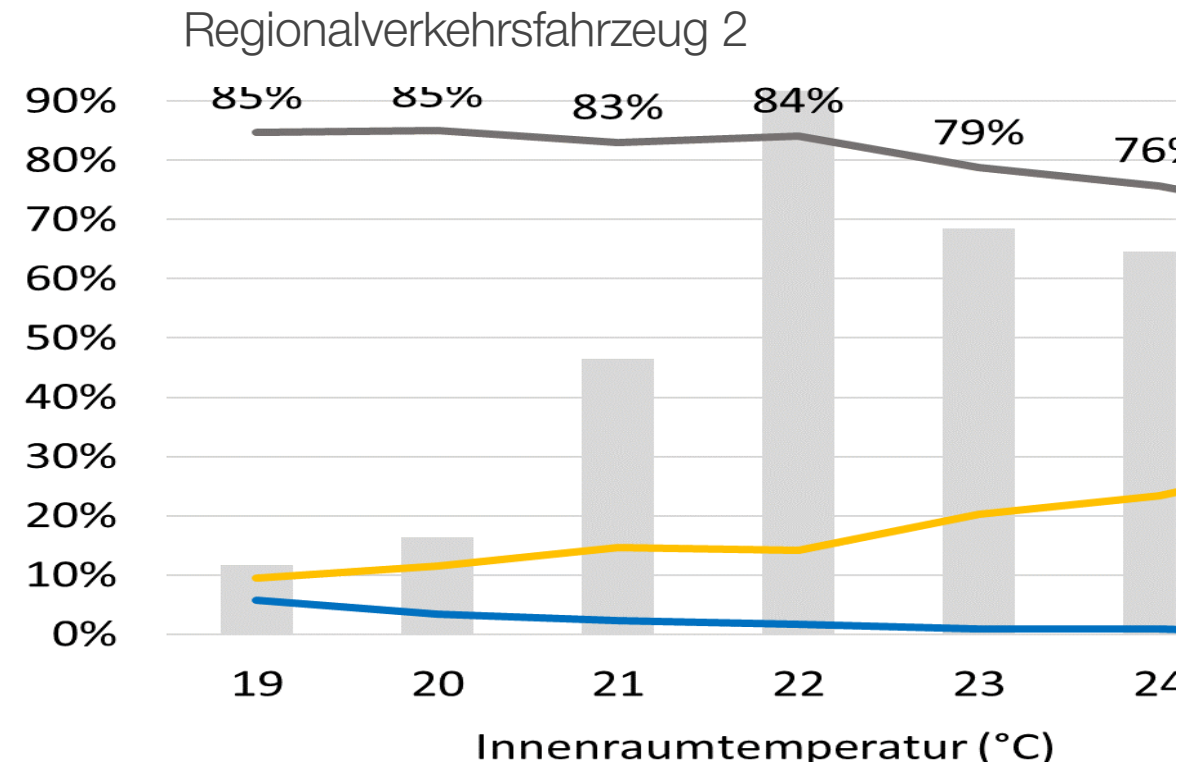
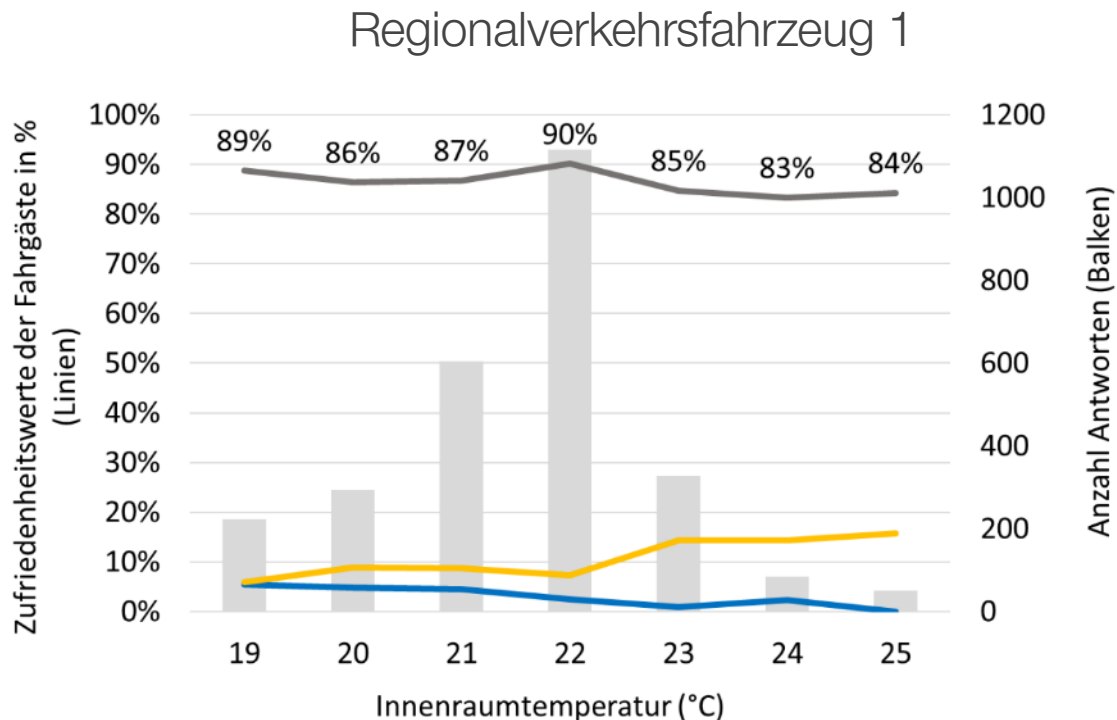
- Linien (linke Achse): «angenehm» (grau), «zu kalt» (blau), «zu warm» (gelb).
- Balken (rechte Achse): Anzahl Antworten.



