

10. Forum Nachhaltige Energie

30. November 2023, 09.15 bis 17.00 Uhr
Altes Spital Solothurn

10. Forum Nachhaltige Energie

30. November 2023, 09.15 bis 17.00 Uhr
Altes Spital Solothurn

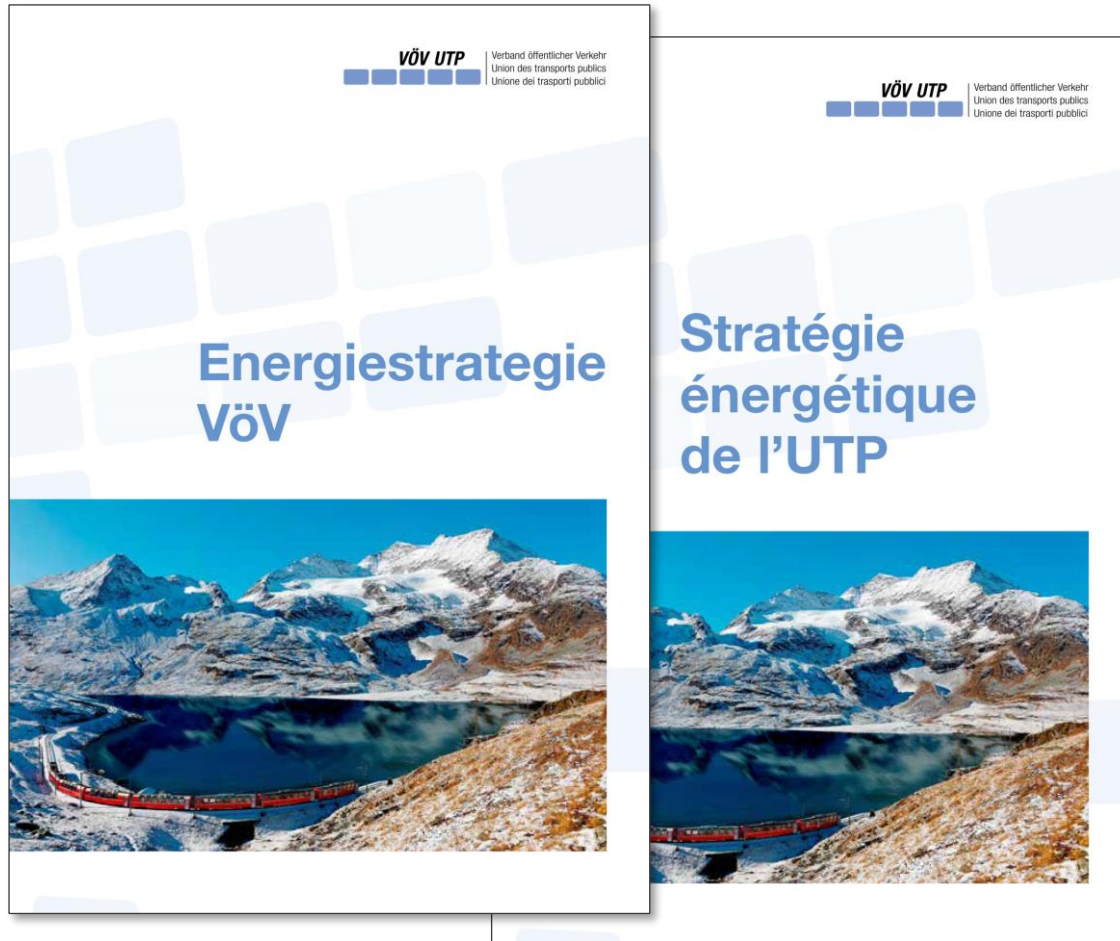
Deutliches JA zum Klimaschutzgesetz



**Klimaschutz-
Gesetz 18. Juni**



Die öV-Branche leistet ihren Beitrag zur Energiewende



Die neue Energiestrategie des VöV
Ambition: Klimaneutraler öV ab 2040

Ambitionen, die uns in Pflicht nehmen

- 1 Steigerung der **Energie-Effizienz** um **30 Prozent**
- 2 **Energiebedarf** öV-Branche wird ab **2040** durch **erneuerbare Energie** gedeckt
- 3 öV-Branche steigert Energieproduktion deutlich
- 4 Im öV sind nach **2040 ausschliesslich umweltfreundliche Antriebe** im Einsatz
- 5 Modalsplit entwickelt sich deutlich zugunsten öV (Personenverkehr und Güterverkehr)

Tagung Mobilität der Zukunft: Spürbares Engagement



Programm - Vormittag

- 9.15 Uhr** **Beginn der Tagung und Begrüssung**
Matthias Rücker, SBB und Bernhard Adamek, VöV
- 9.30 Uhr** **Die nachhaltige Transformation der Freiburger Verkehrs AG**
Mareike Rehl, Freiburger Verkehrs AG
- 10.00 Uhr** **Monitoring «Energiestrategie im öffentlichen Verkehr 2050»**
Stephan Husen, BAV
- 10.20 Uhr** **Best Practice: Mit Zug zum Energiesparen – Reduktion des Energieverbrauchs bei den Flirt-Triebzügen**
Matthias Müri, SOB

Programm - Vormittag

11.15 Uhr

Best Practice: Elektrifizierung des Busnetzes der TPG

Olivier Augé, TPG

Best Practice: Ein Projekt für den ökologischen Übergang im Schiffsverkehr: das Projekt Venti35

Annarita Polacchini, Società Navigazione del Lago di Lugano

Best Practice: R290 eine natürliche Alternative zu synthetischen Kältemitteln für Bahnklimageräte

Ralf Hofer, SBB

12.30 Uhr

Zusammenfassung des Vormittags und Informationen zum Nachmittag

Programm - Nachmittag

14.00 Uhr

Workshops

- 1 Photovoltaik im öV – Anspruch vs. Wirklichkeit
- 2 Emissionsarme Baustellen
- 3 Thermische Behaglichkeit im öV
- 4 Lithium-Ionen-Batterien - Rahmenbedingungen und Sicherheit

15.35 Uhr

Zusammenfassung Workshops

Workshopleitende

15.55 Uhr

Fazit der Tagung und Ausblick

Matthias Rücker, SBB

16.00 Uhr

Apéro



Mareike Rehl

**Leiterin Nachhaltigkeitsmanagement
Freiburger Verkehrs AG**

Nachhaltige Transformation der VAG





Film VAG

Unsere Ziele:

1 Umsetzung Roadmap
2035

2 2030: minus 30% CO₂e

3 2035: Dekarbonisierung
bzw. Klimaneutralität

Warum ist das wichtig?



Zielkonflikt

- ÖPNV ist aktiver Klimaschutz
- ÖPNV energieintensiv



Hebel

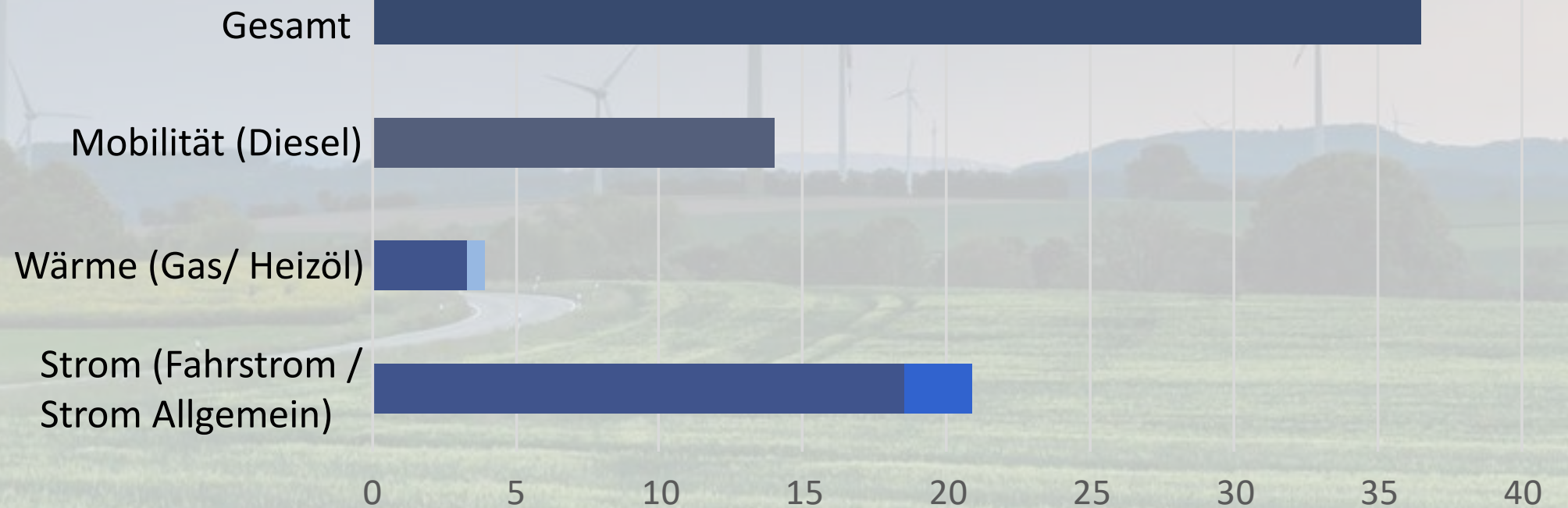
- CO₂-Emissionen im Verkehrsbereich senken



Antwort

- Klimawandel
- Preissteigerungen
- Lieferketten
- Regulatorik

Handlungsdruck Energieverbrauch



Unsere Antwort

Dekarbonisierung

Nachhaltige
Transformation

Unternehmens-
führung

Verkehrswende

Arbeitgeberin



Roadmap 2035: Dekarbonisierung



Energieeffizienz



Anspruch und Ziele

- Bis 2030: Reduktion des Energieverbrauchs um 10%



Herangehensweise

1. Energiemanagement zum **Klimamanagement**
2. **Energieeffizienzmaßnahmen**
Bestandsfahrzeuge
3. Softwareentwicklung zur energieeffizienten **Elektrobuseinsatzplanung**
4. **Telematik** im Fahrbetrieb

PV Offensive



Anspruch und Ziele

- Seit 2006: **Ökostrom**
- Bis 2030: 5 GW durch **PV Anlagen**
- Bis 2035: **lokale PPA Verträge**



Herangehensweise

1. Finanzierung, Planung, Bau von **5 PV-Anlagen** Betriebshof der VAG
2. Vertragsverhandlungen mit lokalem Energieversorger zu **PPA Verträgen**

Elektrifizierung



Anspruch und Ziele

- Bis 2030: Umstellung der Busflotte auf Elektromobilität
- Bis 2030: Umstellung der Dienst- und Nutzfahrzeuge



Herangehensweise

1. Seit 2019: **Pilotelektrobuslinie**
2. Seit 2022: **17 Elektrobusse**
3. Ab 2024 ff: **weitere 34 Elektrobusse**
4. Energieeffizienz in **Beschaffungskriterien** berücksichtigt

Let's talk about money



1 Fördermittel

- Städtischer Zukunftsfonds
- Fördermittel Bund, Land
- Derzeit 13 Anträge

2 VAG Klimafonds

- Ca. 200 Tsd Euro
- Internes Budget zur Umsetzung von Effizienzmaßnahmen



3 VDV

- Unterausschuss Nachhaltigkeit
- Branchenleitfäden

4 VDV

- Juni 2024 Fachkonferenz zum Nachhaltigkeits- und Klimamanagement in Offenbach

Machen first



Vision entwickeln: Kapazitäten und Prioritäten schaffen

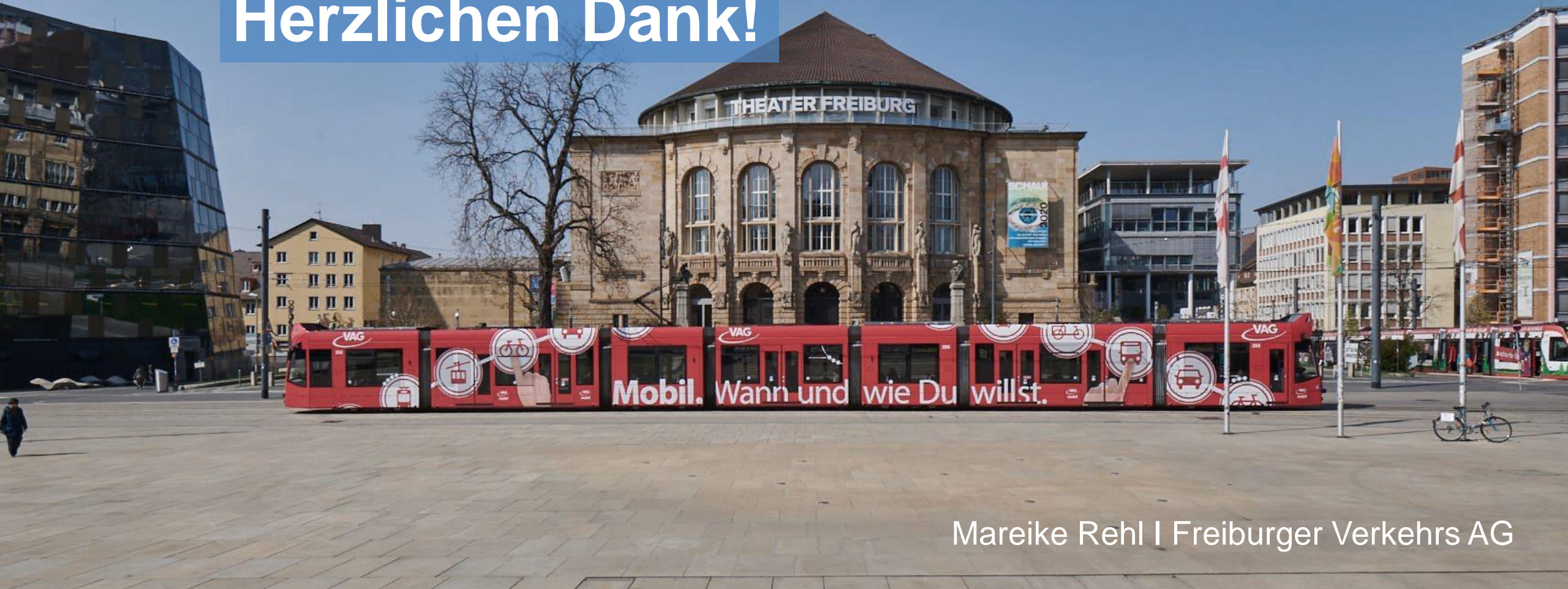


Finanzierungsmöglichkeiten und **Einsparpotentiale** identifizieren



Dekarbonisierung **messen** und kommunizieren

Herzlichen Dank!





Stephan Husen

Programmleiter ESöV a.i., BAV



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr,
Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Verkehr BAV
Abteilung Sicherheit

**Wie viel Energie
verbraucht die Eisenbahn?**

**Wer verbraucht mehr
Energie: Seilbahnen oder
Schifffahrt?**

**Wie hoch ist der CO2-
Ausstoss der Autobusse?**

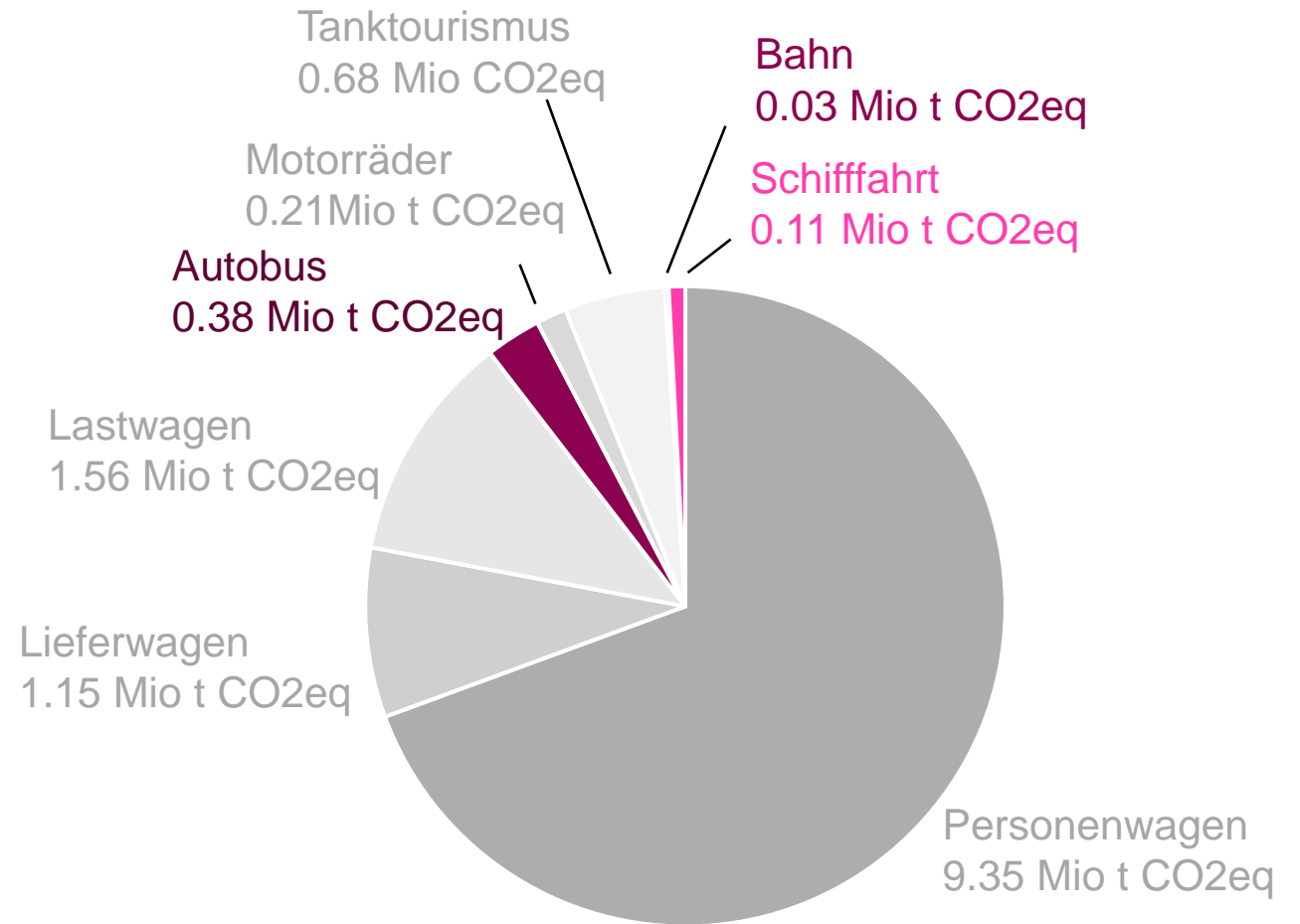
**Welches Verkehrsmittel ist
am energieeffizientesten?**

