

Confort thermique dans les transports publics

Johannes Estermann, CFF
Christine Schulz-Dübi RBS

10e Forum sur l'énergie durable,
Soleure, le 30 novembre 2023

«Le présent document a été traduit automatiquement sans aucune relecture de la part du service de traduction. En cas de doute, la version originale en allemand fait foi.»

Programme.

1. Situation initiale et classification
2. Résultats et recommandations de l'enquête auprès des clients
3. La mise en œuvre au RBS
4. TempTrim - Économies d'énergie dans le chauffage des tramways
5. Travail de groupe
 1. Mise en œuvre technique sur les véhicules
 2. Encourager la mise en œuvre dans les entreprises
6. Synthèse et fin.

Situation initiale

En février 2023, avec le soutien du programme ESöV de l'OFT, une enquête auprès des passagers a permis de déterminer leur perception de la température auprès de sept entreprises de transport. Cela a permis d'étudier comment la perception de la température a changé lorsque les températures ont été abaissées dans les habitacles pendant la situation de pénurie d'énergie. Quelque 30 000 personnes en trafics grandes lignes, régional et local ont été interrogées pour les besoins de l'étude.

Les entreprises de transport sont maintenant invitées à examiner dans quelle mesure, en tenant compte de la durée du voyage et des caractéristiques des véhicules, la température dans les espaces passagers peut être abaissée durablement pour réaliser des économies d'énergie, afin de réaliser autant que possible le potentiel global des TP suisses de 38 GWh.

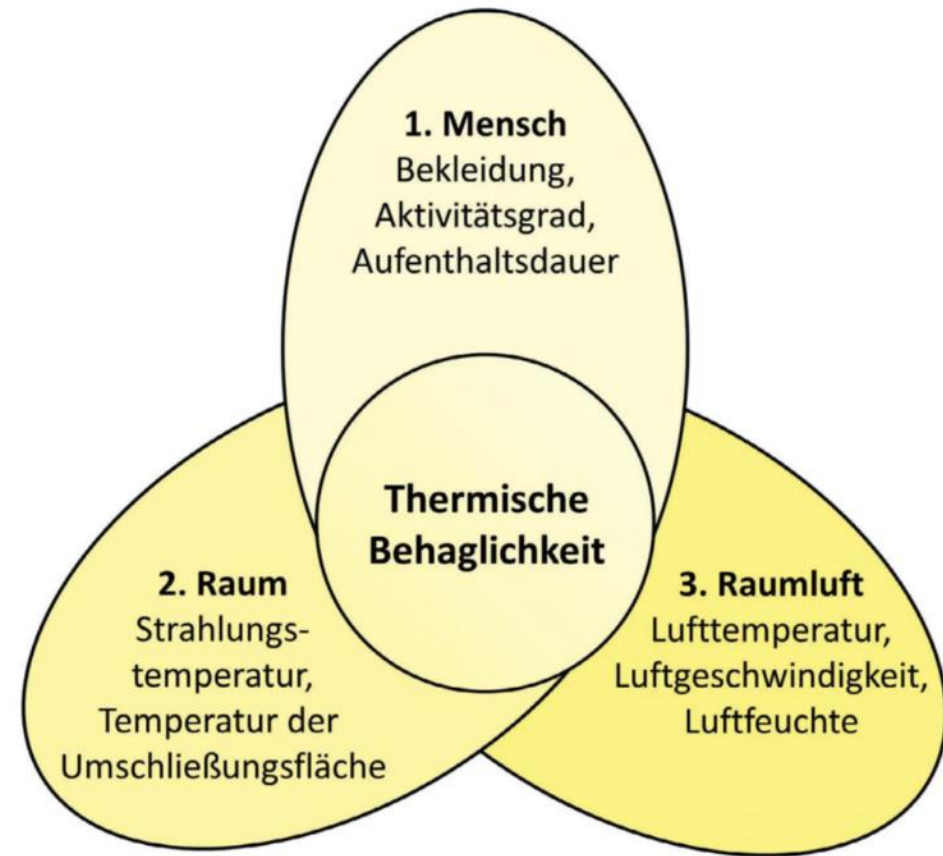
Le rapport final a été publié par l'OFT ESöV :

<https://www.aramis.admin.ch/Dokument.aspx?DocumentID=70871>

Confort thermique - facteurs d'influence.

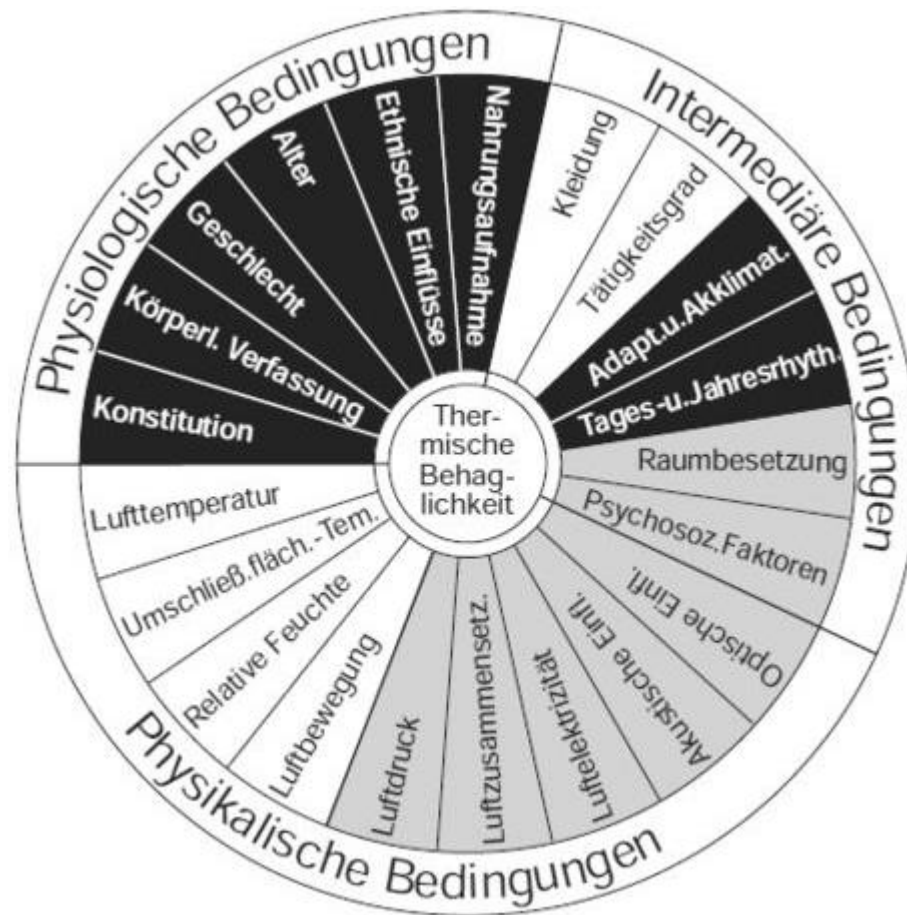
Le confort thermique dépend de trois facteurs : l'homme, la pièce et l'air ambiant.