Beispiel RV: Fahrgastzufriedenheit bei unterschiedlicher Raumlufttemperatur.

Prozentuale Kundenzufriedenheit je Raumlufttemperatur.

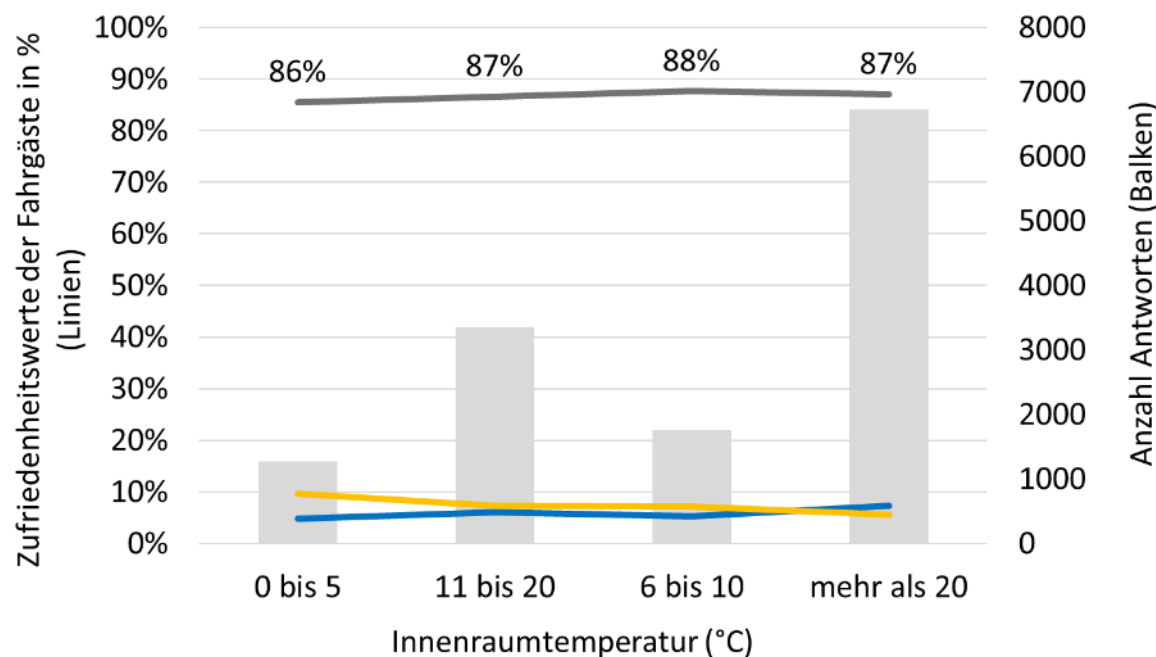
Linien (linke Achse): Anteil Rückmeldungen «angenehm» (grau), «zu kalt» (blau), «zu warm» (gelb). Balken (rechte Achse): Anzahl Antworten.