Stephan Husen, Roman Slovak, Markus Ammann



BAFU Treibhausgasinventar – Sektor Verkehr

Der **öV** ist in den **bisherigen Statistiken** des Bundes (BFE Energiestatistik, BAFU Treibhausgasinventar) **nicht ausreichend** detailliert berücksichtigt

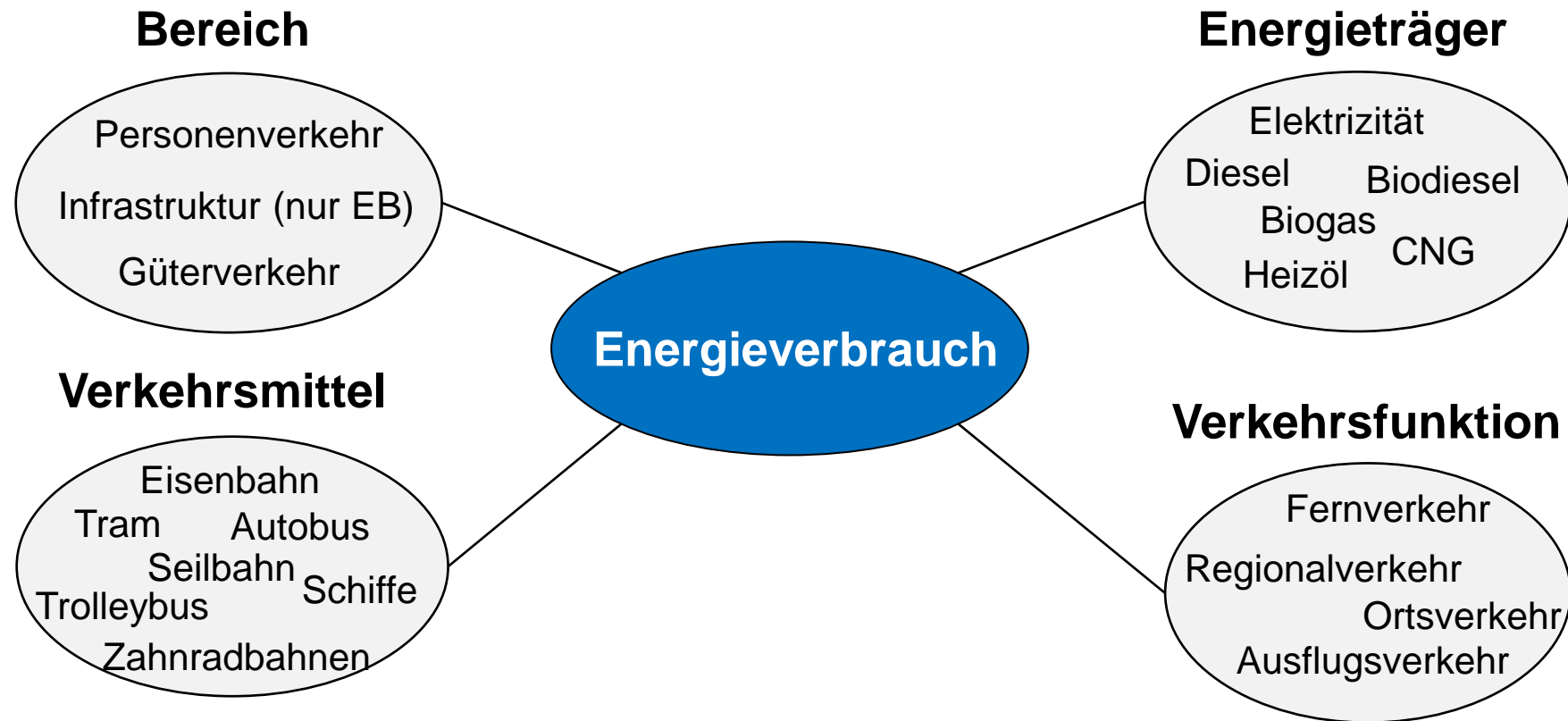


BAFU Treibhausgasinventar 2020



Datenerhebung Monitoring Energie im öV

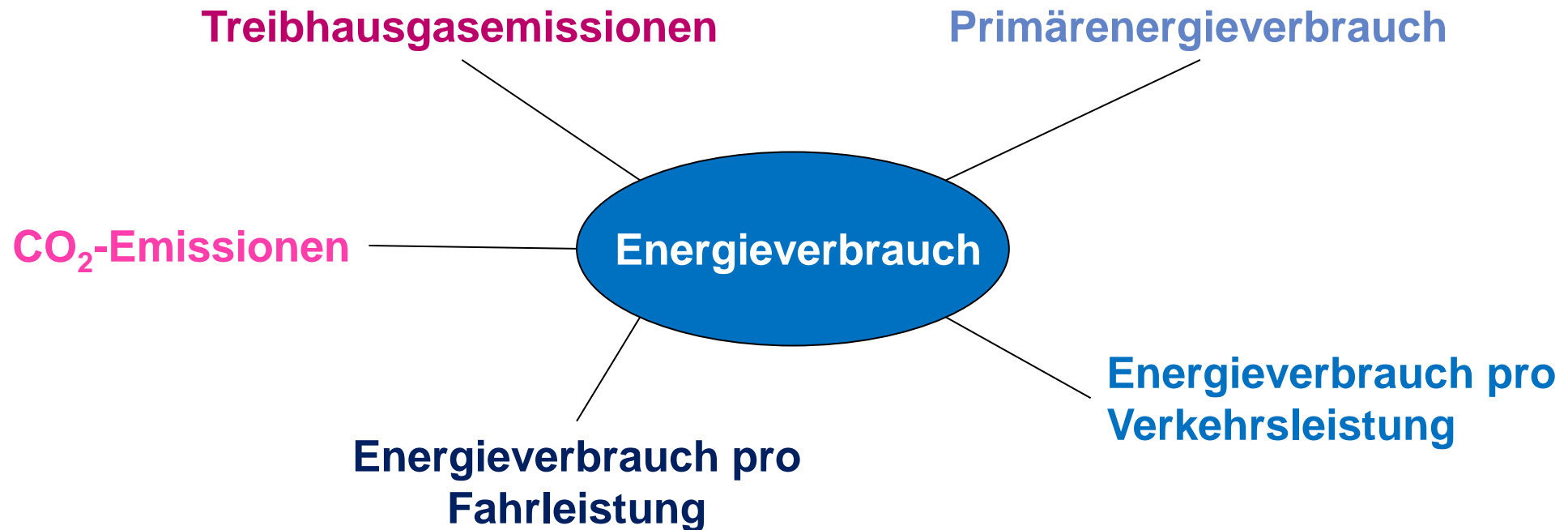
Seit 2020 erhebt das BAV Daten zum **Energieverbrauch** im öV.





Aufbereitung Monitoring Energie im öV

Das BAV berechnet daraus verschiedene **Kennzahlen**.





Publikation Energiekennzahlen

Veröffentlichung der wichtigsten Kennzahlen auf den Webseiten des BAV

[Energiekennzahlen öV \(admin.ch\)](#)

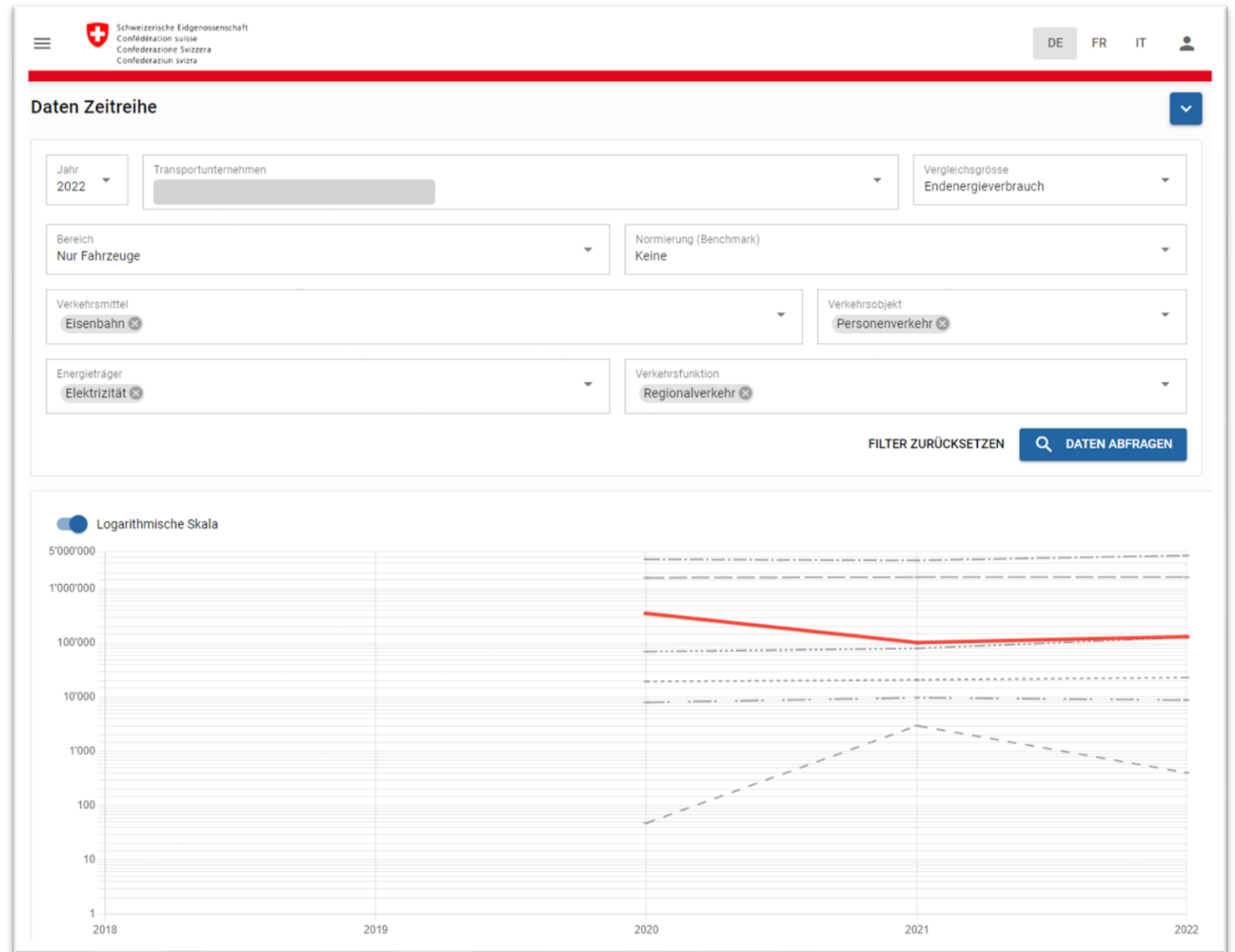
The screenshot shows the website of the Bundesamt für Verkehr BAV. The header includes the Swiss Confederation logo and the text 'Schweizerische Eidgenossenschaft', 'Confédération suisse', 'Confederazione Svizzera', and 'Confederaziun svizra'. The main navigation bar contains links for 'Der Bundesrat', 'UVEK', and 'BAV'. The page title is 'Energiekennzahlen öV'. Below the title, there is a photo of a train on tracks. The text on the page states: 'Ein grosser Teil des öffentlichen Verkehrs ist elektrifiziert.' and 'Das Bundesamt für Verkehr erhebt jährlich detaillierte Zahlen zum Energieverbrauch und zum Treibhausgasausstoss des öffentlichen Verkehrs. Diese ergänzen die Daten, welche auf übergeordneter Ebene im Rahmen der Statistik des öffentlichen Verkehrs, der Schweizerischen Gesamtenergiestatistik und des Treibhausgasinventars der Schweiz erhoben werden.' The page also mentions that the BAV aims to provide transparency about energy consumption and greenhouse gas emissions in the public transport sector.



Analyse der Daten durch die TU

Jedes TU kann seine eigenen Daten auf der Webseite analysieren.