Quels facteurs peuvent être influencés par les climatiseurs dans les trains ?



Source: kka-online.info

Confort thermique - facteurs d'influence.



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

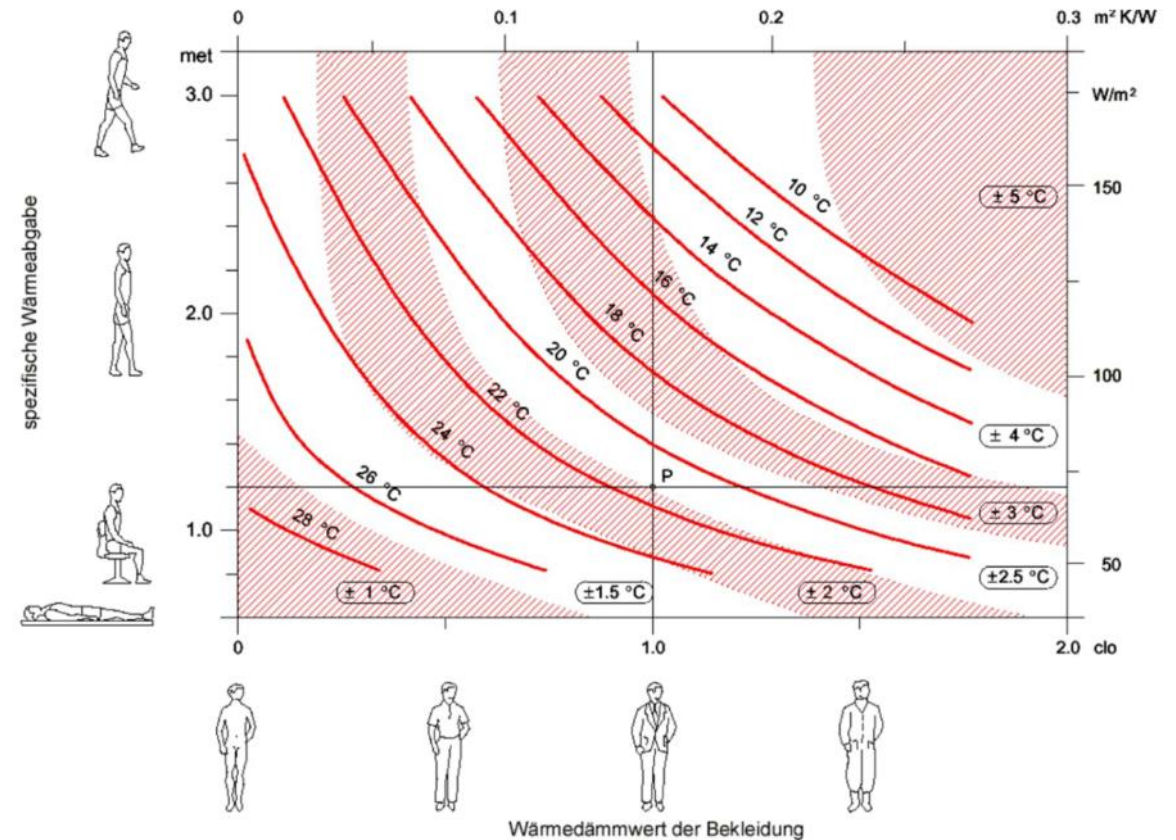
Quels sont les facteurs influencés par les climatiseurs dans les trains ?

Source: K. Schild et W. M. Willems, "Wärmeschutz - Grundlagen - Berechnung - Bewertung," 2011

Température optimale selon ISO 7750

Diagramme de confort pour une température ambiante optimale en fonction de l'activité et de l'habillement. Les zones hachurées en rouge indiquent l'écart admissible par rapport à la température ambiante optimale, qui correspond à un $-0,5 < PMV < 0,5$. **PMV** est le vote moyen prédit (predicted mean vote)

L'exemple, point "P", montre que la température optimale d'une personne pour une occupation légère et assise (1.2 met) et des vêtements de ville (1.0 clo) est $t_{tim} = 21.5^{\circ}\text{C}$. La température optimale de la personne pour une occupation légère et assise (1.2 met) et des vêtements de ville (1.0 clo) est $t_{tim} = 21.5^{\circ}\text{C}$.



Pourcentage d'insatisfaits selon la norme EN ISO 7730.

Le pourcentage prédit d'insatisfaits (PPD) fournit des informations sur l'inconfort thermique ou l'insatisfaction en prédisant le pourcentage de personnes susceptibles de trouver un climat ambiant donné trop chaud ou trop froid.

Même en zone neutre PMV +/- 0,5, il faut s'attendre à ce qu'environ 10% des utilisateurs de la pièce soient insatisfaits du climat intérieur.