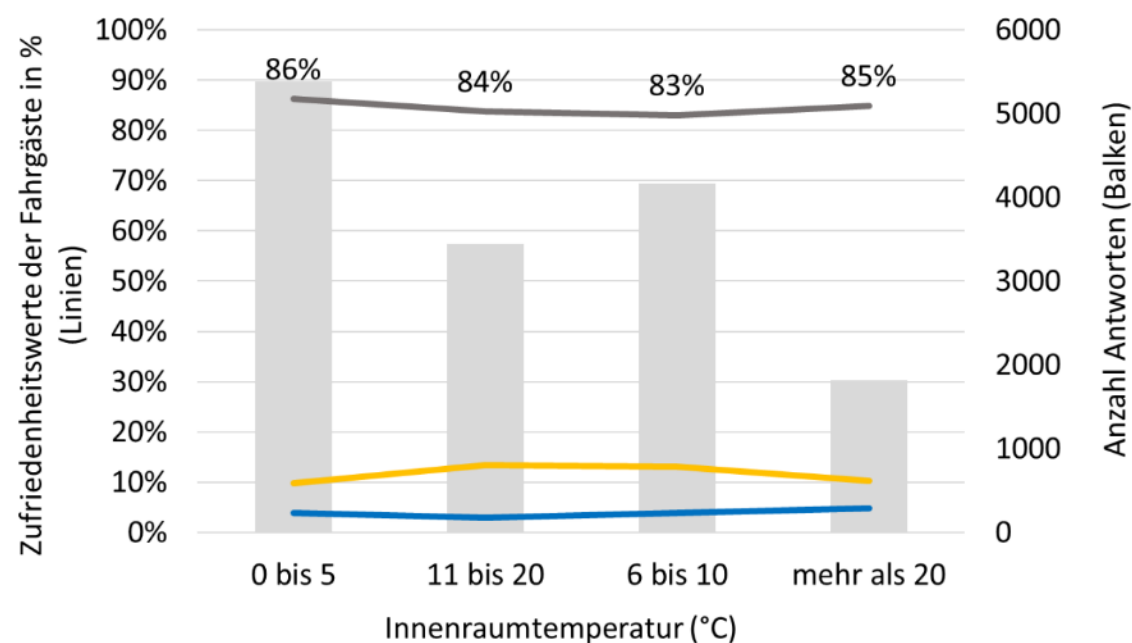
Fahrgastzufriedenheit bei unterschiedlicher Aufenthaltsdauer.

Prozentuale Kundenzufriedenheit nach Aufenthaltsdauer für alle Raumlufttemperaturen, Linien (linke Achse): Anteil Rückmeldungen «angenehm» (grau), «zu kalt» (blau), «zu warm» (gelb). Balken (rechte Achse): Anzahl Antworten absolut. FV: mit zunehmender Aufenthaltsdauer nimmt der Anteil Rückmeldungen „zu warm“ ab.

Fernverkehr



Regionalverkehr



Weitere Einflussfaktoren auf die Fahrgastzufriedenheit.