Webkennzahlen -
Monitoring Energie





Auswertung Daten 2022

Energieverbrauch

total: 13'423 TJ

ca. 5% von Verkehr CH: 245'120 TJ

Eisenbahn: 51 %

Autobus: 35 %

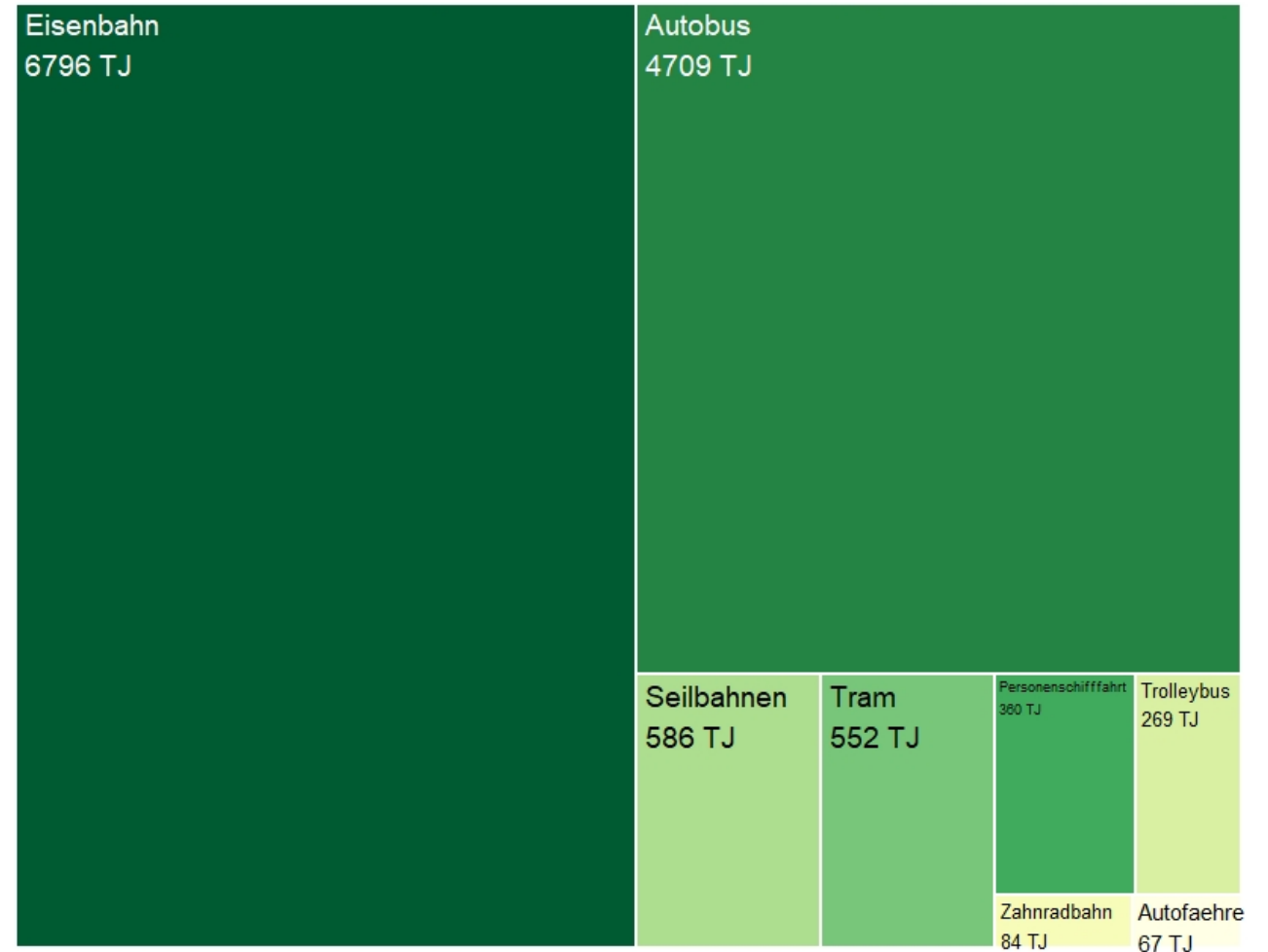
Tram: 4 %

Seilbahnen: 4 %

Personenschiffahrt: 3 %

Trolleybus: 2 %

Energieverbrauch pro Verkehrsmittel

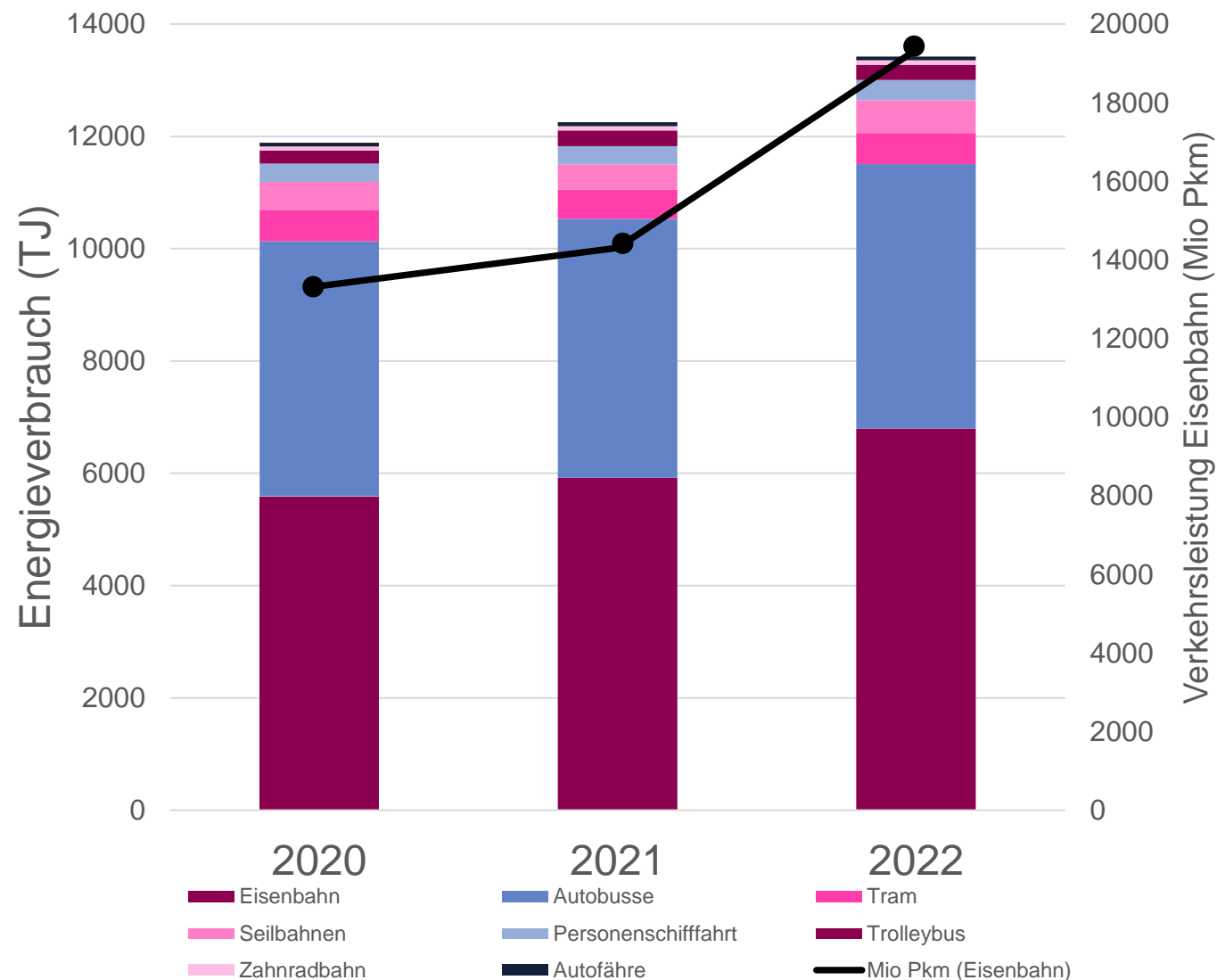




Energieverbrauch 2020-2022

Veränderung des Energieverbrauchs

- Zunahme **Energieverbrauch um 15 %** (Eisenbahn)
- Anstieg **Verkehrsleistung in um 35 %** (Eisenbahn)





Auswertung Daten 2022

CO2eq-Emissionen

total: 0.42 Mio. t

ca. 3 % von Verkehr CH: 13.75 Mio t

Autobus:	81 %
Eisenbahn:	7 %
Personenschifffahrt:	6 %
Seilbahnen:	3 %
Tram:	1 %
Trolleybus:	1 %

CO2eq-Emissionen pro Verkehrsmittel





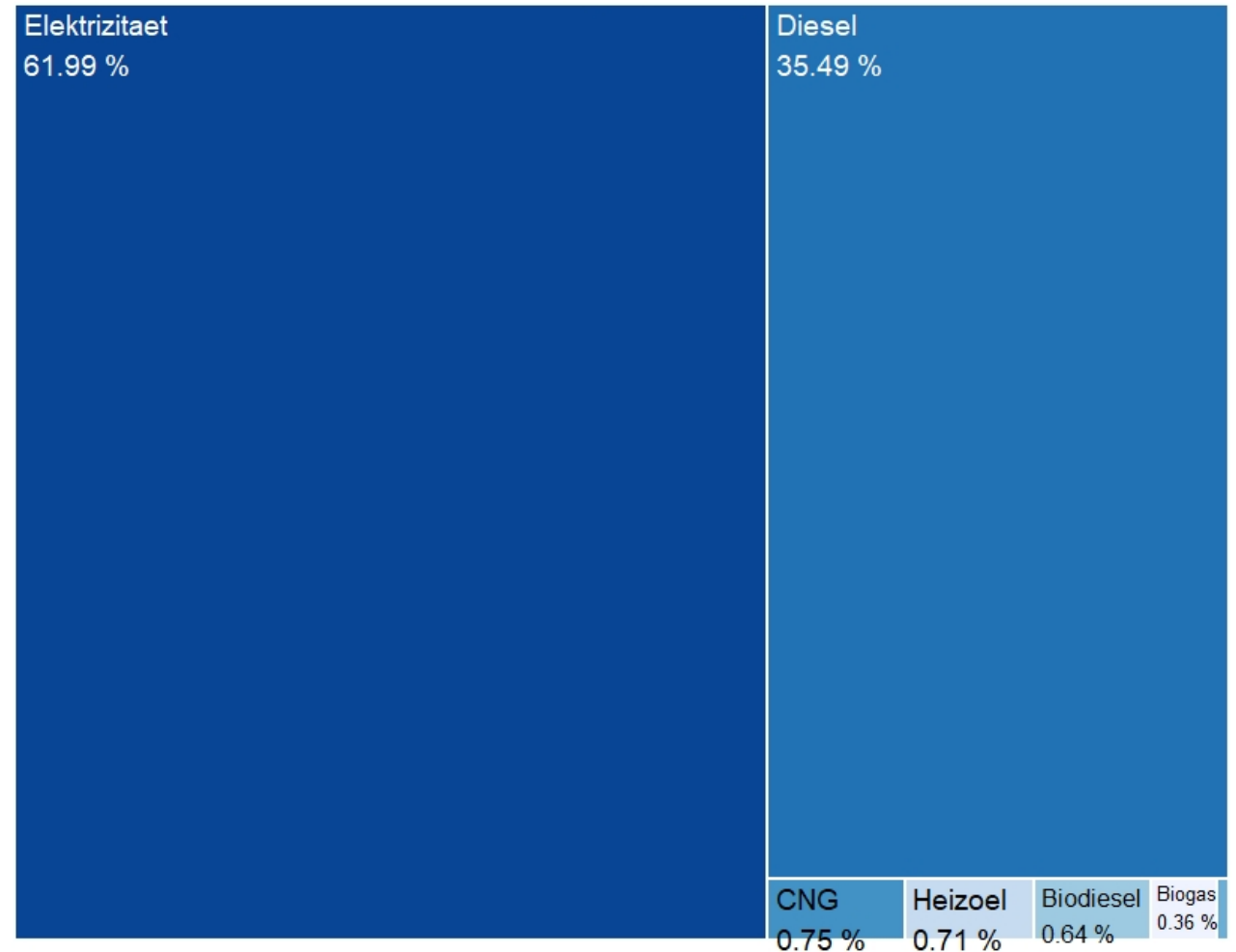
Auswertung Daten 2022

Dekarbonisierung öV

Elektrifiziert **62%**

Biotreibstoffen $\leq 1\%$
(Biodiesel, Biogas)

Anteil Energieträger im öV





Auswertung Daten 2022

Anteil Energieträger bei den Autobussen

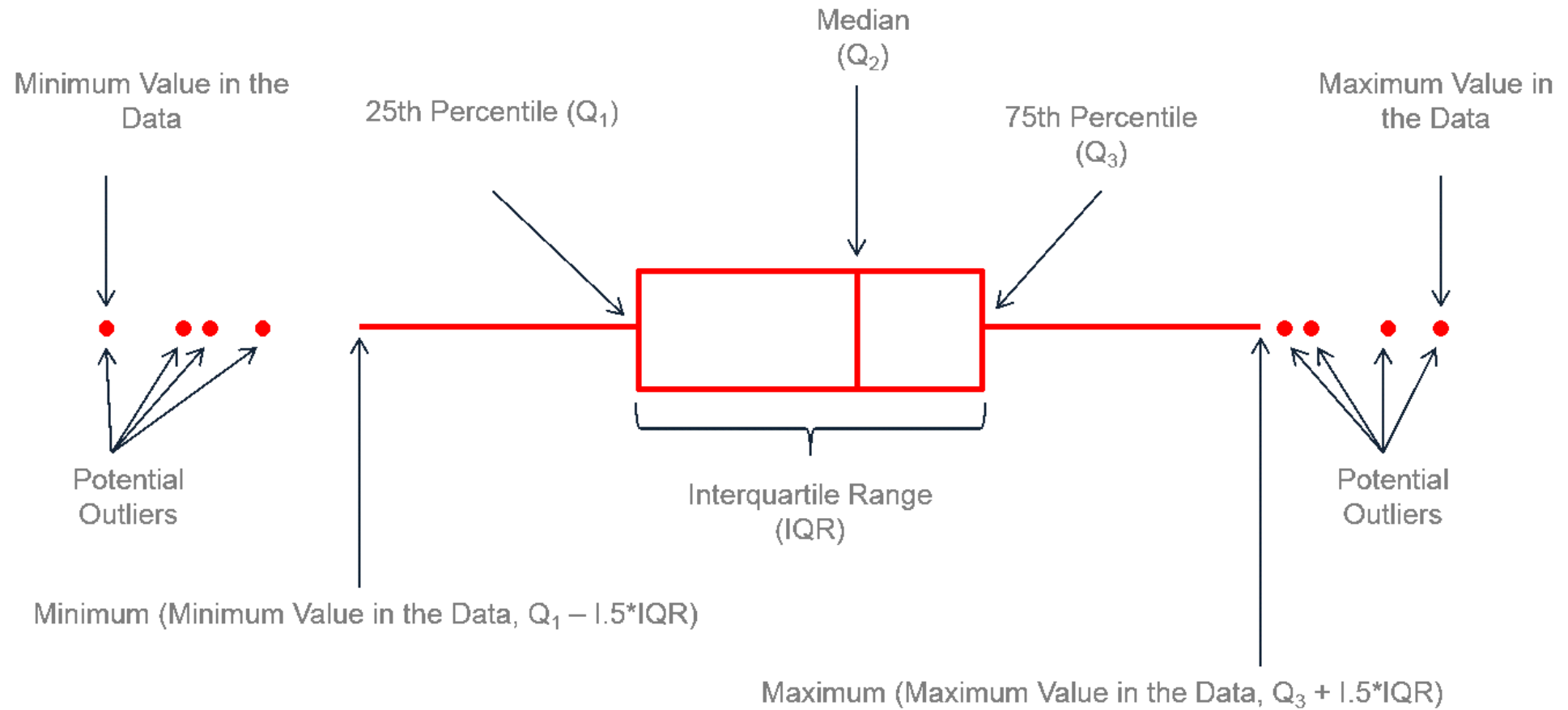
- Diesel fast 95 %
- Elektrizität: 1.1 %

nur Autobusse





Boxplots





Energieeffizienz (kJ/Pkm) alle Verkehrsmittel

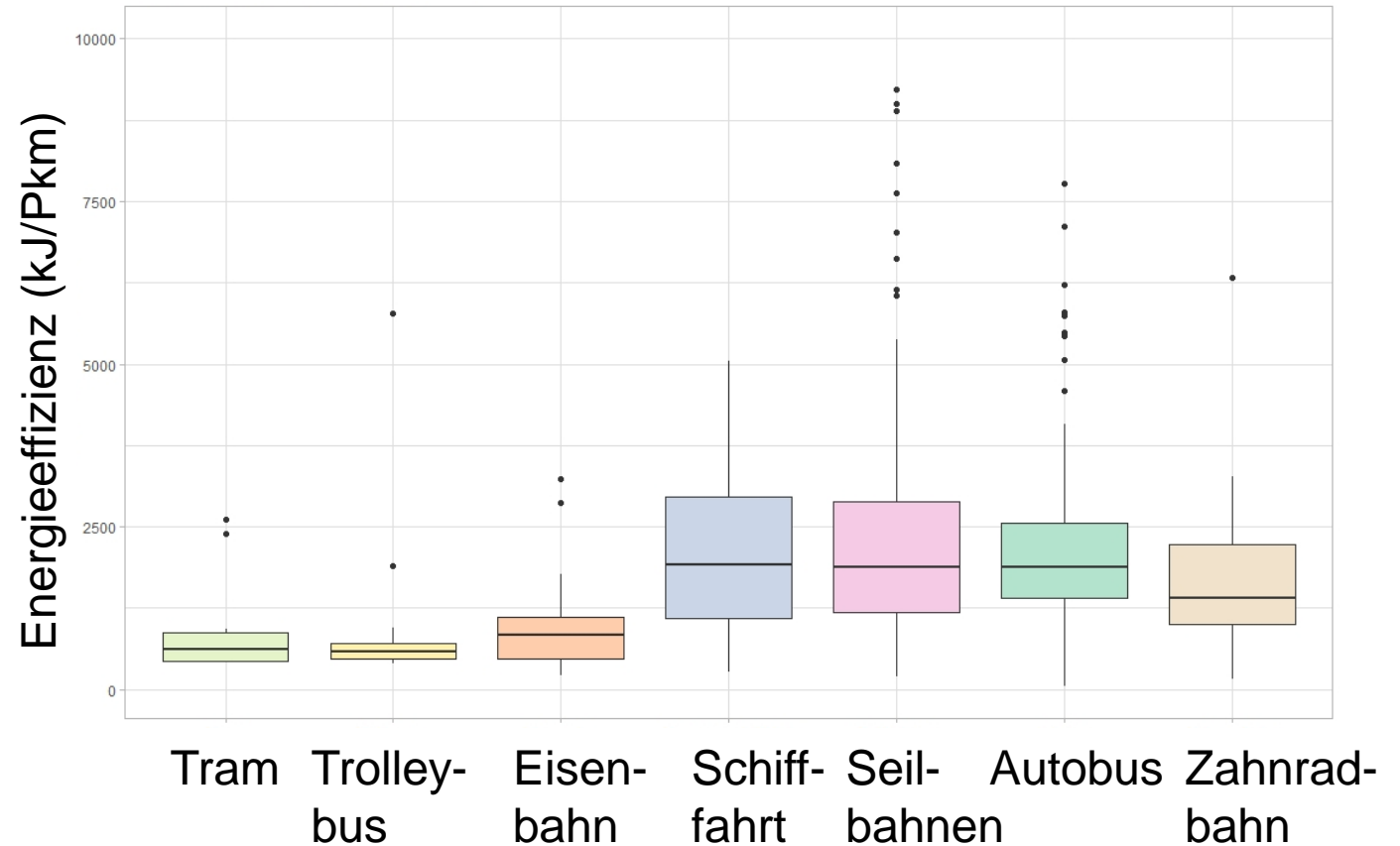
Energieverbrauch pro Pkm

Trolleybus, Tram & Eisenbahn
am **energieeffizientesten**

(ca. Faktor 3 im Vergleich zu Seilbahnen
und Autobus)

grosse Streuung bei Seilbahnen
und Autobus

(muss noch genauer analysiert werden)





Fazit

- Datenerhebung läuft zuverlässig seit 2020
- Die Energiekennzahlen erlauben detaillierte Analysen zum Energieverbrauch, Treibhausgasemissionen und Energieeffizienz.
- Trends sind noch nicht sichtbar.
- wichtige Erkenntnisse:
 - ✓ Der öV ist (nur) zu 62 % elektrifiziert.
 - ✓ CO₂eq-Emissionen werden von Autobus und Personenschiffahrt dominiert.
 - ✓ Eisenbahn, Tram, Trolleybus sind die energieeffizientesten Verkehrsmittel.



an alle TU für die Daten!



Ausblick

- Regelmässige **Datenerhebung** weiterführen (Qualität sichern).
- Energiekennzahlen **jährlich publizieren**.
- Daten **vertieft auswerten**.
- **Erkenntnisse** und **Handlungsbedarf** aus Sicht ESöV 2050 formulieren und kommunizieren.