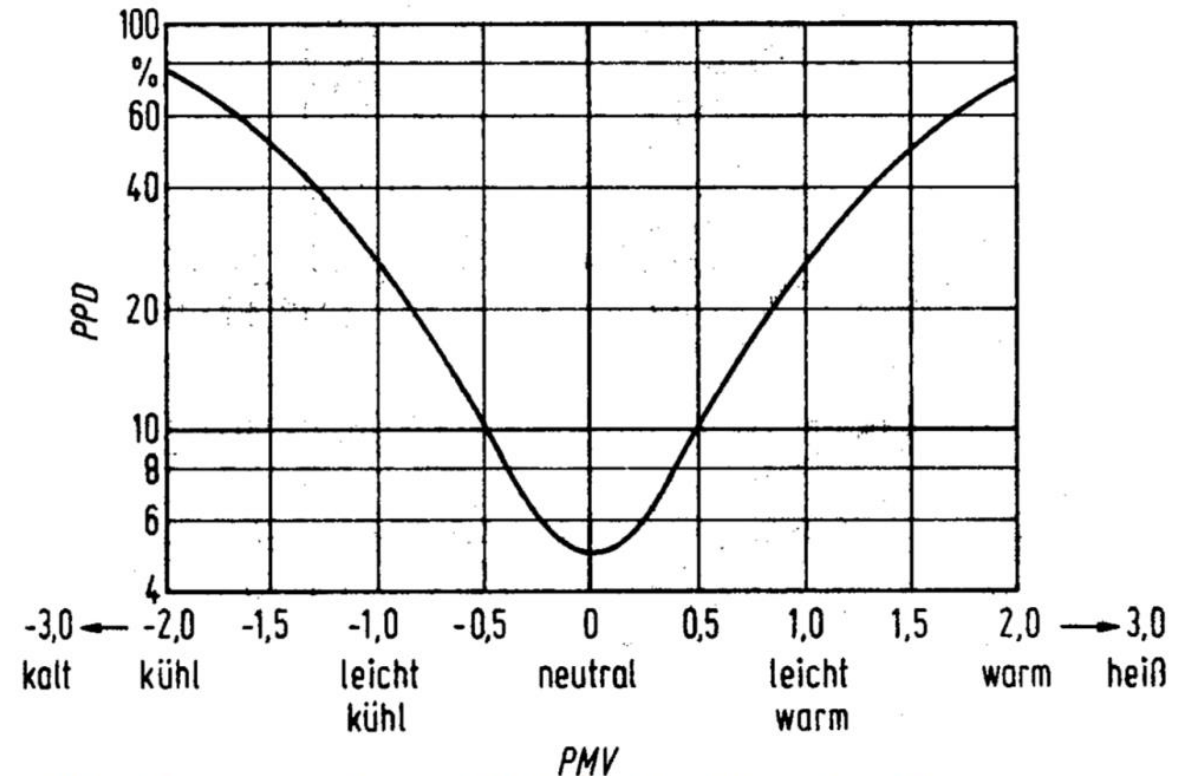


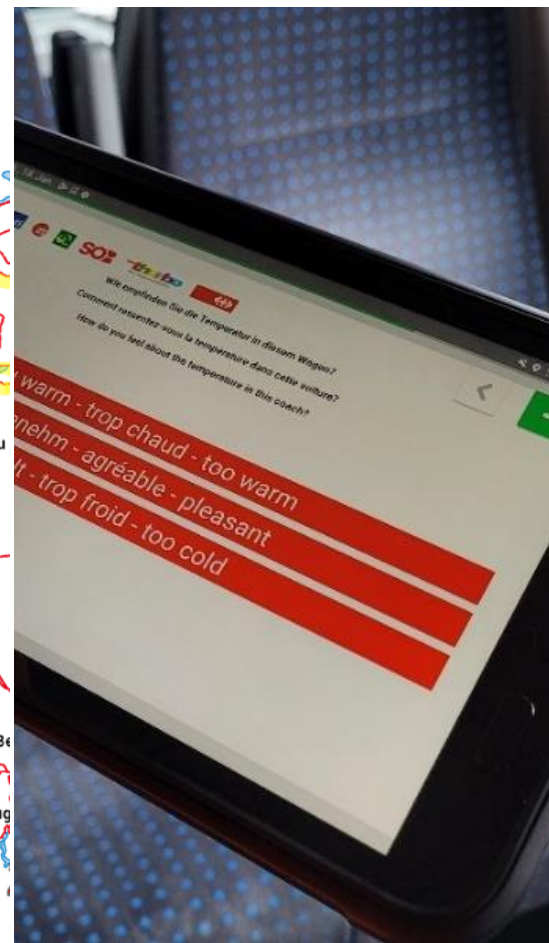
Abb. Zusammenhang PPD als Funktion des Bewertungs-Index PMV

Grand potentiel d'économie d'énergie grâce à l'abaissement de la température.

Estimation du potentiel total d'économies d'énergie pour la réduction de la température de l'habitable avec une précision de $\pm 50\%$.

| | | TGL | TR | Tram | Trolleybus | Total |
|---|---------------|----------|-----------|----------|------------|-------------|
| Besoin en énergie 2021 | GWh/an | 648 | 1342 | 154 | 78 | 2222 |
| Nombre de véhicules (caisse de voiture/véhicule) | Pièce | 1992 | 5505 | 731 | 536 | 8764 |
| Abaissment de la température ambiante | K | 1 | 2-3 | 2-3 | 2-3 | |
| Estimation: économie d'énergie par caisse de voiture/véhicule | MWh/an | 2,5 | 4 | 11 | 5 | |
| Potentiel total d'économies d'énergie | GWh/an | 5 | 22 | 8 | 3 | 38 |
| Potentiel jusqu'en 2035 Hypothèse: 60% réalisables | GWh/an | 3 | 13 | 5 | 2 | 23 |

Enquête auprès des clients sur les températures dans les véhicules.



Qu'est-ce qui a été enregistré ?