Die Kundenzufriedenheit wird leicht beeinflusst durch

- **Belegungsgrad:** Mit zunehmender Belegung steigt der Anteil «zu warm» leicht an und die Gesamt-zufriedenheit nimmt leicht ab,
- **Witterung:** Bei „Sonne“ etwas mehr Antworten „zu warm“, bei „Regen“ höherer Anteil „zu kalt“,
- **Position im Fahrzeug RV:** Einstöckige Fahrzeuge und Oberdecks werden mit grösserem Anteil «zu warm» beurteilt. Im RV gab es in der **2. Klasse** einen grösseren Anteil „zu warm“ als in der 1. Klasse.
- **Nachmittags** steigt der Anteil Rückmeldungen «zu warm» an, **Abends** nimmt der Anteil «zu kalt» zu.

Die folgenden Faktoren haben **keinen oder nur geringen Einfluss** auf die Zufriedenheit der Fahrgäste:

- **Position im Fahrzeug FV:** konstant hohe Zufriedenheit, kein Trend erkennbar,
- **Aussenlufttemperatur, Belegungsgrad, Fahrzeugklasse im FV, Wochentage.**

Weitere Einflussfaktoren auf die **thermische Behaglichkeit** wie Luftgeschwindigkeit, Oberflächentemperaturen, rel. Feuchte oder Bekleidung der Fahrgäste wurden nicht erhoben.

Empfehlungen für Raumlufthtemperatur-Sollwerte aus dem BAV-ESÖV Schlussbericht.

- Im **Fernverkehr** wird höchstens 21 °C als Sollwert der Raumlufthtemperatur im Heizbetrieb empfohlen.
- Im **Regionalverkehr** wird bis zu einer mittleren Reisedauer von 20 Minuten 19 °C als Sollwert der Raumlufthtemperatur empfohlen.
- Für den **Ortsverkehr** wird auf die Antworten aus dem Regionalverkehr mit Aufenthaltsdauer der Fahrgäste bis 10 Minuten verwiesen. Damit wird unter Berücksichtigung der Energieeffizienz 16 °C als Sollwert der Raumtemperatur für den Ortsverkehr empfohlen.