Best Practices aus der Welt des öffentlichen Verkehrs (1/2)

Matthias Müri

**Gruppenleiter Rollmaterial /
E-Systeme, SOB**

Mit Zug zum Energiesparen

Reduktion des Energieverbrauchs bei den SOB-FLIRT-Triebzügen
Motivatoren – Möglichkeiten – Potentiale – Massnahmen konkret

VöV-Forum «Nachhaltige Energie», Solothurn, 30.11.23



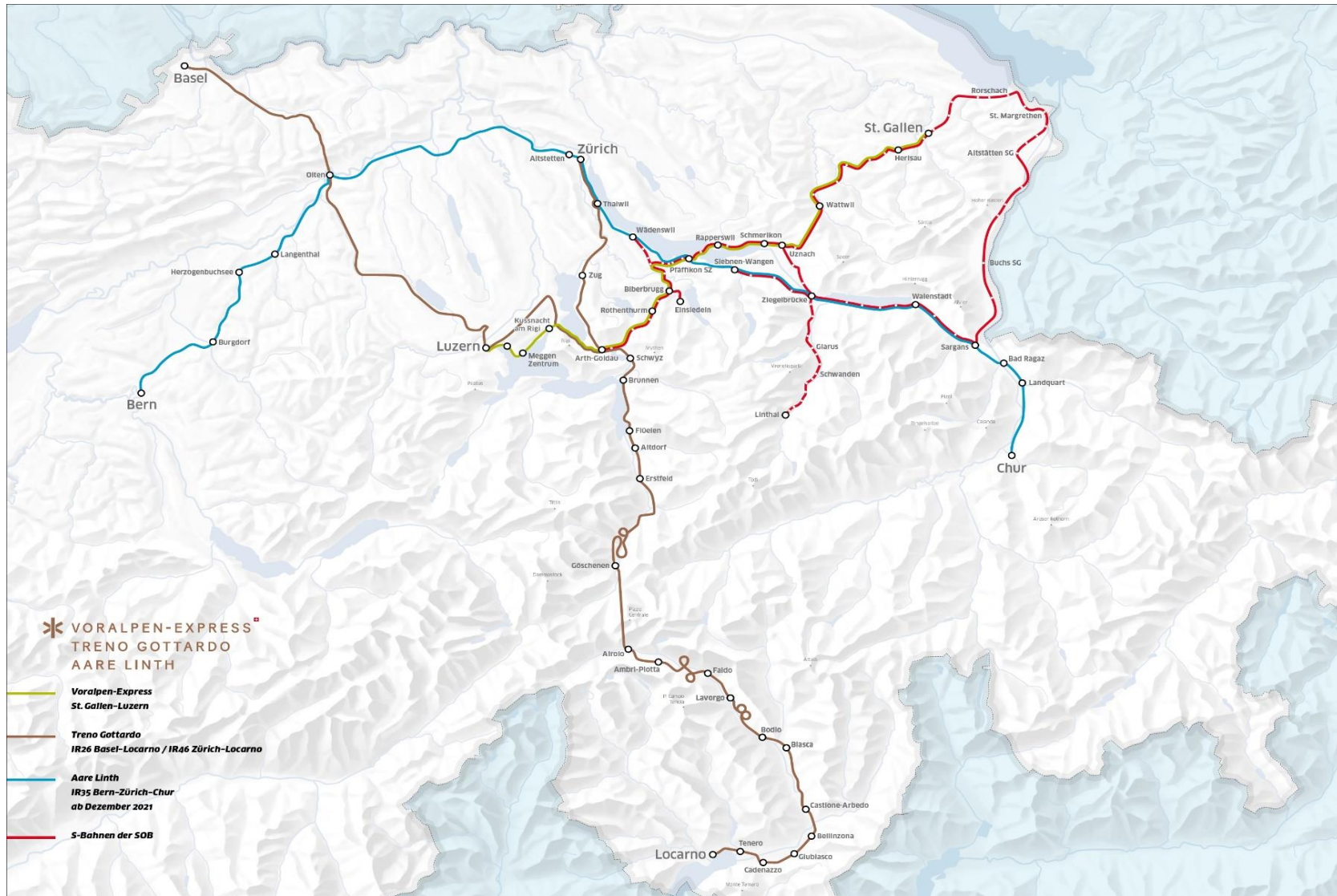
SOB SÜDOSTBAHN
gerade unterwegs

Mit Zug zum Energiesparen – Themen

- Einleitung / Energiespar-Umfeld – kurzes Firmen-/Fahrzeugportrait
- Motivatoren für energiesparende Züge
- Sparmassnahmen / Möglichkeiten – Was lohnt sich?
- Lohnende Sparmassnahmen
 - Komponentenoptimierungen
 - Systemoptimierungen
 - Betriebsoptimierungen
 - Betriebsablauf- & Bedienoptimierungen
- Sparquote Beispiel Flirt3/Traverso
- Zusammenfassung
- Fazit & Ausblick/Ziel

Firmenportrait

– Streckennetz «VAE», «TRG», «ALI», «ARX», S-Bahnen



Firmenportrait

– VORALPEN-EXPRESS (St.Gallen - Luzern: 125 km)



Firmenportrait

– TRENO GOTTARDO (Zürich/Basel - Locarno: 208/291 km)



Firmenportrait

– **AARE LINTH** (Chur – Zürich - Bern: 236 km)



Firmenportrait

– ALPENRHEIN - EXPRESS (Chur - St.Gallen: 106 km) / E2024



Firmenportrait

– S-Bahnen (Säntis-Ring, March, Linthal, Einsiedeln, Arth-Goldau)



Firmenportrait

– Zahlen & Fakten / (A2020 > E2022)

Streckennetz, eigenes (*fremdes*)

- 111 km eigene (**870 km Fremdstrecken**)
- 192 Brücken/ Viadukte/ Unter-/Überführungen
> höchste/ längste: Sitterviadukt: 99/365m
- 19 Tunnels (Länge 7'054m)
- 33 Bahnhöfe und Haltestellen
- 50‰ max. Steigung/Gefälle
- 399...933 m.ü.M., Romanshorn...Biberegg
(**274...1'142 m.ü.M., Basel...Airolo**)

Triebfahrzeuge

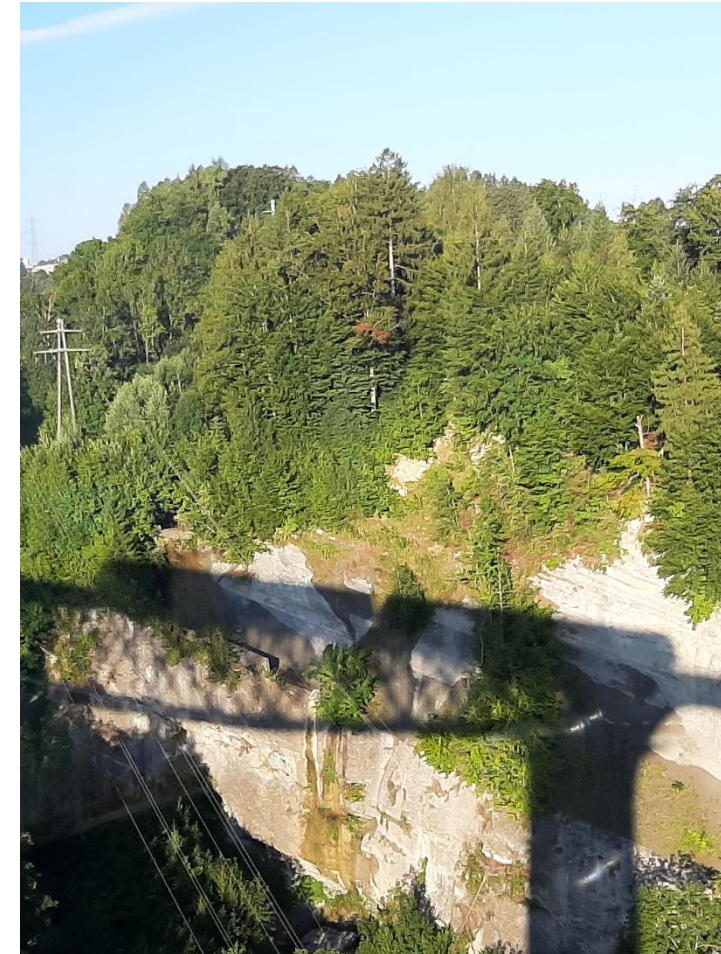
- 62 Triebzüge/-wagen, 4 BauD-Traktoren

Mitarbeitende

Reisende

- Total ca. 600 > **960** 9.9 Mio > **27 Mio**

Zug-/Buskilometer ca 5.3 > **11.5 Mio**



Firmenportrait

– Fahrzeugflotte / E2022 (E2026)



24 (+6) RABe 526 Traverso



10 (+3) RABe 526 Flirt 3



23 RABe 526 Flirt 1/2



4 (-1) RBDe 4/4 / Bt NPZ



1 BDe 4/4



4 Tm 234 Robel

Mit Zug zum Energiesparen – 7 Motivatoren für energiesparende Züge

- Lastenheft-Forderungen – vieles sollte heute Standard sein...
- Zug-Trassengebühren – mindestens als Verhandlungsargument
- Gelegenheiten / günstige Umstände – z.B. anlässlich Refit
- Förderbeiträge – EnergieZukunftSchweiz / ProKilowatt usw.
- Steigende Energiepreise
- Energiemangel
- ...und nicht zuletzt – Freude, Züge auch «**technisch schön**» zu machen

Mit Zug zum Energiesparen – Sparmassnahmen: Möglichkeiten

- Es gibt «100 Möglichkeiten» – was lohnt sich? (**fett = lohnendste**)
 - Mechanische Massnahmen (z.B. *HydrAchsLenkerLager*)
 - **Rekuperationsbremse** (*ist «selbstverständlicher» Standard*)
 - **Energiesparende Komponenten**
 - **Min. Antriebssystem-Verluste**
 - **Besetzungsabhängige Aussenluftsteuerung**
 - Fahrgastraum-Temperaturabsenkung
 - Fahr-Unterstützung / adaptive Lenkung und E-spar-Bedienhilfen
 - **Schlumberbetrieb**
- Der Fokus ist im Folgenden auf elektrische Massnahmen gerichtet

Mit Zug zum Energiesparen

– Sparmassnahmen: Was lohnt sich? / Gedankengang

- Als Fahrzeug-Lebensdauer (Flirt3 / Traverso) sind 35 Jahre gefordert; sie wird voraussichtlich höher sein (SBB Re 4/4 II: **ca. 60 Jahre!**)
- Wie lange leben meine Fahrzeuge voraussichtlich noch?
- Eine Periode zwischen zwei Fahrzeug-Refits ist heute um 15 Jahre
- **Wirtschaftlichkeitsprüfung! Ansatz: «Die Massnahme ist dann lohnend, wenn nach einer halben Refitperiode amortisiert.»**

Umsetzungsentscheid ja – nein? «Daumenregel»:

- **Wenn innerhalb von 1...8 Jahren amortisiert => sofort umsetzen**
- **Wenn nach 9...15 Jahren amortisiert => Umsetzung überdenken**
- **Wenn erst nach >15 Jahren amortisiert => keine Umsetzung**

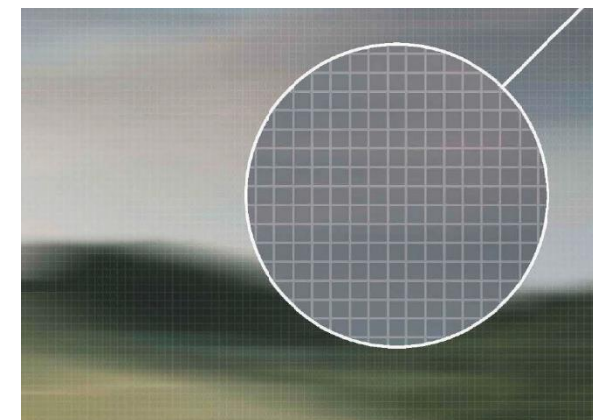
Komponentenoptimierungen – Beispiel Trockentransformator

- Bisherige Trafos haben hohe Umwandlungsverluste, mit Ölkühlung/Kühler/Pumpen mit grossem Platzbedarf und hohem Gewicht
- Neu ölfreier Trockentrafo mit leichter Luftkühlung, dafür optimierte, schwerere, aber verlustarme Auslegung des Aktivteils
- Senkung Instandhaltungskosten (da ölfrei), Verringerung Umweltgefährdungspotenzial
- Auf dem SOB-Flirt 063 verkehrte der erste Trockentrafo der weltweiten Flirt-Flotte
- Allein dank dieser Komponente Senkung des Flirt-Energieverbrauchs um über 7% !



Komponentenoptimierungen – Beispiel Fensterscheiben

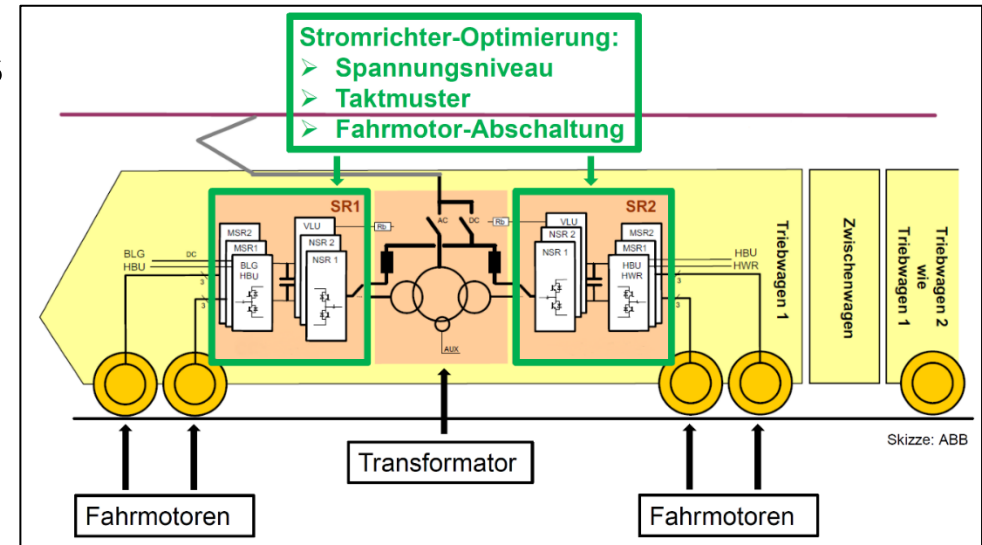
- SOB-Fahrzeugfenster sind als Zweischeiben-Isolierverglasung ausgeführt
- Innenseite des äusseren Glases ist mit metallischer Isolierschicht bedampft
- In diese ist gegen Mobilfunkempfang-Behinderung in den Fahrzeugen eine feine Gitterstruktur in der Dicke eines menschlichen Haars gelasert
- Gitter ist für das menschliche Auge nur bei genauem Hinsehen erkennbar
- Prototyp-Tests hatten auf der SOB bereits im Jahr 2017 stattgefunden



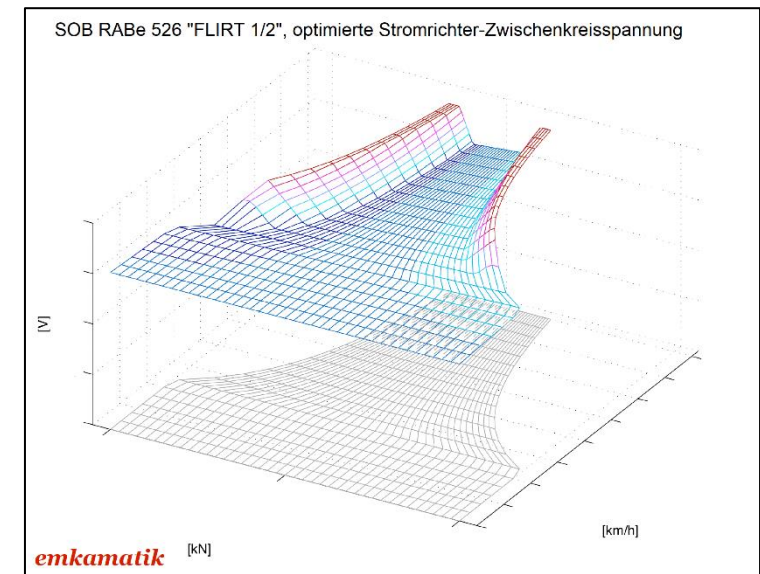
Systemoptimierungen

– Beispiel Antrieb / Minimierung Antriebsverluste

- Bei el. Triebfahrzeugen lassen sich die Verluste des Antriebssystems durch eine Gesamtoptimierung massiv senken. Dies geschieht u.a. durch gezielte Beeinflussung der Spannungsverhältnisse im Traktionsstromrichter und dessen Taktmustern («Verlustoptimums-Mix»).
- Bei kleiner Zugkraft/Leistung werden Fahrmotoren abgeschaltet (Teillastbetrieb).



- Umgesetzte Optimierungspunkte:
 - Stromrichter-Zwischenkreisspannung
 - Fahrmotor-Magnetfluss
 - Teillastbetrieb (Fahrmotor-Abschaltungen)
 - Antriebsstromrichter-Pulsmuster («Flattop»)
 - Netzstromrichter-Taktsperre



Systemoptimierungen

– Beispiel HLK-System / Besetzungsabhängige Aussenlufrate

- **Früher:** konstante, Aussentemperatur abhängige, fest eingestellte, überdimensionierte Aussenlufraten
- **Heute:** Raumluft-Qualitätsmerkmale definiert, z.B. CO₂-Konzentration, gemessen mit CO₂-Sensoren. Bei wenigen Fahrgästen muss der Umluft auch weniger Aussenluft beigemischt werden > weniger Luft muss geheizt bzw. gekühlt werden > spart Energie
- **Flirt1:** optimiertes Prinzip
 - **minimierte Aussenluft-Raten**
 - einfache Funktionalität
 - minimierter IBS-Aufwand
 - quasi aussentemperaturunabhängig > logisch bez. Zielgrösse Besetzung

mittlere Außentemperatur (Tem)	Mindestfrischluftmenge +20 °C und 50 % Luftfeuchte,
Tem < 15 °C	10 m ³ /h je Fahrgast
-15 °C ≤ Tem ≤ -5 °C	15 m ³ /h je Fahrgast
-5 °C < Tem ≤ +26 °C	20 m ³ /h je Fahrgast
Tem > +26 °C	15 m ³ /h je Fahrgast

Quelle: EN 13129

Aussentemp [°C]	CO2-Schwellen [ppm]		
	<1600	>1600/<1300	>2150/<1850
< -20	5 m3/P/h	5 m3/P/h	10 m3/P/h
-20...-5 /-5...+26 /+26...+35	5 m3/P/h	10 m3/P/h	15 m3/P/h
> +35	5 m3/P/h	10 m3/P/h	10 m3/P/h

Flirt1: SOB/Faiveley

Betriebsoptimierungen

– Beispiel Schlumberbetrieb, Fz im Sparbetrieb

Bei kalten Aussentemperaturen darf die **Abteitemperatur stark absinken** und bei warmen Aussentemperaturen bzw. **Sonneneinstrahlung stark steigen, ohne dauerndes Heizen bzw. Kühlen**. Zudem werden Systeme deaktiviert.

Vor Dienstbeginn werden die Abteile auf eine angenehme Temperatur gebracht.