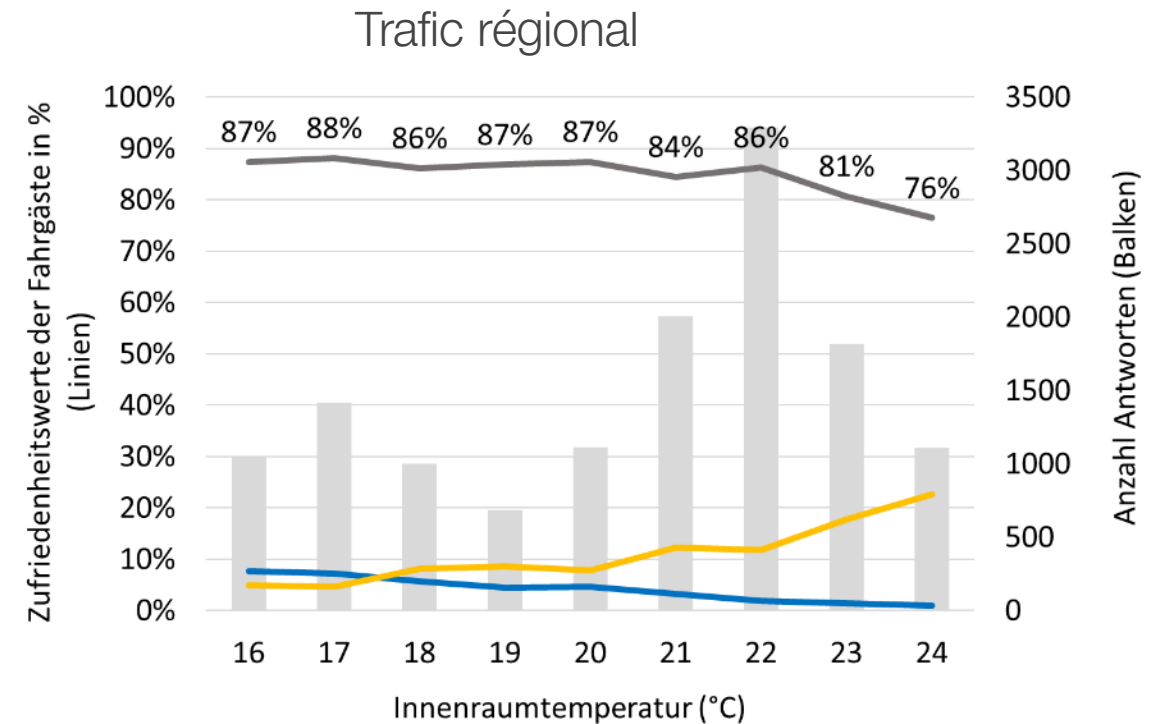
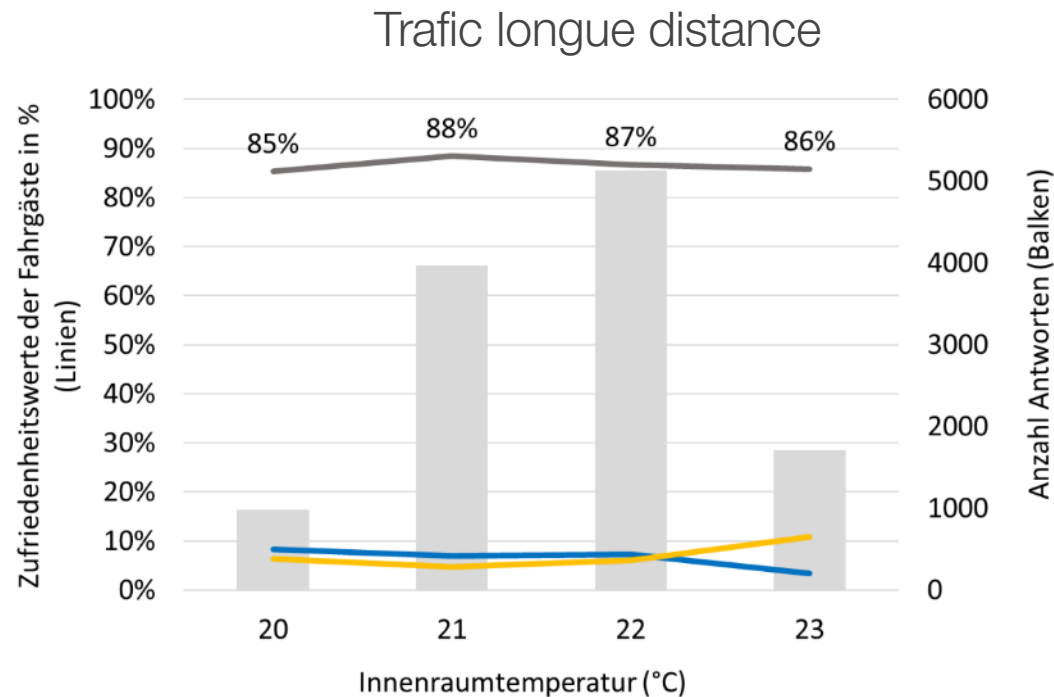
- Sensation de température
- Durée du séjour
- Numéro du véhicule
- Météo
- Température ambiante

D'autres facteurs d'influence sur le **confort thermique**, tels que la vitesse de l'air, les températures de surface, l'humidité relative, etc. L'humidité ou les vêtements des passagers n'ont pas été relevés.

Satisfaction des passagers en fonction de la température de l'air ambiant.

Pourcentage de satisfaction des clients par température de l'air ambiant (°C),

- lignes (axe de gauche) : "agréable" (gris), "trop froid" (bleu), "trop chaud" (jaune).
- Barre (axe de droite) : Nombre de réponses.