Die Umsetzung beim RBS

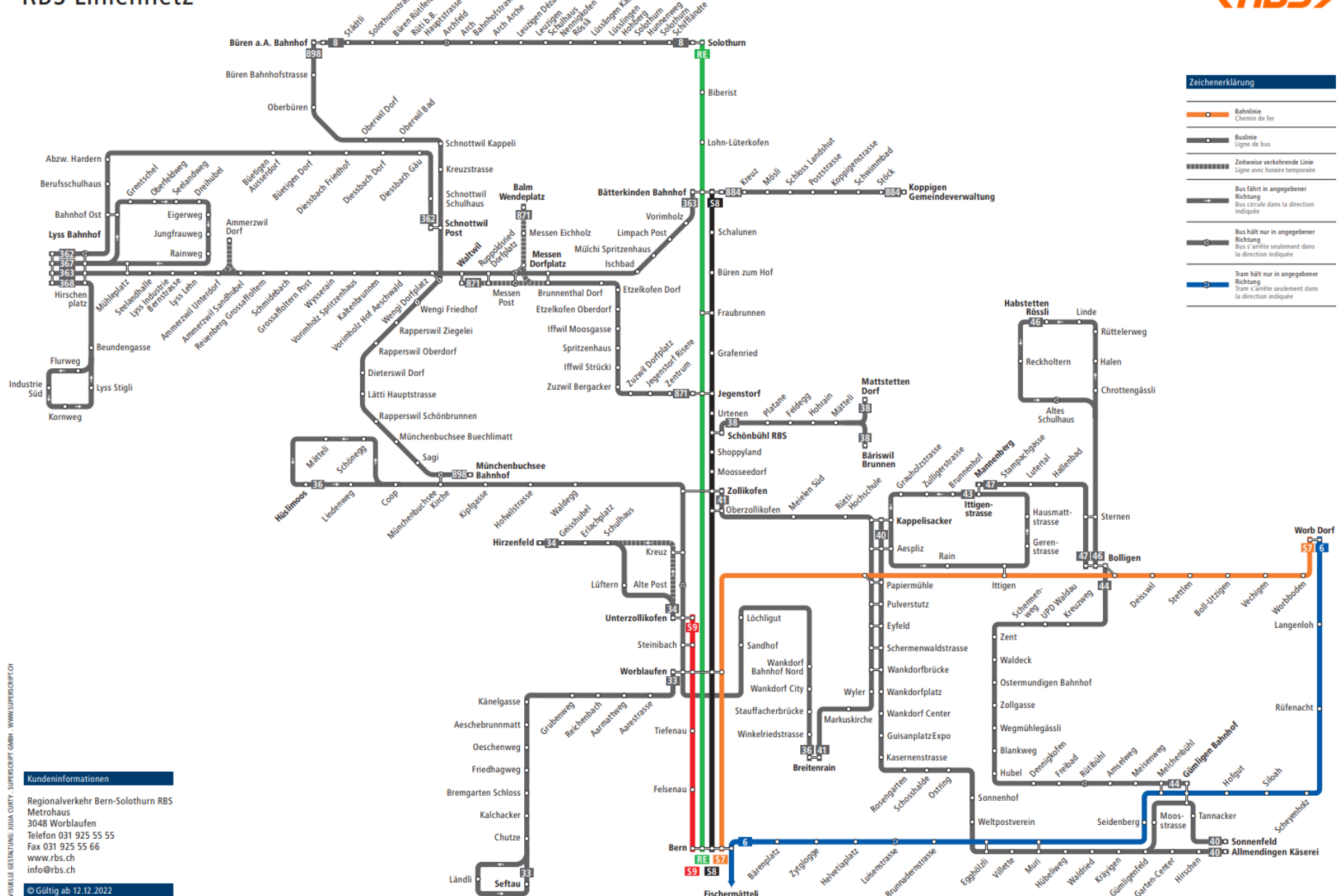




RBS-Flotte:

- 11 Secondas (1992)
- 13 Next (2009)
- 14 Worblas (2018)
- (9 Trams, 1987)