Spar-Funktionen

- **Heiz-/Kühlsparbetrieb:** Abteitemperatur wird **zwischen min. 10°C / max. 40°C** gehalten; WCs bleiben im Normalbetrieb (min. 20°C / Einfrierschutz)
- **HLK-Umluftbetrieb:** Klimaanlage funktionieren ohne Aussenluftanteil
- **Systeme deaktiviert/aus:** 3/4 Trafo-Stromrichter, KIS, Innenbeleuchtung

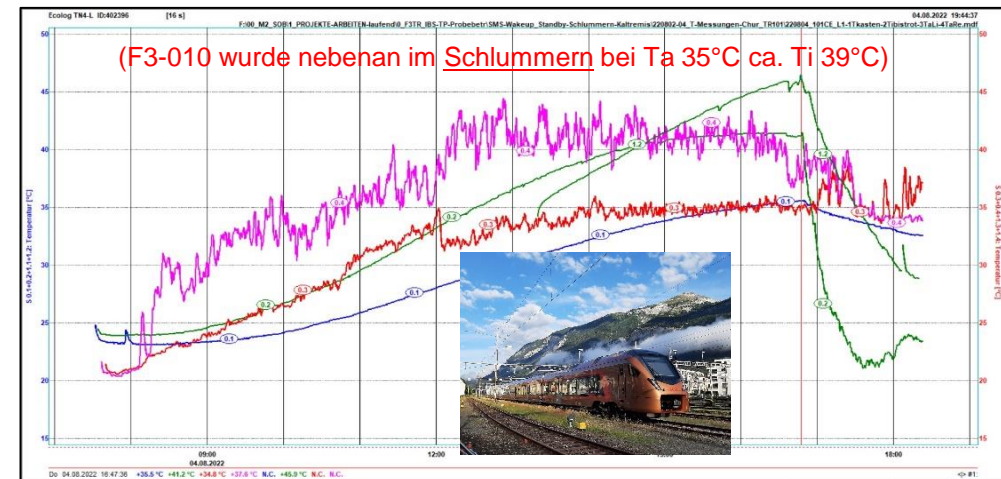
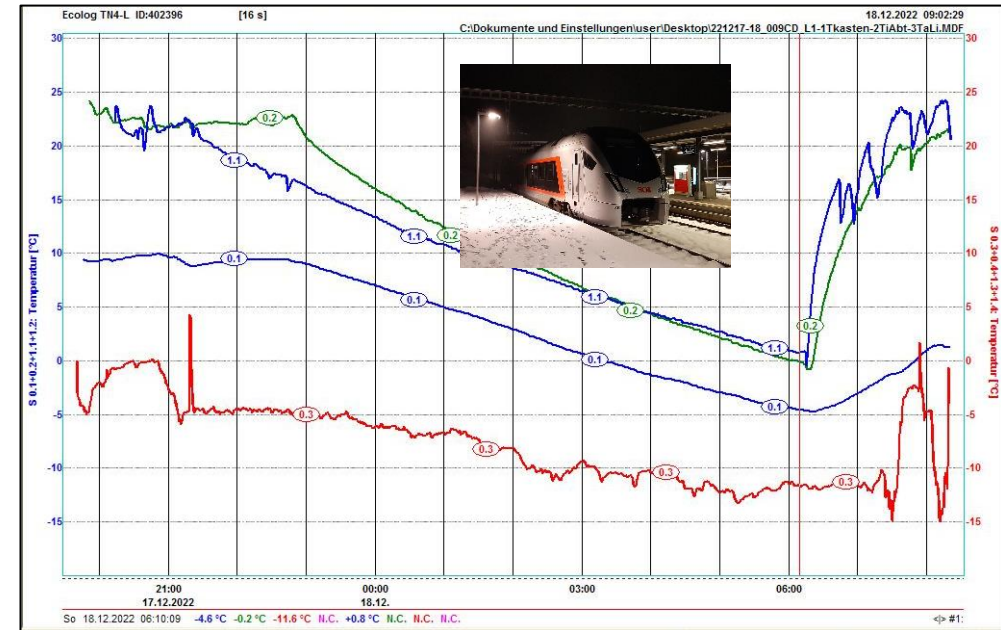
Aktivierung nach

- 60 Min. in Parkstellung oder 2 Min. Park + Fahrgastraumbeleuchtung AUS / Einstiegtüren verriegelt / Zentralverriegelung aktiviert

Betriebsoptimierungen

– Beispiel Abstellbetrieb («Standby»), Fz ausgeschaltet

- Grund: Lärmreduktion & E-Sparen
- Weckfunktion durch Temperaturüberwachung und Zeitkriterien zum Nachladen der Batterien
- Leitstelle weckt das Fahrzeug vor Einsatz mittels Ferneinschaltung
- Problematik: Auswertung Kastenfühler-temperatur Winter / Sommer
- Problematik: Betrieb des Traverso - Bistrot bei heissen Temperaturen
- Problematik: Dichtheit des Zuges (Luftvorrat zum Einschalten), d.h. Aufrüstdauer des Zuges



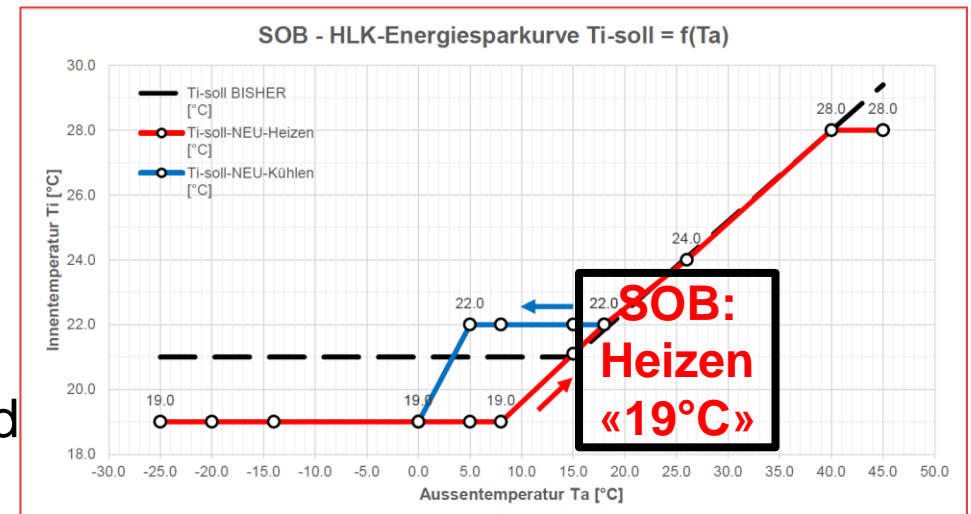
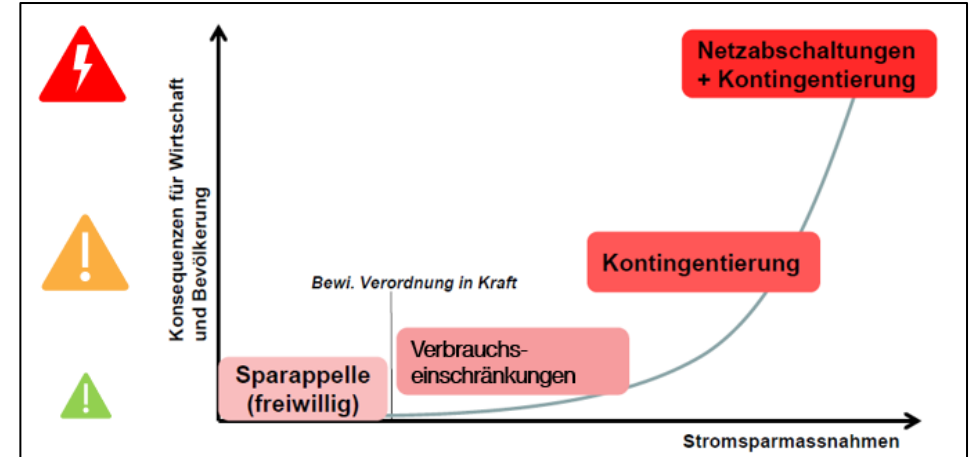
Betriebsoptimierungen

– Beispiel Abteilterperatur-Absenkung

- **Energiemangellage > Offizieller Beitrag ÖV ans Energiesparen**

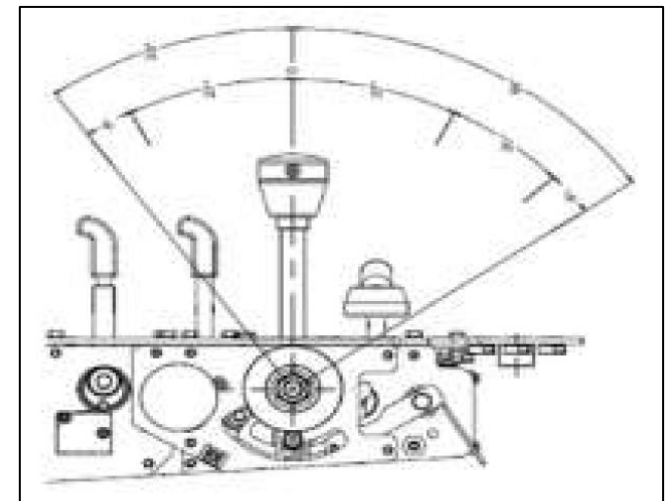


- Mess-/Funktionskontroll-Fahrten mit Flirt1, Flirt2, Flirt3 / Traverso 2022-23
 - Optimierung Ti-Sollkurve «-2K»
 - Optimierung Funktionen
- Versuche / Probetrieb ab Nov22, Flächendeckend aktiv ab Nov23



Betriebsablauf-/Bedienoptimierung – **Beispiel Fz.bedienung** / Fahrschalter-Rastrierungen

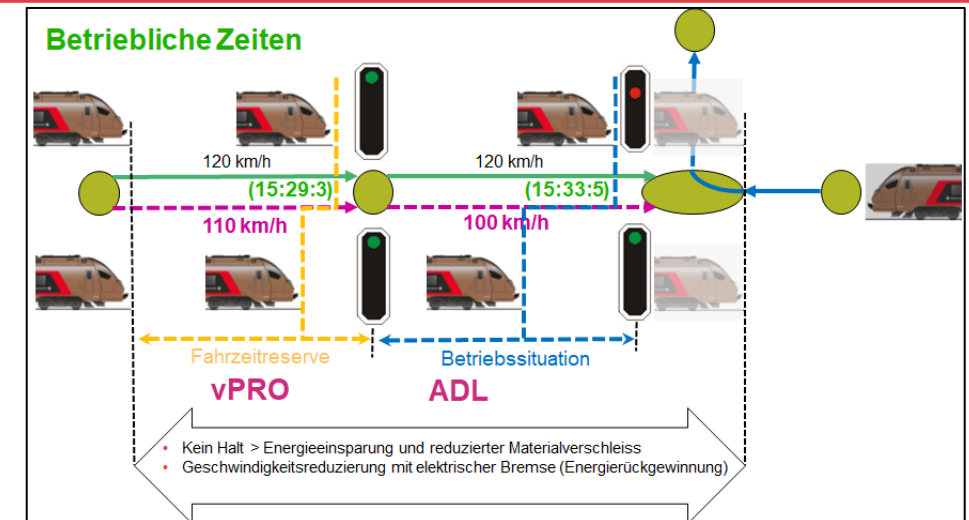
- Beim Beschleunigen werden unnötig häufig Arbeitspunkte hoher Leistung mit entsprechend überproportional hoher Antriebs-Verlustleistung gefahren, ohne dass dies im oberen Geschwindigkeitsbereich zu entsprechenden Fahrzeiteinsparungen führt.
- Energie kann (vor allem) beim Beschleunigen, aber auch beim el. Bremsen eingespart werden, wenn der Fahrschalter nicht voll angesteuert wird (falls nicht notwendig).
- Nachgerüstet werden deshalb Rastrierungen bei «75% Auslenkung Zugkraft» und bei «50% Auslenkung Bremskraft».



Betriebsablauf-/Bedienoptimierung

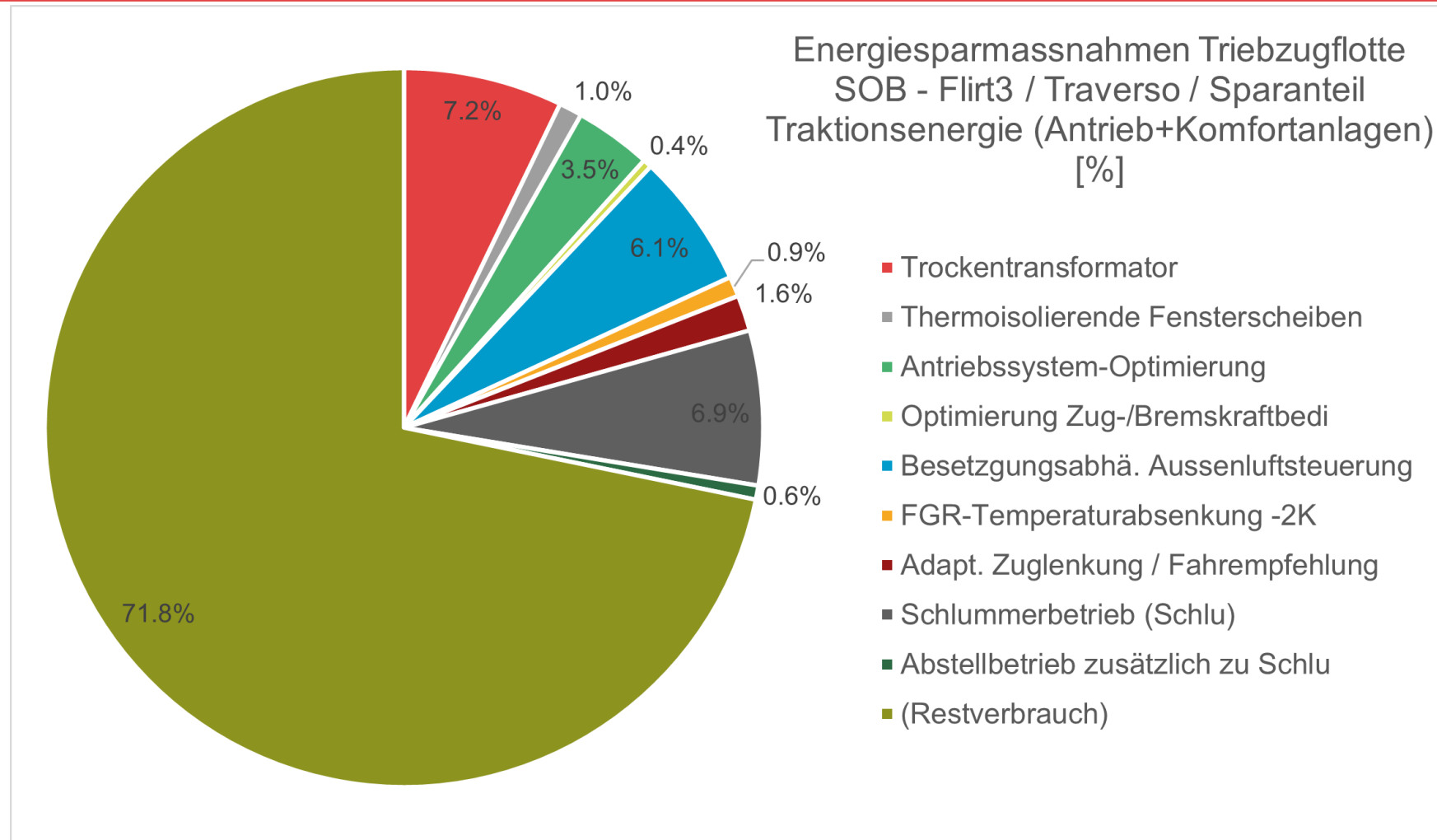
– Beispiel Adaptive Lenkung «vPRO / ADL»

- **Stufe I: «vPRO»** berechnet voraus die Fahrplan-Fahrzeitreserve; Zugführung mit **tieferer Geschwindigkeit** möglich > **Energiesparen**
- **Stufe II: «ADL»** berechnet auf Basis aktuelle Betriebssituation optimale Zugsgeschwindigkeit **vOpt** – Anzeige in LP-Fahrordnung > **Vermeidung ungeplanter Halte**, flüssiger Betrieb
- Ziele der Kombi «vPRO / ADL»
 - Verbesserung Fahrplan-Stabilität
 - Kapazitätsoptimierung Infra-Netz
 - Reduktion Signalhalte
 - Reduktion Materialverschleiss
 - **Energiesparen**



Zug 2371 (SOB) 23.03.2022				Walenstadt		ADL R150		14:59:13
km	-	+	Funk	AE	Streckeninformationen	MAXPRO	An	Ab
57.1	3	2	(1312)	sms	70	125	125	14:58:0
33.6				5-10	100			14:59:5
30.7	3	2			Ziegelbrücke 1)	160	125	(15:01:4)
28.2					Weesen			
26.7					Block S228/128			
24.6	4	4			Block S227/127			
24.0					Mühlehorn	80	105	100 (15:05:2)
					K Ausf.	80		
23.2					Gleis 21-11	80		
					km 23.20-22.94			
22.9					21-12			
22.9						105		
23.3					Tiefenw. S123			
21.4					Block S222/122			
70 / 57.1 km / ZB / 1) Ziegelbrücke Seite Biliten, Beginn Bahnhofsgeschwindigkeit auf Höhe der ersten Weiche (km 56.6)								
80 (km 23.20-22.94): / Fahrrichtung Murg - Mühlehorn ist mit V-Überwachung 80 km/h								
vOpt 120 km/h								

Mit Zug zum Energiesparen – Sparquote / Beispiel Flirt3 / Traverso



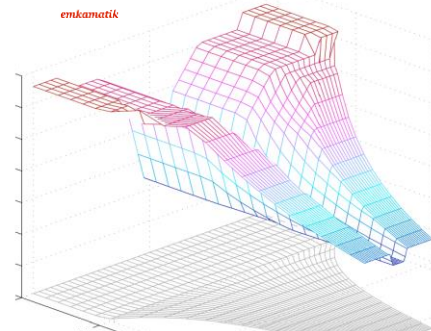
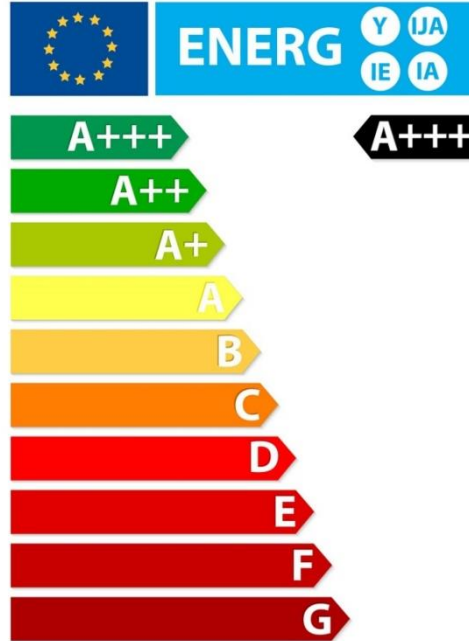
Mit Zug zum Energiesparen – **Ersparnisse** / Flirt1/2 + Flirt3 / Traverso

Gesamtersparnisse durch umgesetzte Massnahmen:

- **Energie:** **17.9 GWh/Jahr** (= ca. 1/500 des
AKW Leibstadt: 9'700 GWh/Jahr)
- **Haushalt-Äquivalente:** **4'800 HH/Jahr** (3'800 kWh/Jahr)
6'100 HH/Jahr (3'000 kWh/Jahr)
- **Finanzen:** **2.2 MCHF/Jahr** (12.5 Rp/kWh)
2.7 MCHF/Jahr (15.5 Rp/kWh)

Mit Zug zum Energiesparen

– **Fazit/Ziel** ➤ «technisch schöne» Züge / Umsetzung bis 2024



Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !