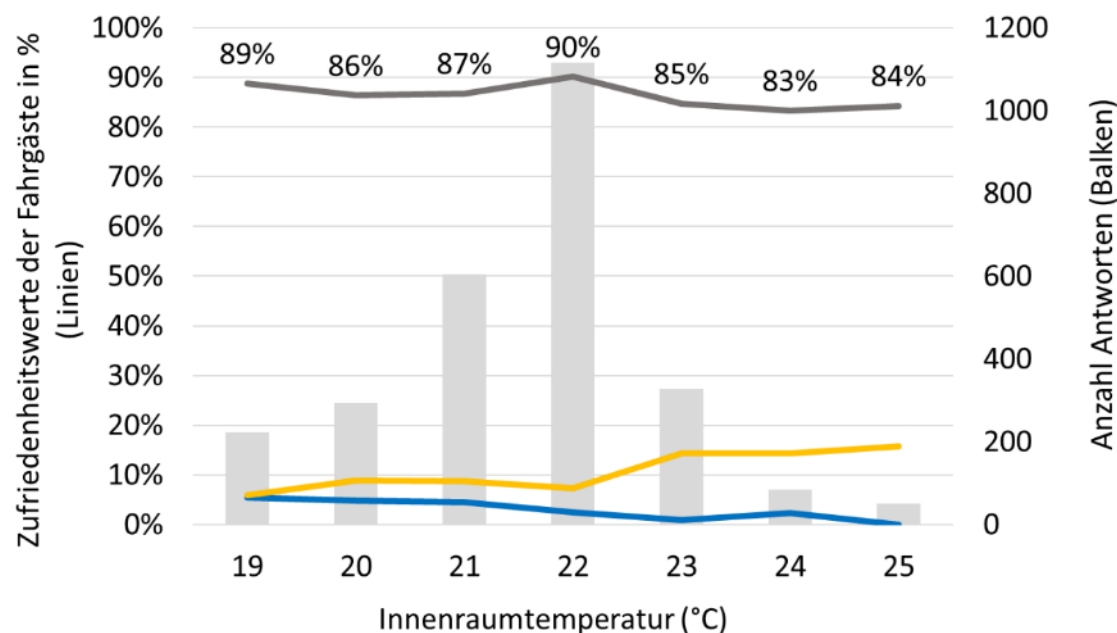


Exemple de RV : Satisfaction des passagers en fonction de la température de l'air ambiant.

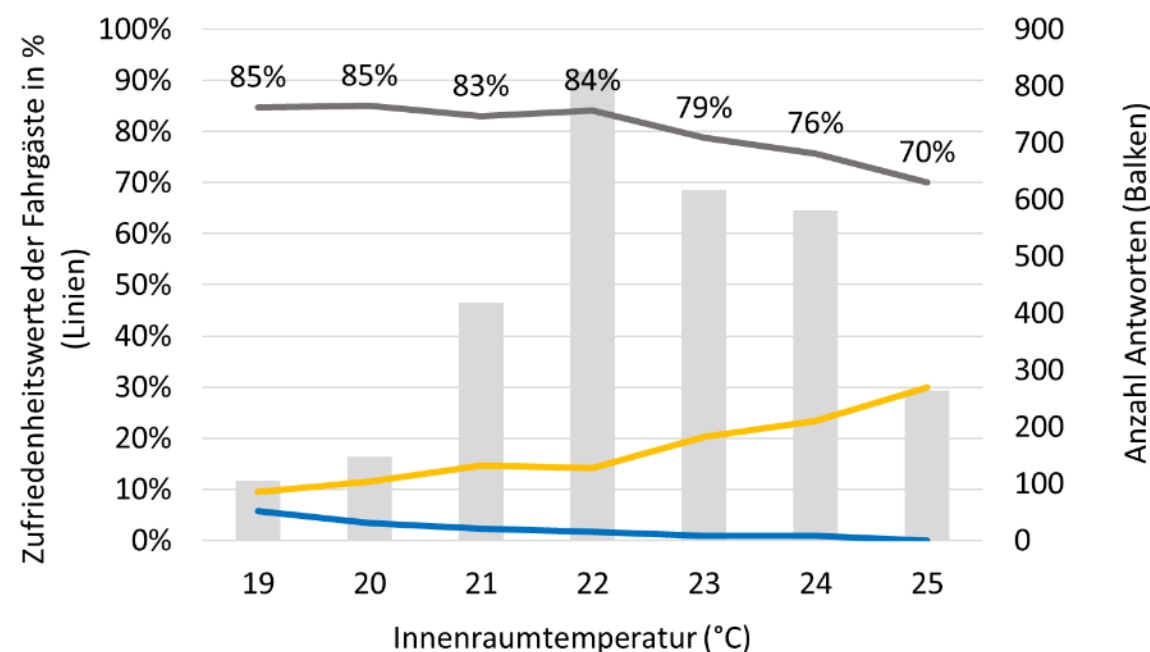
Pourcentage de satisfaction des clients par température de l'air ambiant.

lignes (axe de gauche) : Part des réactions "agréable" (gris), "trop froid" (bleu), "trop chaud" (jaune). Barre (axe de droite) : Nombre de réponses.