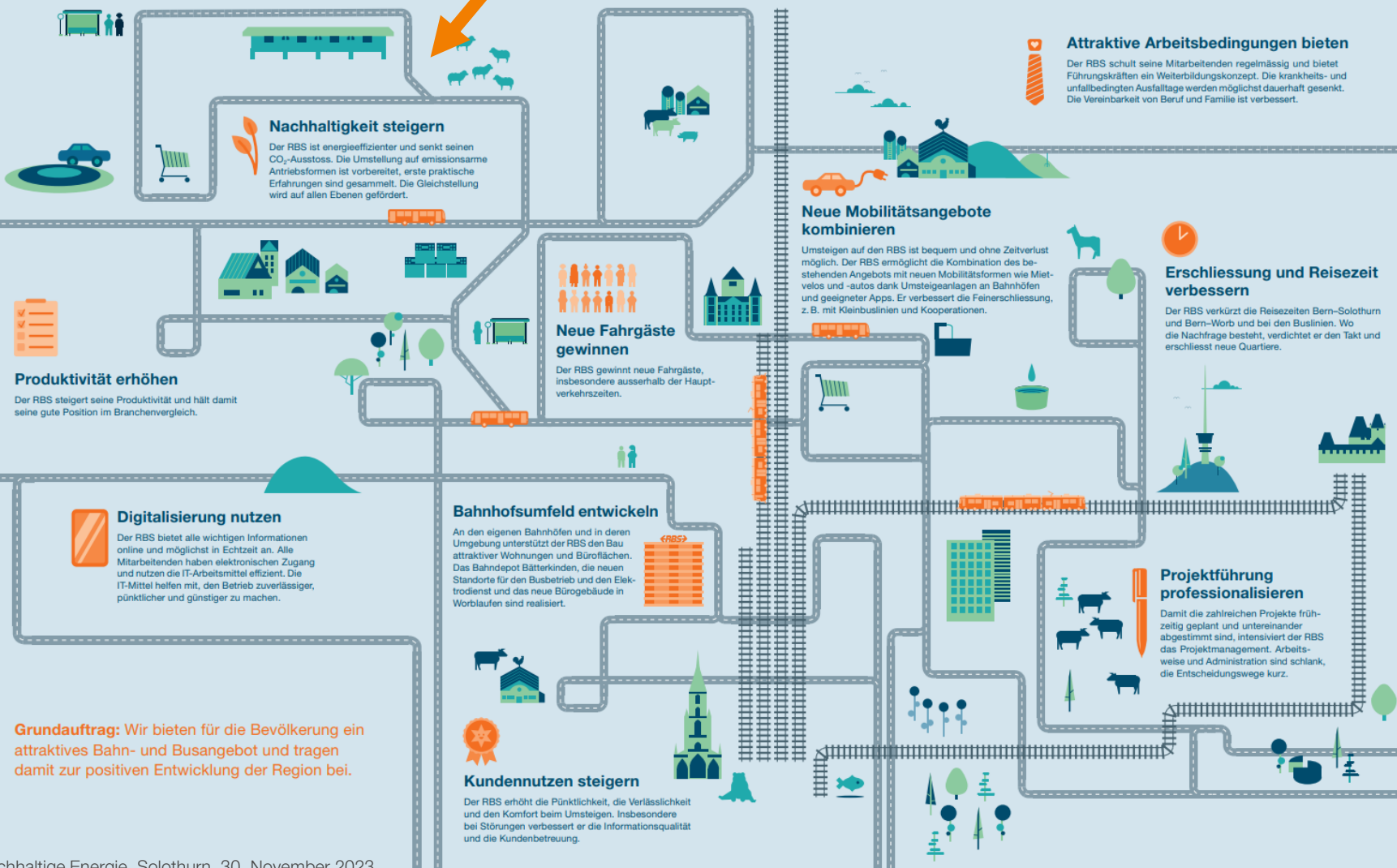
RBS Liniennetz



Strategie 2020–2025: die wichtigsten Ziele



Vision: Wir sind leistungsstark, effizient und regional verankert. Wir perfektionieren unser öV-Angebot und arbeiten nachhaltig.



TempTrim – Energiesparen bei der Trambeheizung

Clara Tillous Oliva, Florian Schubert,
Beatriz Movido, Oleksandr Halipchak,
Yash Dubey

30. November 2023, Solothurn
Öffentlich



Agenda

1. Motivation & Projekt
2. Modellierung
3. Berechnungstool



Quelle: https://en.wikipedia.org/wiki/Trams_in_Zürich#/media/File:Bahnhofstrasse_-_Uraniastrasse_-_Beatengasse_2010-08-27_19-07-46_ShiftN.jpg

Abb. 1: Tram in Zürich

Motivation & Projekt

- Die Verkehrsbetriebe Zürich (VBZ) hatten bemerkt, dass der Energiebedarf für das Heizen der Trams genauso hoch ist wie der Traktionsenergiebedarf an kalten Tagen.
- Durch eine Senkung der Temperatur um wenige Grad könnten erhebliche Energieeinsparungen erzielt werden.
- Um die Einsparungen zu messen, war eine umfangreiche Messkampagne durchgeführt worden.
- Idee (während Energy Now! 2022): Verallgemeinerung der Ergebnisse für den öffentlichen Zugang.
- Energy Now! 2.0, organisiert vom Energy Science Center (ESC), ETH Zürich
- Projektpartner: VBZ (Geoffrey Klein, Fabio Inderbitzin)



Modellierung

Thermodynamisches Modell:

- Stationäres Modell für die Energiebilanz
- Wärmeerzeugung und -verluste im Gleichgewicht
- Durchschnittliche stündliche Auflösung für jeden Monat

Eingaben:

- Tramspezifikation und Betriebsablauf (von Benutzer*in bereitgestellt)
- Klimadaten (Datenbank EU PVGIS 5.2)

Ergebnisse:

- Gesamtwärme, elektrische Energie und Kosten
- Instantane Leistungen (Wärmeerzeugung/Verluste)