– Fragen & Antworten



• SOB-Züge beim Schlummern

SOB SÜDOSTBAHN
gerade unterwegs



Pause bis 11.15 Uhr

Best Practices aus der Welt des öffentlichen Verkehrs (2/2)

Umstellung auf umweltfreundliche Antriebe

Statements von BVB, TPG, VB sowie
VBZ

Olivier Augé

Leiter Engineering, tpg



σtpg

GED #717824

Elektrifizierung des Busnetzes der TPG

Olivier Augé
Leiter Engineering

10. Forum Nachhaltige Energie
Solothurn, 30.11.2023

VÖV UTP



Verband öffentlicher Verkehr
Union des transports publics
Unione dei trasporti pubblici

Zahlen Jahresbericht 2022

- 32'391'000 km Total
(~ 88'742 km/Tag)
- 507 Mio. Personenkilometer/Tag
(~1'389'000 Personenkilometer/Tag)
- 2'210 Mitarbeitende
 - Betrieb: 1'566
 - Technik: 342
 - Administration: 304
- 478 Fahrzeuge
(Trams, Trolleybus ohne Unterauftragsvergabe)
- 77 Linien



Flotte 2023

Tram, Trolleybus und Bus

126 Trams



104 Trolleybusse



12 eBusse



232 Dieselbusse
(189 Gelenkbusse)



4 Shuttlebusse

1

Energieübergangsstrategie: 1. Phase der Innovation

Die Herausforderungen der Energiewende:
Der Prototyp

Geschichte, Innovation

Privat-öffentliche Partnerschaft



- Passagiere statt Batterien transportieren
- Weltweit erster elektrischer Gelenkbus (132 Fahrgäste)
- Eine Batterie von nur 38 kWh
- Flash-Ladung in 20 Sekunden
- Einweihung während des UITP-Weltkongresses 2013 in Genf



② Energieübergangsstrategie: Buslinie 23

Das Projekt „Leuchtturm“.
Feedback von 2018 bis 2023

Einsatz auf einer ganzen Linie – L23

Energieumstellung von einer Diesel-Linie

- Nach dem Prototyp, ganze Linie
- Leuchtturmprojekt unterstützt durch den Bund
- 1'000 tCO₂/an
- 12 Gelekkbusse (18m75)
- 2 Endhaltestellen (400 kW, < 5 min)
- 12 Flash Unterwerk (600kW, 20 Sekunden)
 - Spitzenglättung (40kVA Niederspannungs-Stromnetzanschluss)



Aspekte der nachhaltigen Entwicklung

- Sehr grosse Kapazität für Fahrgäste (die gesamte Technik befindet sich auf dem Dach)
- Keine zusätzlichen Fahrkosten
 - gleiche Zeiten an den Endhaltestellen wie bei Dieselmussen
 - keine Rückkehr zu den Depots während des Tages (recharge)
- Lange Lebensdauer der Batterie (10 Jahre)
 - 500'000 km → ~10'000'000 Fahrgast.km
 - **Vor dem Recycling, jede kWh der Batterie (72 kWh) hat > 140'000 Fahrgast.km ermöglicht**
- 20 Jahre Lebensdauer für das Fahrzeug (wie die Trolleybusse bei den tpg)
- Hohe Energieeffizienz
 - Permanentmagnetmotoren und geringes Busgewicht
 - Stromrichter als eingebautes Batterieladegerät
 - Schneller Hochlauf von 0 auf 400 kW in weniger als 2 Sekunde

Aspekte der nachhaltigen Entwicklung

- Laden mit hoher Leistung
 - 400 kW
 - 600 kW bei Flash (20 Sek)
- Kommunikationslos (CCS2 oder ähnlich nicht erforderlich)
- Leichte und sichere Infrastruktur in den Depots
 - Langsamladung (50 kW, 15 - 30 min)
 - Brandschutzkonzept erleichtert durch die Batteriegrösse, die LTO Technologie und weil keine Ladung am Busstellplatz stattfindet.
- Verteilter Netzanschluss und direkte Nutzung erneuerbarer Energien
 - Nachladung erfolgt tagsüber während des Betriebs. Somit kann Sonnenenergie direkt genutzt werden.
 - tpg hat einen 100% erneuerbarer Stromvertrag mit SIG

Gesammelte Erfahrungen

- Schnelle und positive Akzeptanz vom eBus durch die Fahrer
- Es ist ein System! Zusammenarbeit zwischen den zuständigen Ingenieur- und Wartungsteams, die für die Infrastruktur und Fahrzeuge zuständig sind, ist wichtig.
- Ein grosser Bus (18m75, 132 Passagiere) mit einer kleinen Batterie (72 kWh) kann eine anspruchsvolle kommerzielle Linie bedienen.
- Kommunizierende Fahrzeuge und Infrastruktur helfen der Optimierung des Systems.

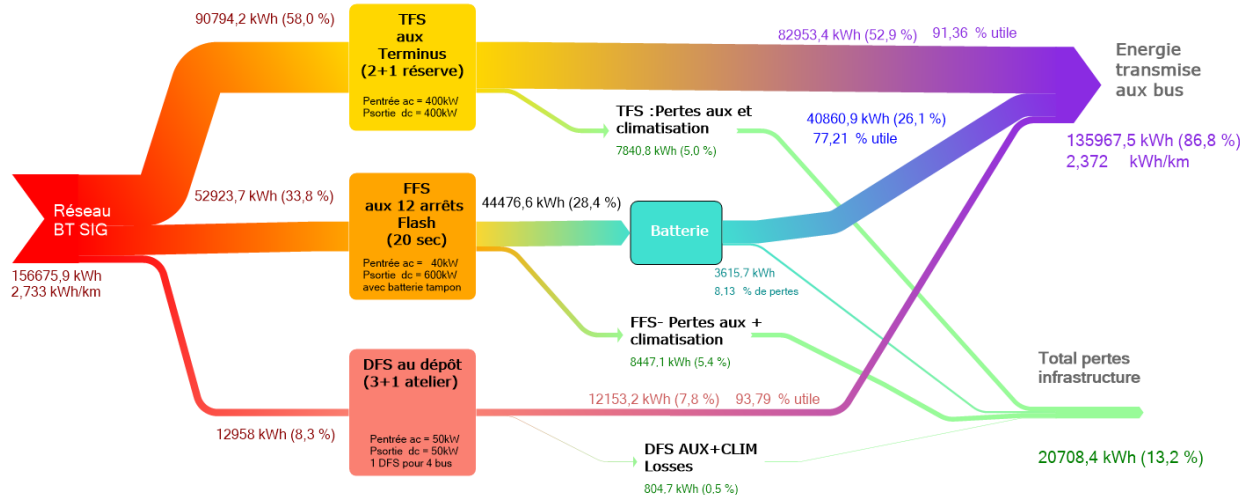
März 2018 → Nov 2023

L23 – Ein einzigartiges Erlebnis

- 3.3 Mkm zurückgelegt
- Verfügbarkeit > 98.7%
- ~65'000'000 Fahrgäste km geleistet
- Feedback mit kommunizierenden Fahrzeugen und Infrastrukturen

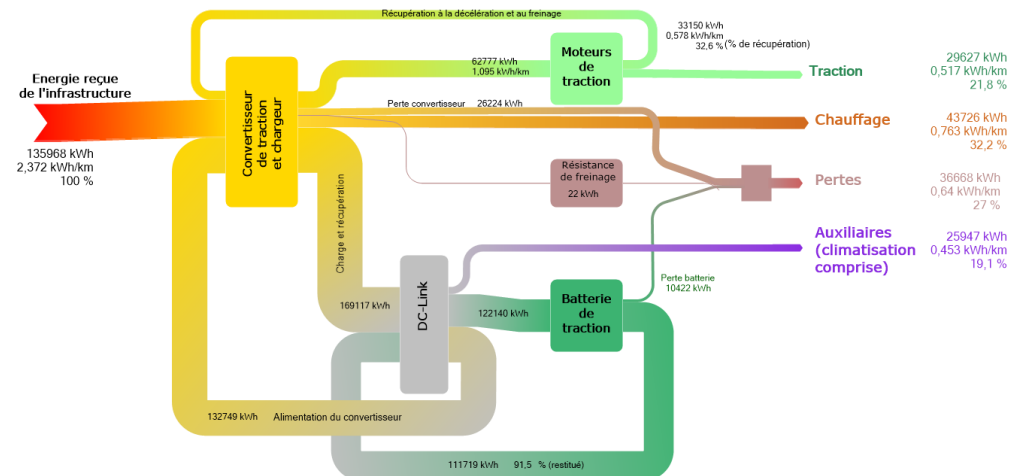
TOSA Ligne 23 Infrastructure - Flux d'énergie

km parcourus par la flotte de 12 bus dans le mois: 57327,84 km
Période du 1-1-2021 au 1-2-2021



TOSA Bus S505 sur L23- Flux d'énergie

km parcourus par la flotte de 12 bus dans la période: 57327,84 km
Période du 1-1-2021 au 1-2-2021

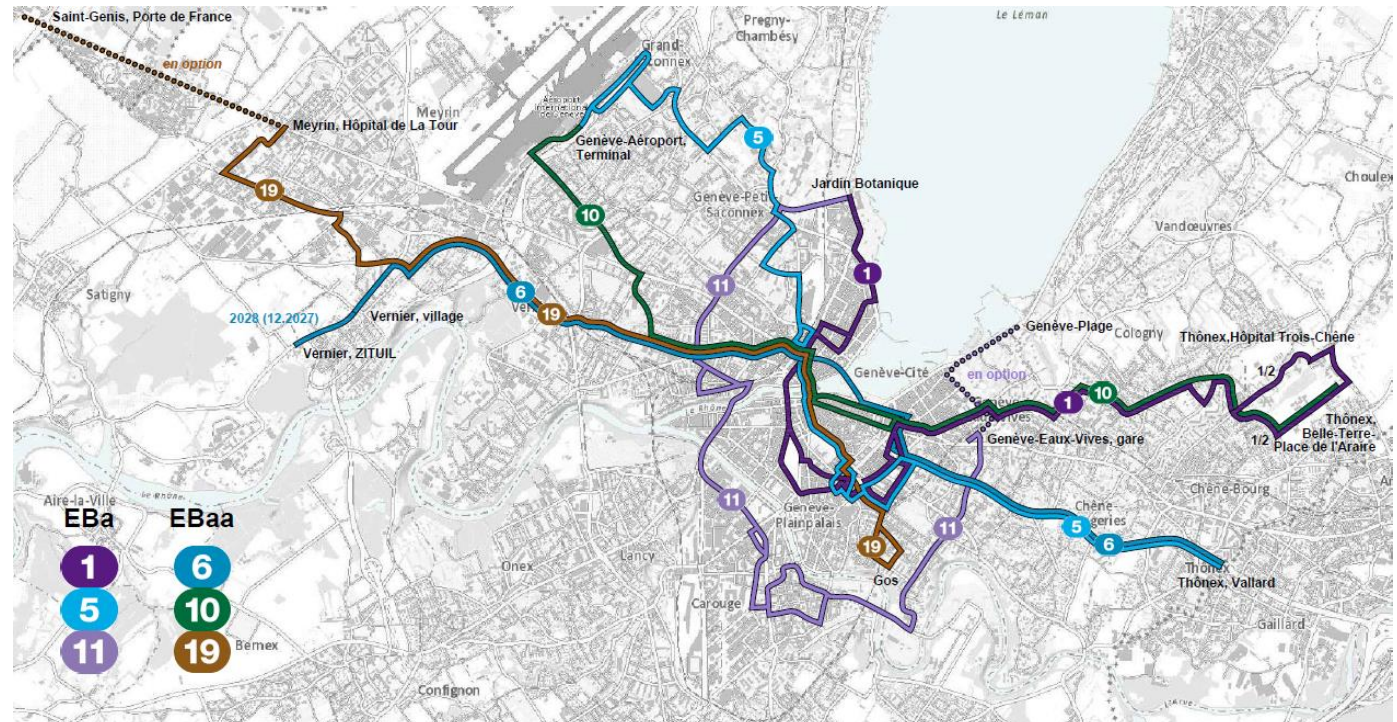
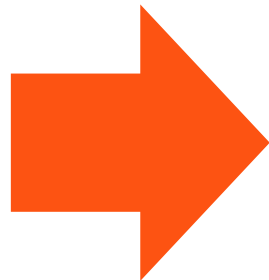


③ Energieübergangsstrategie: Das Streckennetz

2025-2027

VÖV UTP 

- Ein Streckennetzansatz mit 6 Linien
- 65 Gelenkbusse und 56 Doppelgelenkbusse
- Ein optimiertes Konzept, welches auf unserer Erfahrung und den technologischen Entwicklungen beruht.



Ziele und Einschränkungen der Spezifikationen

- Ziele gemäss der Strategie CAP 2030
 - Umstellung von Diesellinien auf Elektrolinien
 - > 103 Fahrzeuge, kunden- und fahrerorientiert
 - Entwicklung hin zu kommunizierenden Fahrzeugen
 - Wartungsbenachrichtigung in Echtzeit, CMMS, Überwachung
 - Über 50 % entspricht den **ITxPT**-Anforderungen
 - Reduzierung des Energieverbrauchs für Heizung und Klimaanlage um 15 %
 - 2. eBus-Ausschreibung bis 2025 offen lassen –Nachtladebusse?
- Einschränkungen der Ausschreibung
 - Energiewende erreichen, ohne andere Kosten (Fahrkosten, Anzahl der Fahrzeuge) zu erhöhen
 - Anschaffung von Fahrzeugen mit grosser und sehr grosser Kapazität
 - Energieeffizienz, erneuerbare Energien, Menge und Lebenszyklus von Materialien (Batterien)
 - Kompatibilität mit bestehenden Infrastrukturen (Depots, Profile...)