Véhicule de transport régional 1



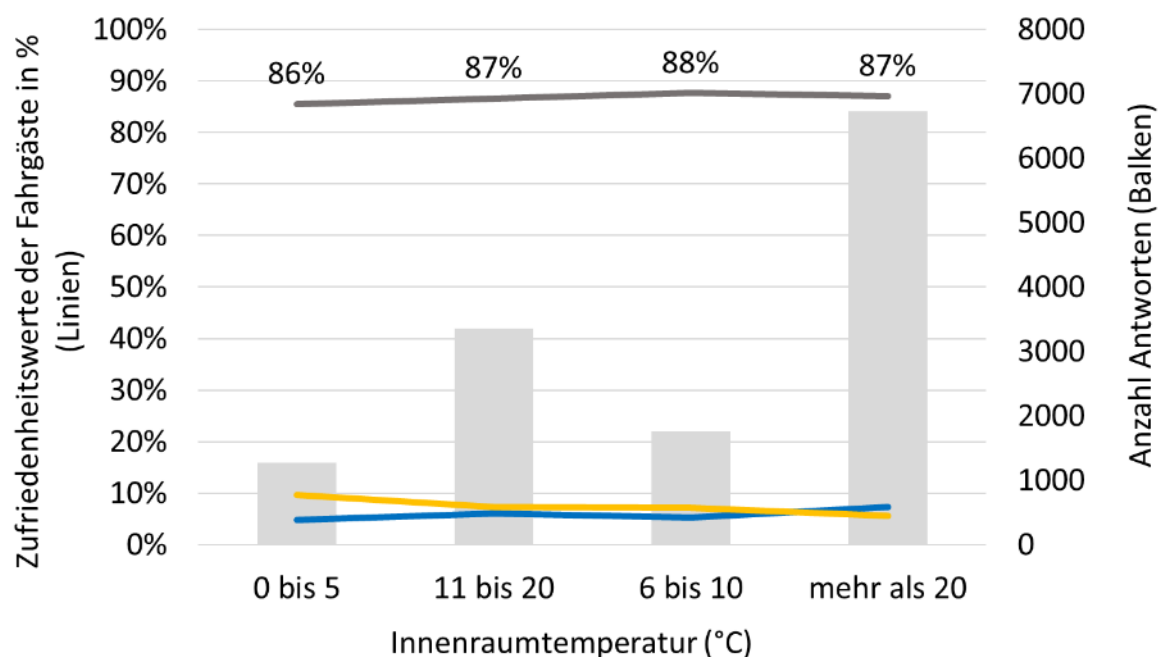
Véhicule de transport régional 2



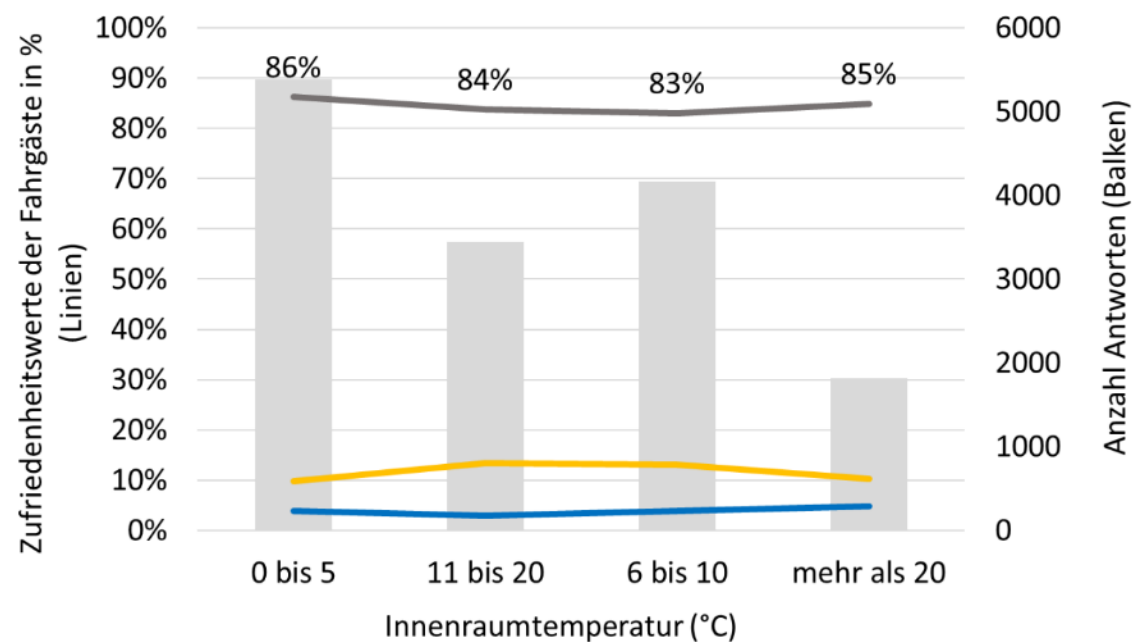
Satisfaction des passagers en fonction de la durée du séjour.

Pourcentage de satisfaction des clients selon la durée du séjour pour toutes les températures de l'air ambiant, lignes (axe de gauche) : Part des réactions "agréable" (gris), "trop froid" (bleu), "trop chaud" (jaune). Barre (axe de droite) : Nombre de réponses en valeur absolue. TGL: plus la durée de séjour est longue, plus la proportion de réponses "trop chaud" diminue.

Trafic longue distance



Trafic régional



Autres facteurs d'influence sur la satisfaction des passagers.

- La satisfaction des clients est légèrement influencée par
- **Taux d'occupation:** Au fur et à mesure de l'occupation, le pourcentage de "trop chaud" augmente légèrement et la satisfaction globale diminue légèrement,
 - Conditions météorologiques: Pour le "soleil", un peu plus de réponses "trop chaud", pour la "pluie", une proportion plus élevée de réponses "trop froid",
 - **Position dans le véhicule RV:** Les véhicules à un étage et les ponts supérieurs sont jugés "trop chauds" dans une plus grande proportion. Dans le RV, il y avait une plus grande proportion de "trop chaud" dans la **2e classe** que dans la 1re classe.
 - **L'après-midi**, le pourcentage de réponses "trop chaud" augmente, **le soir**, le pourcentage de réponses "trop froid" augmente.

- Les facteurs suivants n'ont **pas ou peu d'influence** sur la satisfaction des passagers :
- **Position dans le véhicule FV:** satisfaction élevée et constante, aucune tendance n'est perceptible,
 - **Température de l'air extérieur, taux d'occupation, catégorie de véhicules** dans le FV, jours de la semaine.

D'autres facteurs d'influence sur le **confort thermique** , tels que la vitesse de l'air, les températures de surface, l'humidité relative, etc. L'humidité ou les vêtements des passagers n'ont pas été relevés.

Recommandations pour les valeurs de consigne de la température de l'air ambiant tirées du rapport final OFT-ESöV.

- Dans les **transports à longue distance**, il est recommandé de ne pas dépasser 21 °C comme valeur de consigne de la température de l'air ambiant en mode chauffage.
- Dans le **trafic régional**, 19 °C est la valeur de consigne recommandée pour la température de l'air ambiant jusqu'à une durée moyenne de voyage de 20 minutes.
- Pour le **trafic local**, il est renvoyé aux réponses données pour le trafic régional avec des durées de séjour des passagers jusqu'à 10 minutes. Ainsi, compte tenu de l'efficacité énergétique, 16° C est la valeur de consigne recommandée pour la température ambiante en trafic local.