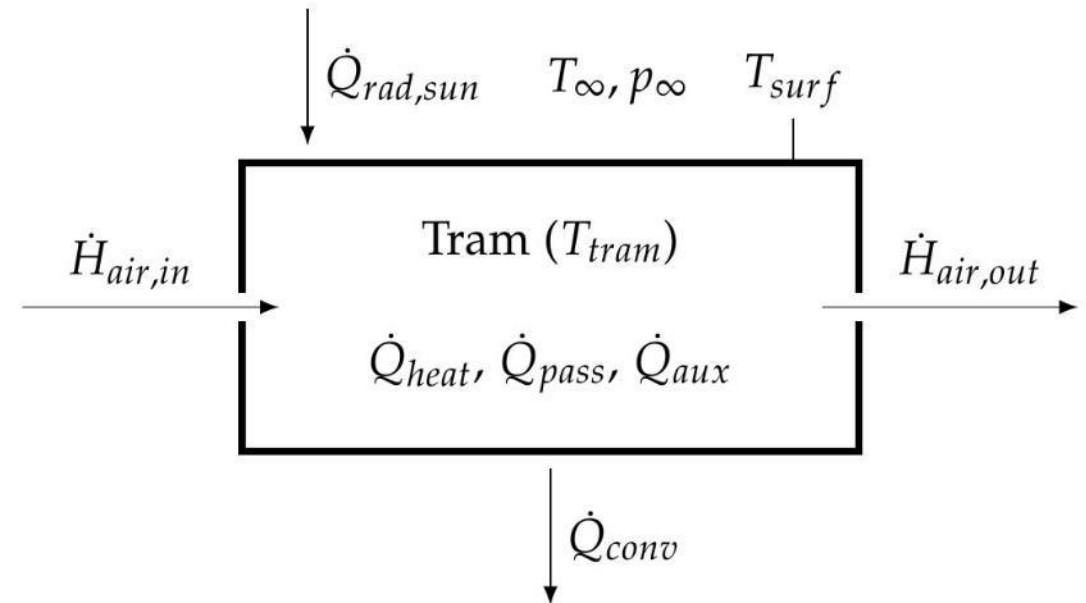


Abb. 2: Thermodynamisches System

Berechnungstool

- Sehr flexibel und ermöglicht die Eingabe eigener Messungen und Parameter
 - Freier Zugang und Open Source Projekt
 - Die Daten der Cobra-Straßenbahnflotte (VBZ) sind als Standard verfügbar.
-
- Tool Website:
<https://temptrim.streamlit.app>
 - GitHub Projekt:
https://github.com/TempTrim/temp_trim



Abb. 3: QR-Code zur Tool Website

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Ein besonderer Dank an das ESC und die VBZ!



Clara Tillous Oliva, ctillous@student.ethz.ch
Florian Schubert, fschuber@student.ethz.ch
Student*innen im M.Sc. Energy Science & Technology
ETH Zürich
Rämistrasse 101
8092 Zürich

Gruppenarbeit

Gruppenarbeit 1: Technische Umsetzung auf Fahrzeugen

- Klassifizierung der "eigene" Fahrzeugflotte,
- Rahmenbedingungen und Normen,
- Technische Umsetzung, was ist zu beachten?
- Beispiele von Sollwertkurven.

Gruppenarbeit 2: Anstossen der Umsetzung in den Unternehmen

- Gremienarbeit im eigenen Unternehmen,
- Rückmeldungen der Kunden zur Temperatur in Fahrzeugen allgemein
- Kommunikationsstrategien,
- Einbettung der Thematik Energiesparen
- Flotte aufteilen und Umfrage machen?
- "Mutig sein" im Sinne von Energiemangellage, Energiesparthemen

Fazit aus den Gruppen und zum Workshop.

Gruppenarbeit 1: Technische Umsetzung auf Fahrzeugen

Gruppenarbeit 2: Anstossen der Umsetzung in den Unternehmen

Schlussrunde

Wer berücksichtigt das Thema
Temperatur im eigenen
Unternehmen?

Wer glaubt, dass eine
Temperaturabsenkung einen
Beitrag leisten kann?

"Die Teilnehmenden sind
motiviert zur Umsetzung von
Temperatur-absenkungen im
eigenen Unternehmen."



Besten Dank!