Erwartete Vorteile für die Umwelt

- Gesamtenergieeffizienz
 - Bus-Traktionsenergie: Leichter Bus mit geringer Batteriekapazität und hocheffizientem Motor
- Verbesserung der Energieeffizienz von Hilfssystemen (Klimaanlage und Heizung) in den Fahrzeugen
 - Wärmepumpe statt Elektroheizung
 - CO₂-Sensoren zur Regulierung der Belüftung
- Kältemittel mit geringerer Umweltbelastung
 - Verwendung von R-744a (PRG=1*) anstelle von R-407C/Trolleybus (PRG=1774*) oder R134a/Autobus (PRG=1430*)
- Materialien und Recycling
 - Fahrzeugbatterie: Geringe Batteriemenge und lange Lebensdauer ≥ 10 Jahre $\rightarrow 20$ Jahre !
 - Hoher Anteil recycelter Materialien in der Konstruktion und Recyclingfähigkeit > 90 %

④ Technischer Benchmark

Entwicklung der Batterien

– eBus TOSA L23 – Bus 18m

- LTO-Technologie
- Kapazität 72 kWh
- Masse: 1'200 kg
- Endhaltestelle-Ladung: 400 kW
- Flash-Ladung: 600 kW
- Depot-Ladung: 50 kW

2018-(2022)

– Ebus 2022 – Bus 18m

- LTO-Technologie
- Kapazität ~ 132 kWh
- Endhaltestelle-Ladung: 600 kW

– Ebus 2022 – Bus 24m

- LTO-Technologie
- Kapazität ~ 132 kWh
- Endhaltestelle-Ladung: 600 kW

– Trolleybus Exquicity S301 – TB 18m

- LFP-Technologie
- Kapazität 28 kWh
- Masse: 740 kg
- Pmax: 80 kW (Ersatz GMA)

2013-2021

– Trolleybus Exquicity S302 – TB 18m

- LTO-Technologie (bessere Sicherheit und Leistung)
- Kapazität 45 kWh (Autonomie)
- Masse: 1'500 kg (gesamt inkl. Kühlung)
- Pmax : 210 kW → gleiche Leistung mit Batterie oder LA

Erwartete Gewinne für Linien und Depots

- Aufladen mit hoher Leistung
 - Endhaltestelle (~+50% in Vergleich zu L23)
 - 1 oder 2 Flash pro Richtung (20 Sek.)
- Leichte und sichere Infrastruktur in Depots
 - Schnelles Aufladen (2–5 Minuten) am Eingang des Depots vor der Lagerung
 - Brandschutzkonzept unterstützt durch:
 - die geringe Grösse der Batterie in kWh,
 - die Sicherheit der LTO-Technologie und
 - das Fehlen von Ladung in den Lagerplätzen.
- Anschluss an dezentrales Stromnetz und erneuerbare Energien
 - Laden tagsüber während des Betriebs. Somit kann Sonnenenergie direkt genutzt werden
 - 100 % erneuerbarer Energievertrag mit SIG

5 eBus-Projekt: Konfigurationen

Fahrzeugkonfigurationen, Infrastruktur in
Depots und im Netzwerk

Fahrzeuge

- 65 Gelenkbusse
- 56 Doppelgelenkbusse
- Abmessungen
 - Länge 18.75 / 24.7 m
 - Breite 2.55 m
- Fahrgastraum
 - Kapazität (4p/m²), 110 / 140 (nach LV)
 - Niederflur 100%
 - Sitzplätze 40 / 50
 - Rollstuhlbereich 1 / 2 Plätze, ändert wenn besetzte Kabine
 - PRM Sitze 10%
 - Multifunktionsraum Ja

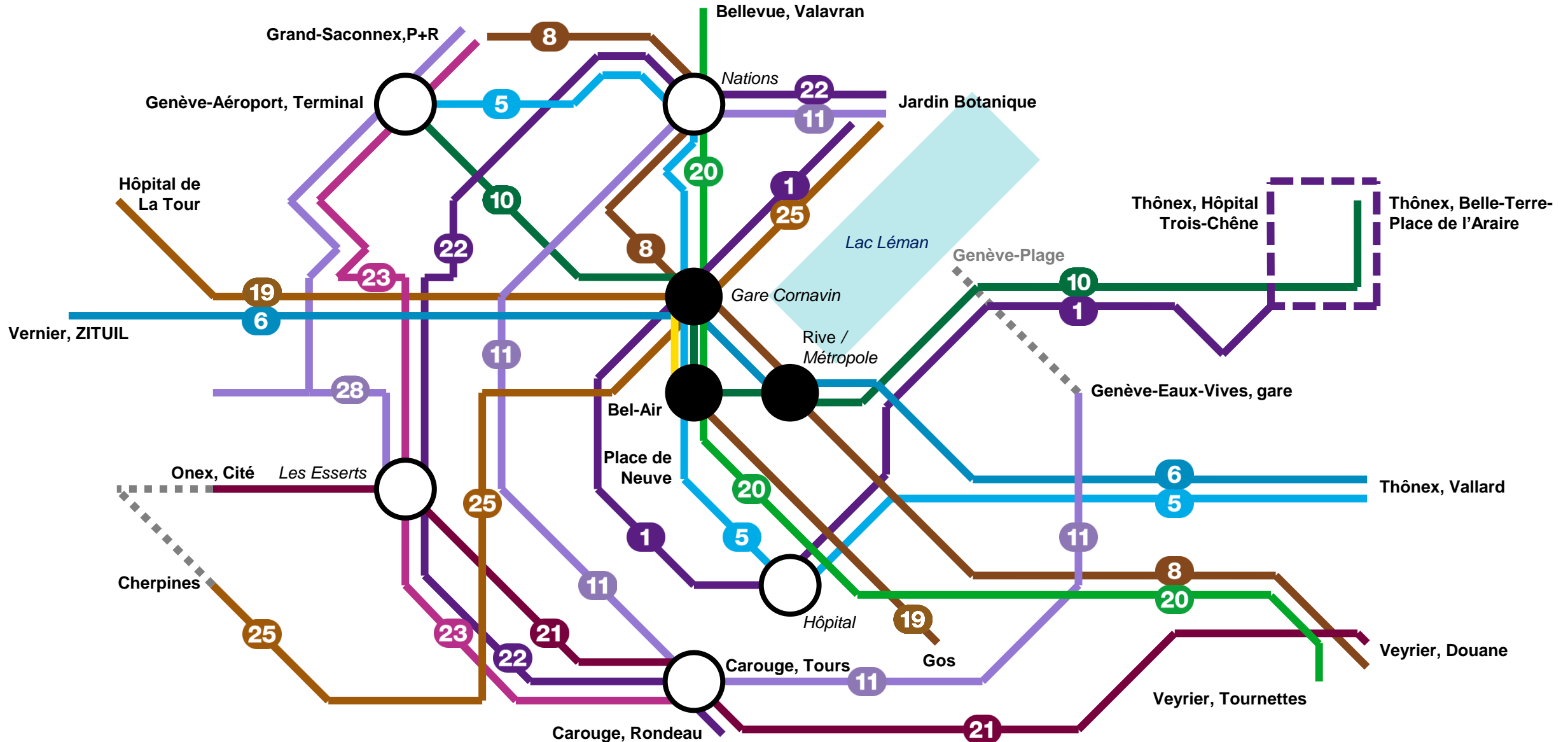
- Grundprinzip im Netzwerk
 - Laden mit 600 kW an den Terminals (MV) in $< 5'$
 - Laden mit 600 kW an Zwischenstationen/Backup (LV)
- Grundprinzip im Depot
 - Laden mit 600 kW (wie Endhaltestelle) bei Einfahrt ins Depot in max. 5 Min.
 - Keine Ausrüstung am Parkplatz (wie Dieselbus)
 - Ausstattung der Wartungsbereiche mit Kleinladegerät

6

Das 100 % elektrische öffentliche Verkehrsnetz

CAP2030

CAP20230: Entwicklung des Stadtnetzes



⑦ Energieausblick

Elektrifizierung unserer Busflotte

Energieauswirkungen der Elektrifizierung unserer Buslinien

- Im Jahr 2019 haben wir ca. 6,3 Mio. l Diesel oder **63 GWh** für 11 Mio. km verbraucht.
- Eine Reduktion um 6,3 Mio. l Diesel entspricht einer Reduktion der Treibhausgasemissionen um **16'443 tCO₂/Jahr**



- Die Elektrifizierung von Dieselstrecken entspricht insgesamt **25 GWh/Jahr** für 11 Mio. km/Jahr.
- Somit steigt der gesamte prognostizierte Stromverbrauch von 36 GWh auf 61 GWh, also +69%.
- Die zusätzlichen 25 GWh stellen eine Steigerung des Stromverbrauchs des Kantons Genf um **0,9 %** (2'700 GWh) dar.

Elektrifizierung des Busnetzes der TPG

Fragen & Antworten

tpg: Auf dem Weg zum 100 % elektrischen öffentlichen Nahverkehr.

Heute ist die Hälfte der 478 TPG-Fahrzeuge elektrisch und wird vollständig mit erneuerbarer Energie betrieben.

tpg hat das Ziel, bis 2030 eine rein elektrische Fahrzeugflotte zu haben.



Olivier Augé / TPG Leiter Engineering Auge.Olivier@tpg.ch



Annarita Polacchini

**Betriebsleiterin, Società Navigazione
del Lago di Lugano**



Ein Projekt für den ökologischen Übergang im
Schiffsverkehr:

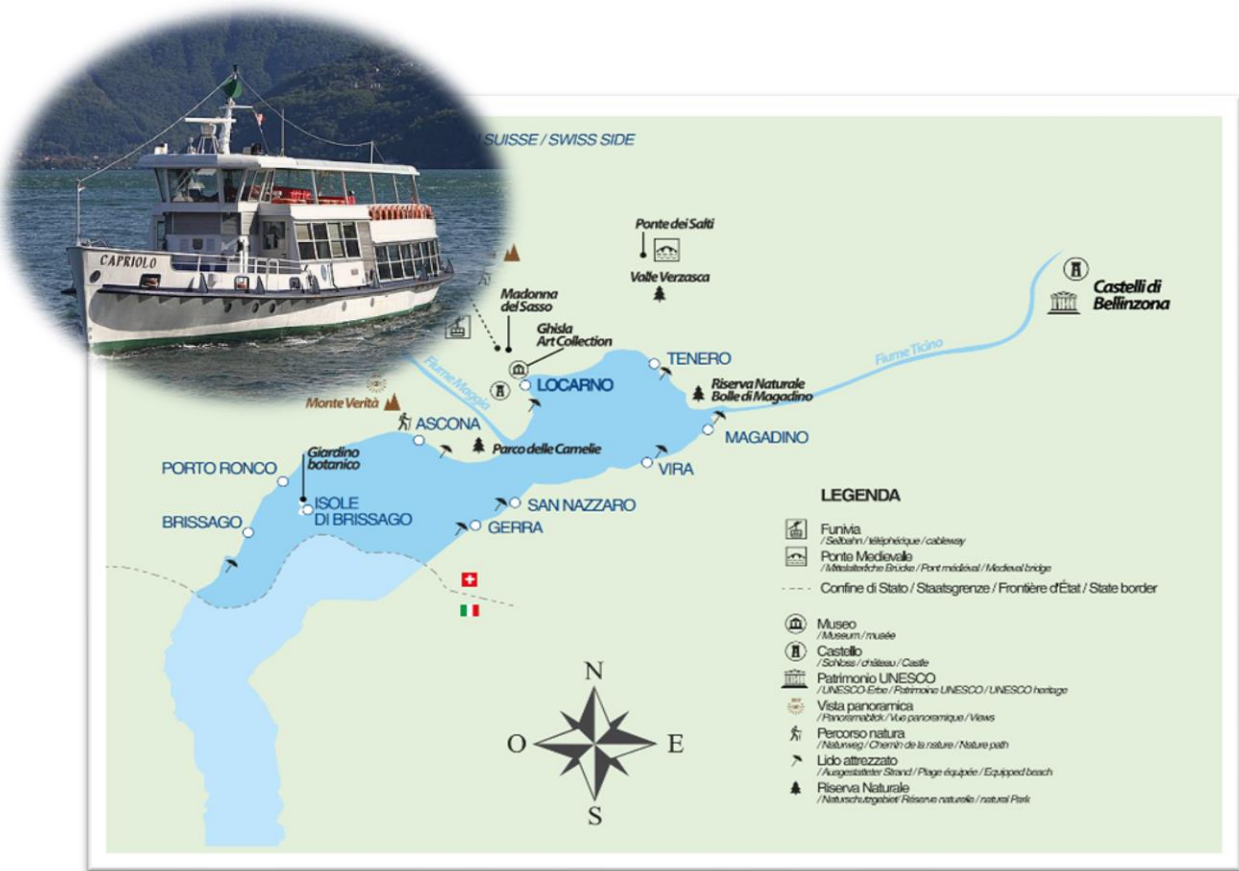
Projekt  **venti35**
· zero emission ships ·

Annarita Polacchini
COO – Betriebsleiterin

30. November 2023







DIE DIENSTLEISTUNGEN DER SNL

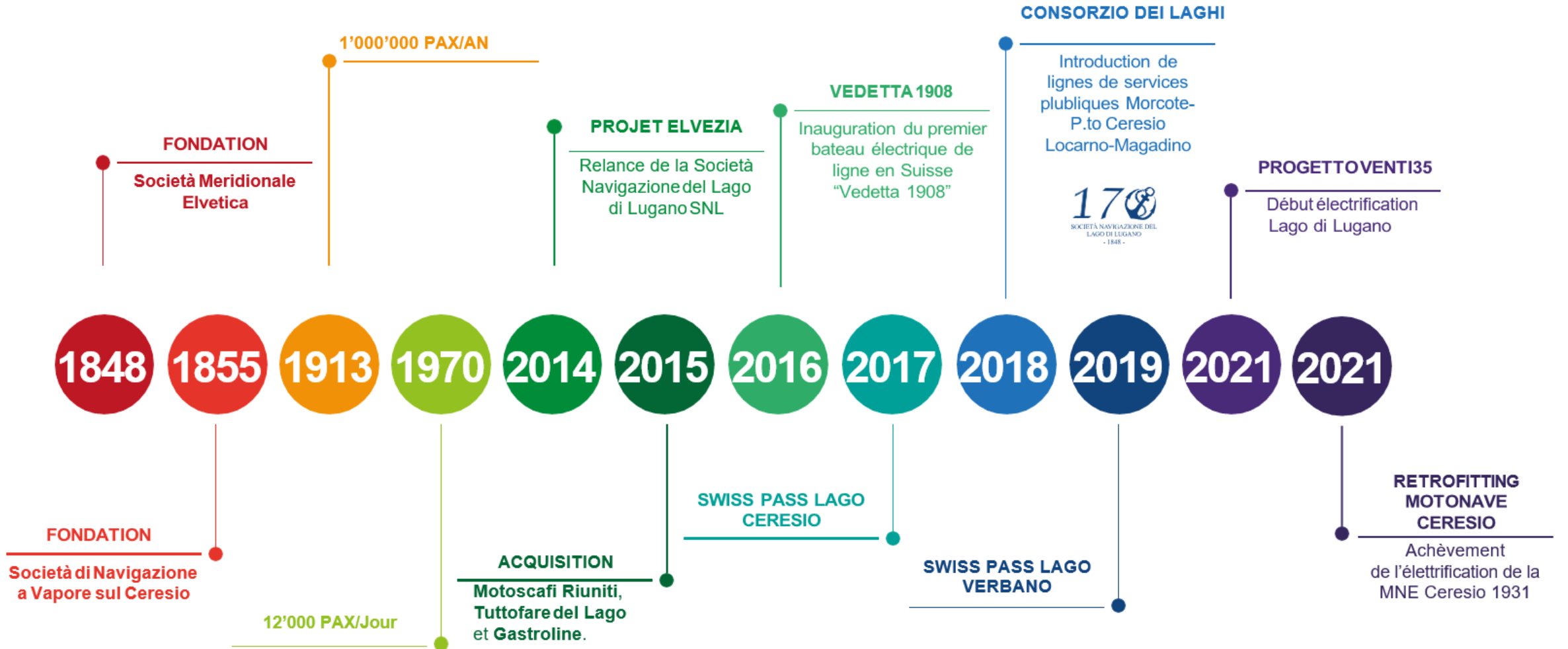


DIE DIENSTLEISTUNGEN DER SNL

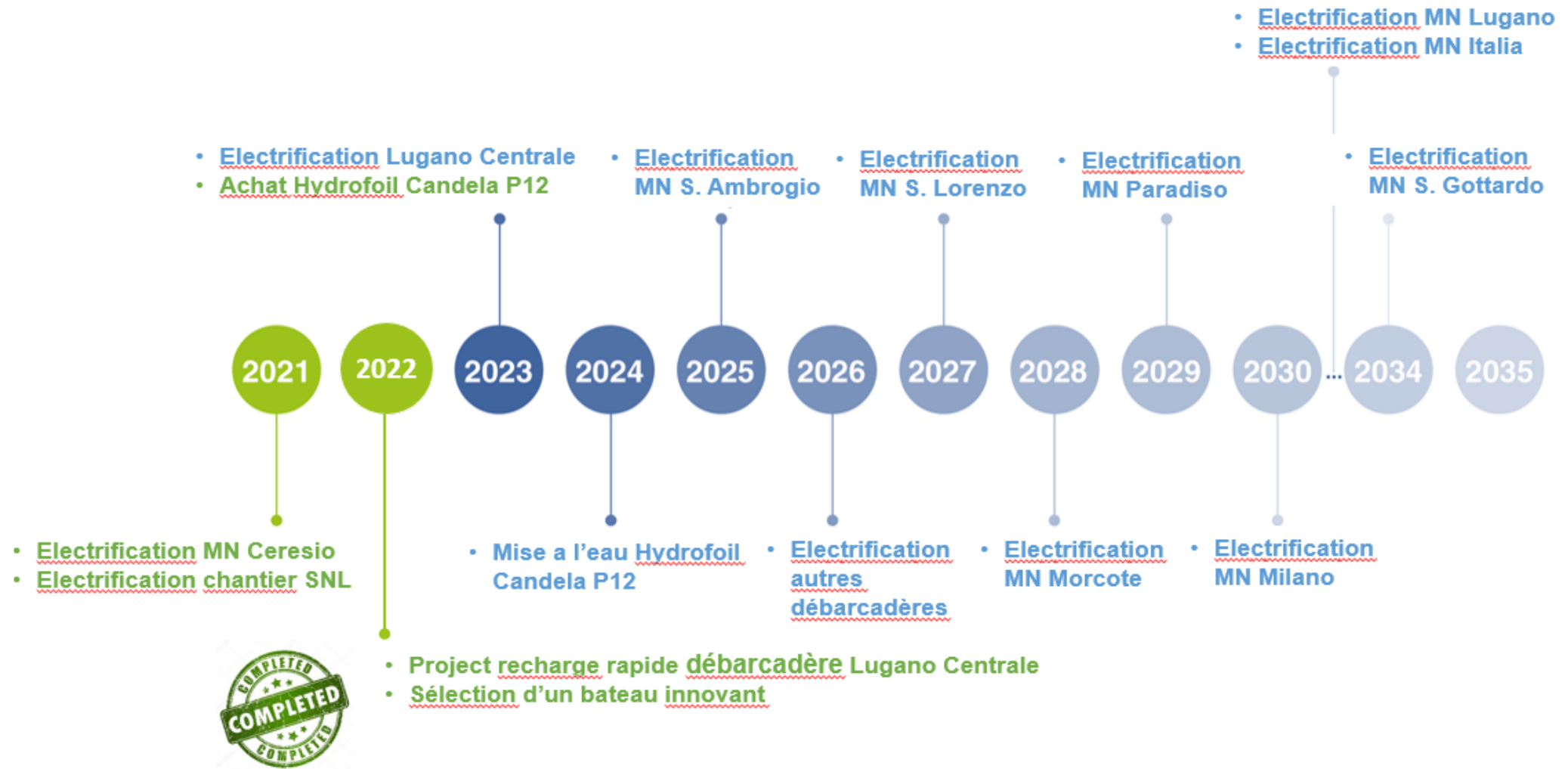


	Luganersee	Lago Maggiore	Bus	Total
 Reisende	306 000	471 000	278 000	1 055 000
 Fahrten	13 100	6700	19 500	39 300
 Flotte	12 Schiffe, 2 davon vollelektrisch	5 Mietschiffe	4 Busse, 2 davon Hybrid	
 Geschäfts- jahr	Betriebsstunden: 17 500		Fahr-km Busse 230 000	





ROADMAP PROJEKT VENTI35



ZU DEN ELEKTRISCHEN ANTRIEBEN ...