La mise en œuvre au RBS

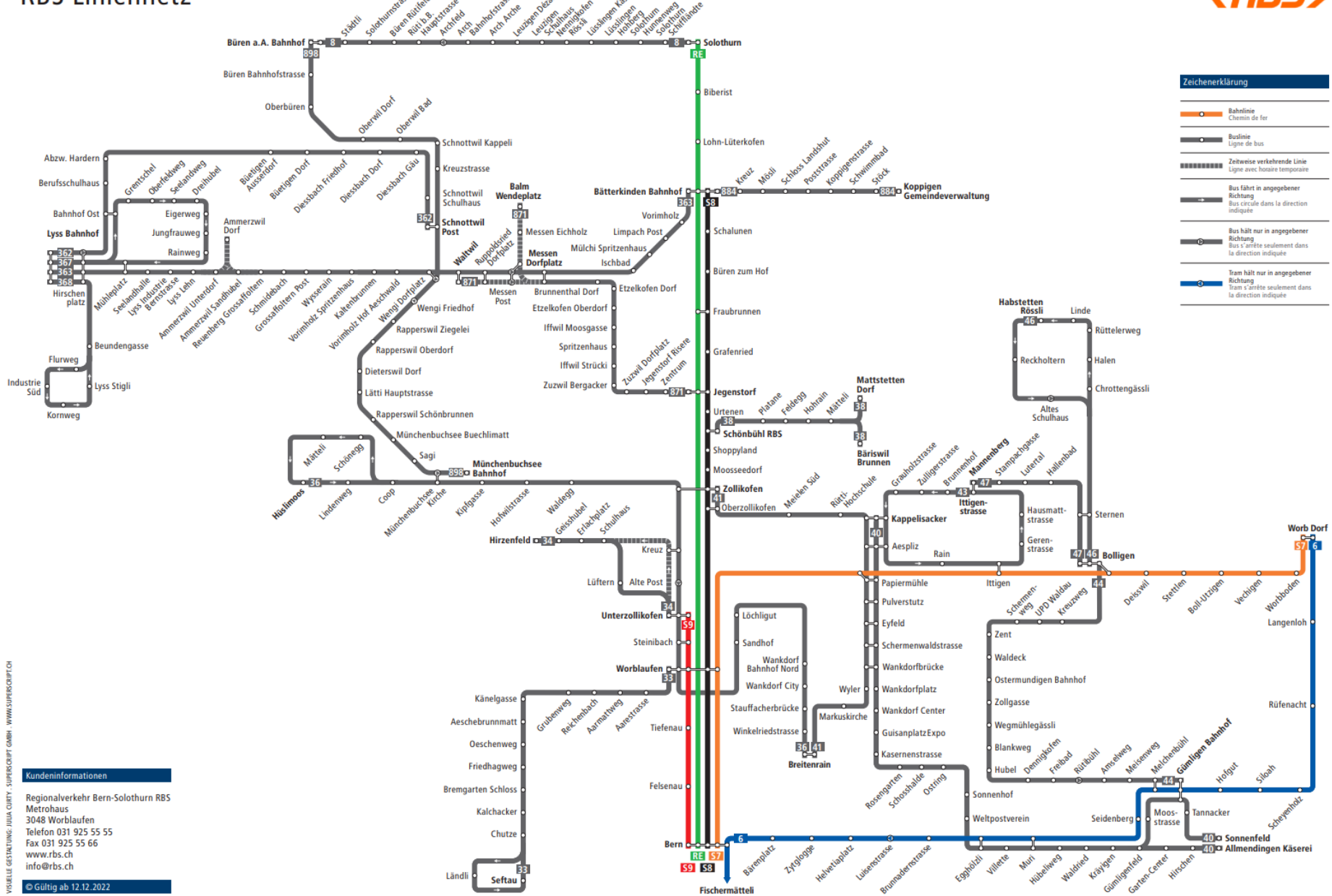




flotte de RBS :

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

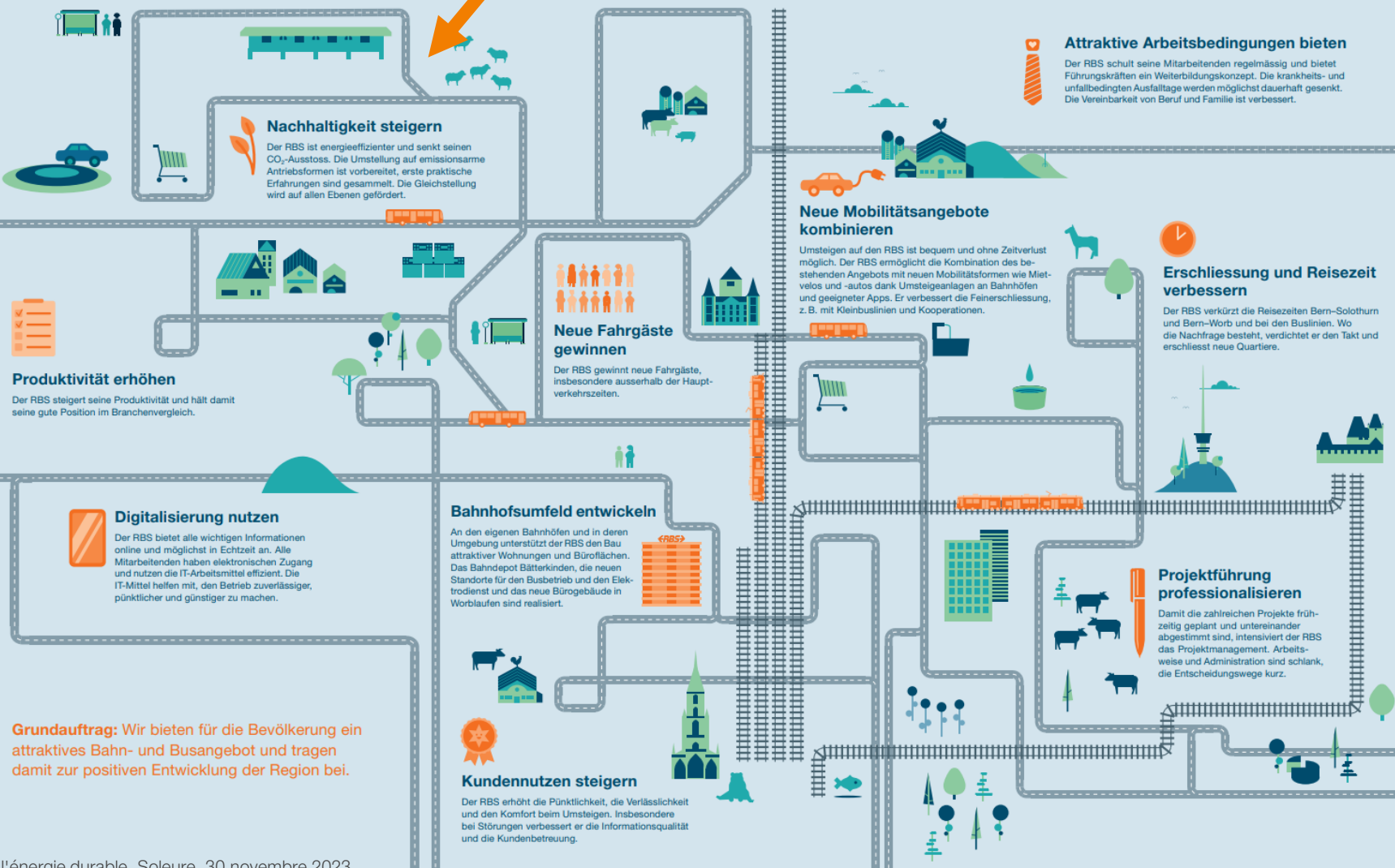
RBS Liniennetz



Strategie 2020–2025: die wichtigsten Ziele



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



TempTrim – Économies d'énergie dans le chauffage de tram.

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

30 novembre 2023, Soleure
Public



Agenda

1. Motivation & Projet
2. Modèle thermique
3. Outil à destination du public



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

Fig. 1: Un tram dans Zürich

Motivation & Projet

- Verkehrsbetriebe Zürich (VBZ) a observé que, pendant les journées les plus froides, la demande en énergie pour chauffer leurs trams pouvaient être égale à celle utilisée pour les déplacer.
- D'importantes économies d'énergie pourraient être obtenues en baissant de quelques degrés la température du chauffage.
- Une campagne de collecte de données sur les économies d'énergie a été menée.
- L'idée (formalisée pendant Energy Now! 2022) est de généraliser ces résultats et de créer un outil pour le public.
- Energy Now! 2.0, organisé par le “Energy Science Center” (ESC), ETH Zurich
- Partenaire : VBZ (Geoffrey Klein, Fabio Inderbitzin)



Modèle thermique

Modèle thermodynamique :

- Bilan d'énergie en régime stationnaire
- Gains et pertes thermiques en équilibre
- Résolution horaire moyenne pour chaque mois

Entrées :

- Spécifications des trams et calendrier des opérations (fournis par l'utilisateur)
- Données climatiques (données EU PVGIS 5.2)

Sorties :

- Consommation d'électricité du chauffage et coût total
- Puissances instantanées (gains & pertes thermiques)

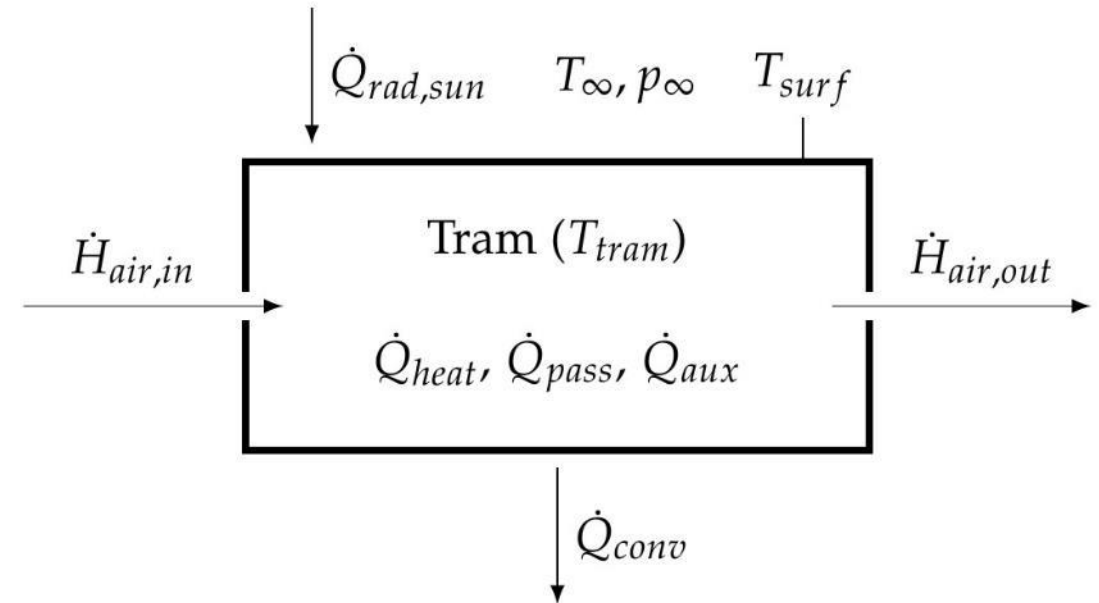


Fig. 2: Système thermodynamique pour le chauffage

Outil à destination du public

- Grande flexibilité, chaque utilisateur peut utiliser ses propres données
- Accès libre et open source
- Données de la flotte de trams « Cobra » disponibles par défaut.
- Site web de l'outil:
<https://temptrim.streamlit.app>
- GitHub du projet:
https://github.com/TempTrim/temp_trim



Fig. 3: QR-code pour le site web de l'outil

Merci pour votre attention !

Nous souhaitons remercier ESC et VBZ pour leur précieuse aide et leur soutien.



Clara Tillous Oliva, ctillous@student.ethz.ch
Florian Schubert, fschuber@student.ethz.ch
Étudiants du Master “Energy Science & Technology”
ETH Zürich
Rämistrasse 101
8092 Zürich

Travail de groupe

Travail de groupe 1 : Mise en œuvre technique sur les véhicules

- Classification de la "propre" flotte de véhicules,
- Cadre et normes,
- Mise en œuvre technique, à quoi faut-il faire attention ?
- Exemples de courbes de valeurs de consigne.

Travail de groupe 2: Encourager la mise en œuvre dans les entreprises

- Travail en comité dans sa propre entreprise,
- Réactions des clients concernant la température dans les véhicules en général
- stratégies de communication,
- Intégration du thème de l'économie d'énergie
- Diviser la flotte et faire un sondage ?
- "Être courageux" dans le sens de la pénurie d'énergie, des thèmes d'économie d'énergie

Conclusions des groupes et de l'atelier.

Travail de groupe 1 : Mise en œuvre technique
sur les véhicules

Travail de groupe 2: Encourager la mise en
œuvre dans les entreprises

Tour de table

Qui prend en compte le thème de la température dans sa propre entreprise ?

Qui pense qu'une baisse de la température peut y contribuer ?

"Les participants sont motivés pour mettre en œuvre des réductions de température dans leur propre entreprise".



Merci de ton attention.