Das erste elektrische Schiff 2016

<i>Hauptmerkmale</i>	
Baujahr	1908
Gesamtlänge	11,40 m
Gesamtbreite	2.70 m
Seitenhöhe	1,38 m
Anzahl Plätze	30+1 KapitänIn
Leistung	29 kW
Höchstgeschwindigkeit	13 km/h
Batteriekapazität	24 kWh
Maximale Autonomie	4 h



Das Projekt Venti35 will bis 2035
Emissionswerte von Null erreichen.
Es sieht die **Modernisierung der bestehenden Schiffe** mit
leistungsstarken und umweltfreundlichen
Motoren vor. Weiter werden **neue
Hochtechnologie-Schiffe ausgewählt**
und eine **elektrische Ladeinfrastruktur**
an Land eingerichtet.



venti35
· zero emission ships ·

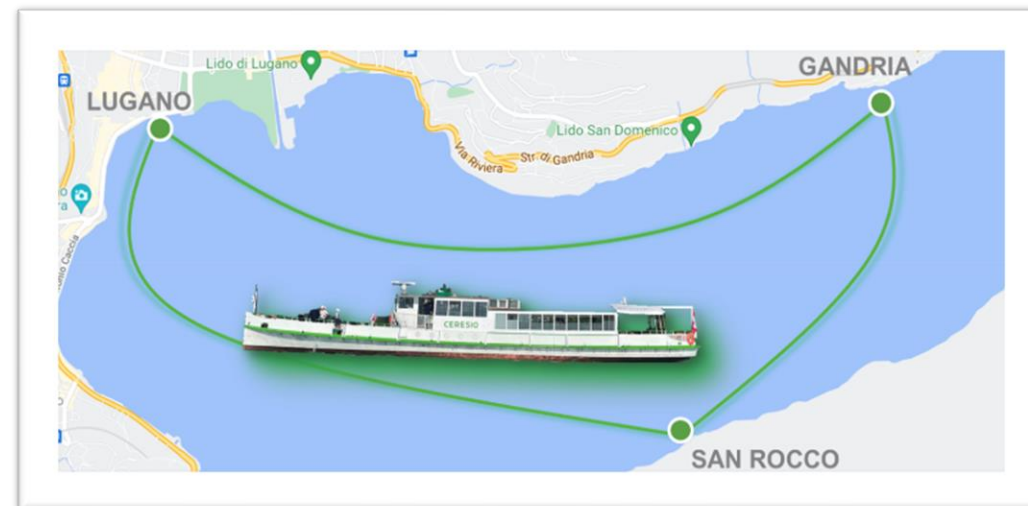


Hauptmerkmale

Baujahr	1931
Gesamtlänge	31,35 m
Gesamtbreite	6,3 m
Anzahl Plätze	240
Leistung	180 kW
Höchstgeschwindigkeit	23 km/h
Batteriekapazität	840 kWh
Max. Autonomie	8 h
CO ₂ -Reduktion (Sept. 2021-Nov. 2023)	ca. 100 Tonnen



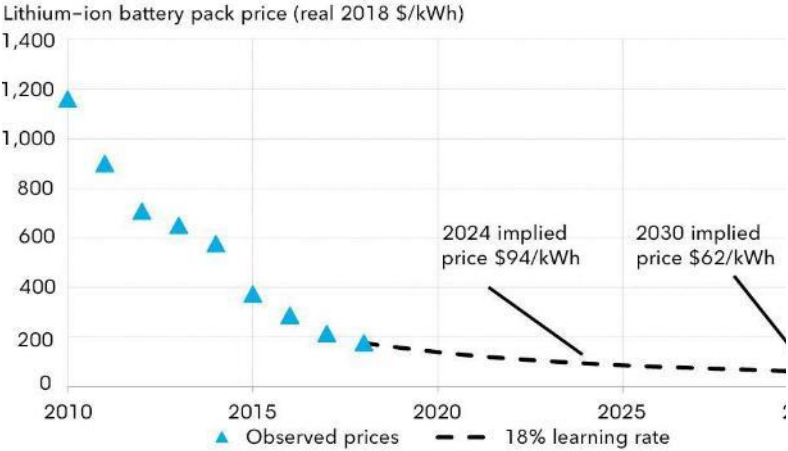
Die grüne Linie **Lugano - Gandria und San Rocco** wird mit der MNE Ceresio betrieben. Es ist die erste 100 % emissionsfreie Linie auf den Schweizer Seen.



DIE ROADMAP DES PROJEKTS VENTI35 WIRD BEEINFLUSST VON...

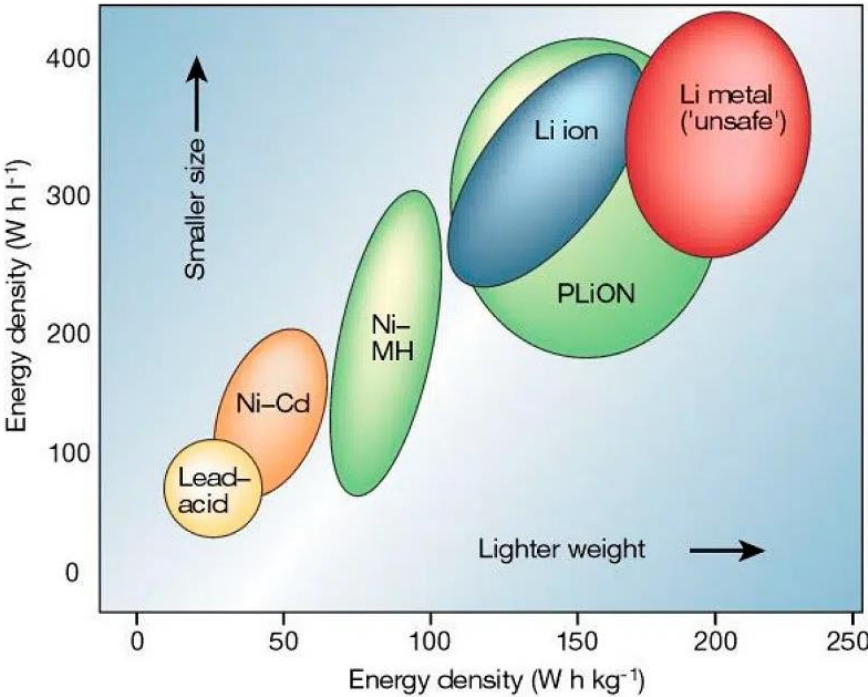


Lithium-ion battery price outlook



Source: BloombergNEF

Kosten



Energiedichte vs. Gewicht

HOW BATTERY CHEMISTRIES DIFFER, BY MINERAL CONTENT
FOR A 60KWH LITHIUM-ION BATTERY

The name of the battery chemistry typically indicates the composition of the cathode.

	NMC811 Nickel (80%) Manganese (10%) Cobalt (10%)	NMC523 Nickel (50%) Manganese (20%) Cobalt (30%)	NMC622 Nickel (60%) Manganese (20%) Cobalt (20%)	NCA+ Nickel Cobalt Aluminum Oxide	LFP Lithium iron phosphate
LITHIUM	5KG	7KG	6KG	6KG	6KG
COBALT	5KG	11KG	11KG	2KG	0KG
NICKEL	39KG	28KG	32KG	43KG	0KG
MANGANESE	5KG	16KG	10KG	0KG	0KG
GRAPHITE	45KG	53KG	50KG	44KG	66KG
ALUMINUM	30KG	35KG	33KG	30KG	44KG
COPPER	20KG	20KG	19KG	17KG	26KG
STEEL	20KG	20KG	19KG	17KG	26KG
IRON	0KG	0KG	0KG	0KG	41KG

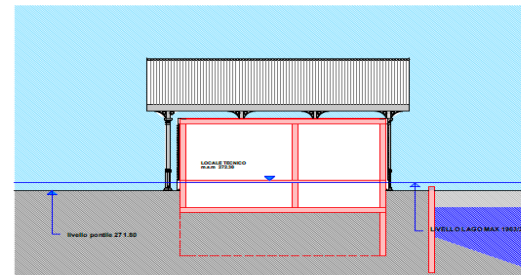
ELEMENTS

Technologien

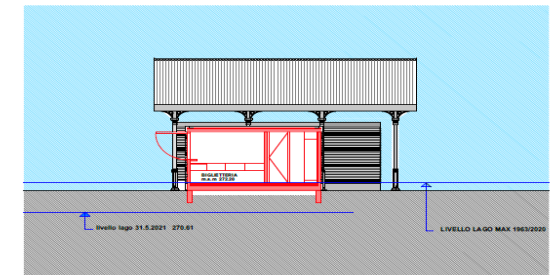




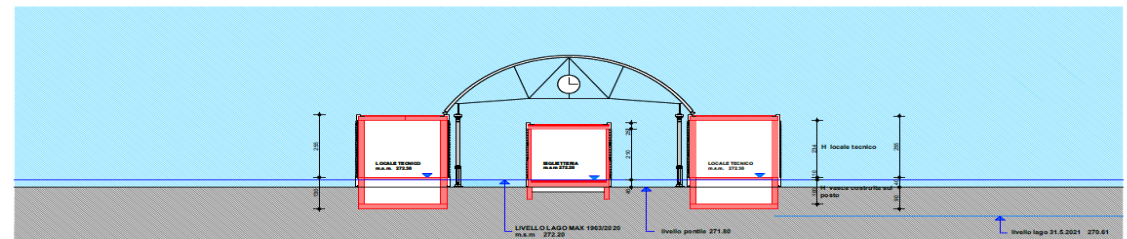
- Die MNE Ceresio kann in 20 bis 25 Minuten zu 100 % geladen werden.
- Die Anlage ermöglicht es auch, Privatschiffe zu laden.



SEZIONE B-B



SEZIONE C-C



SEZIONE A-A

- Arbeiten an der Anlegestelle Lugano Centrale: Oktober 2023 – Frühling 2024
- Leistung: 1,5 MW



AUSWAHL EINES NEUEN SCHIFFS



CANDELA P12

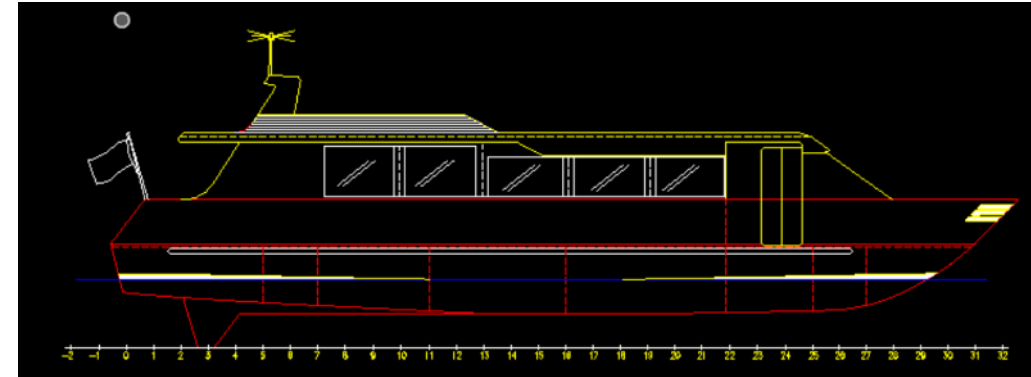


Hauptmerkmale

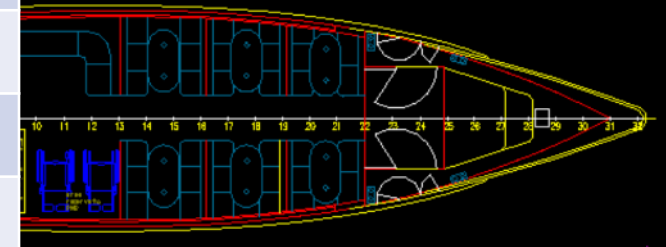
Gesamtlänge	12 m
Gesamtbreite	4,5 m
Freibord	0,9 m
Anzahl Plätze	30
Höchstgeschw.	55,5 km/h
Reisegeschw.	37 km/h
Batteriekapazität	252 kWh
Max. Autonomie	110 km
Schnellladung	CC-CC2 Anschluss



UMBAU MN S. AMBROGIO



Hauptmerkmale	
Baujahr	1987
Gesamtlänge	17,20 m
Gesamtbreite	4,30 m
Anzahl Plätze	60+1 KapitänIn
Leistung	169 kW
Höchstgeschwindigkeit	18 km/h



1- MACHBARKEITSSTUDIE

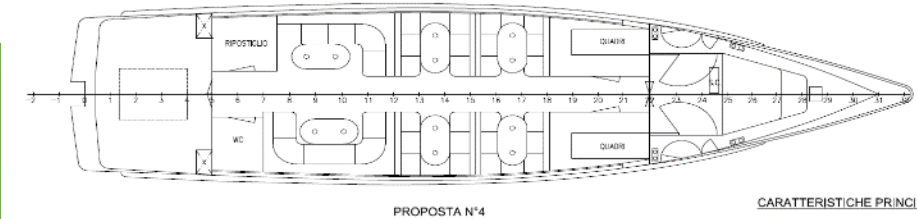
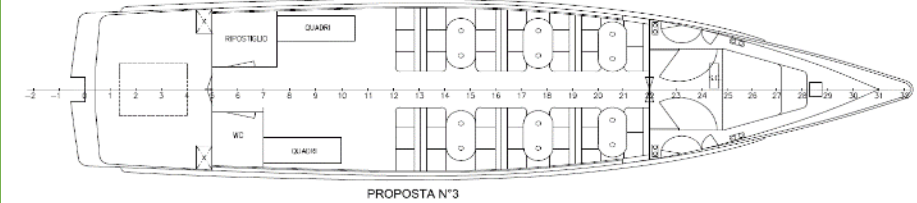
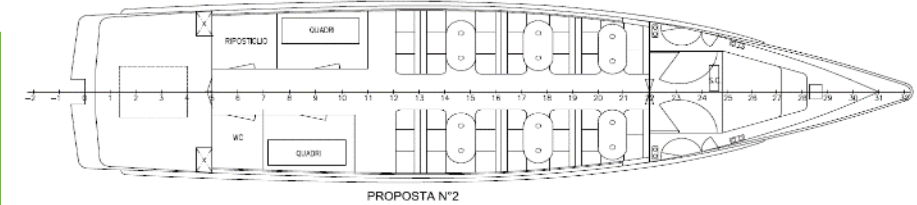
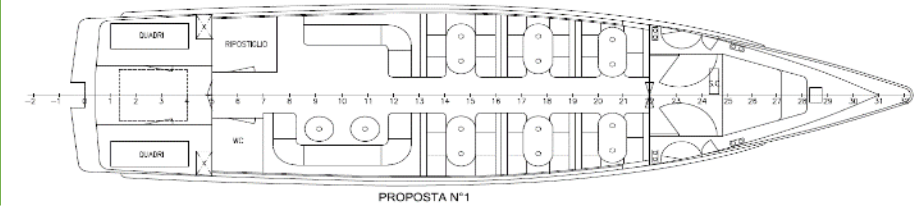
Es wurde die teuerste Massgabe (hinsichtlich Gewicht und Ausmasse) untersucht und die gesetzlichen Vorgaben hinsichtlich Freibord und Stabilität wurden geprüft.

2- EINSATZPROFIL

Es wurden Studien zu den Leistungsprognosen durchgeführt, um die Investitionen zu optimieren und eine «massgeschneiderte» Konfiguration des Einsatzprofils jeder Einheit zu schaffen, die die erforderliche Passagierkapazität, Autonomie und Betriebsgeschwindigkeit garantiert.

3- NEXT STEP

Die erforderlichen Unterlagen werden dem BAV zur Genehmigung unterbreitet.



CARATTERISTICHE PRINCIPALI:

LUNGHEZZA FUORI TUTTO	17,35 m
LARGHEZZA ALLA 1 ^a FUSOLAIATA	10,40 m
LARGHEZZA MAX FUORI CASSERIA	4,15 m



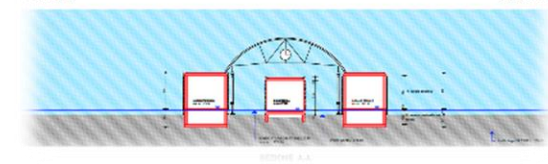
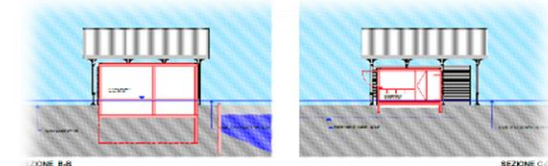
Grazie



1 – Der ökologische Wandel muss durch ein Projekt zur Umgestaltung des Unternehmens geleitet werden

2 – betrifft alle Berufe und die Ausbildung ist integraler Bestandteil des Projekts

3 – muss langfristig geplant und auf die technologische Entwicklung gestützt werden





Ralf Hofer

**Fachbereichsleiter Klimatechnik,
Akustik und Aerodynamik, SBB**

R290 eine natürliche Alternative zu synthetischen Kältemitteln für Bahnklimageräte

Dr. Ralf Hofer PP-UHR-FSY-EUE-KT
Solothurn, 30.11.2023



Kältemittel-Reglementierungen

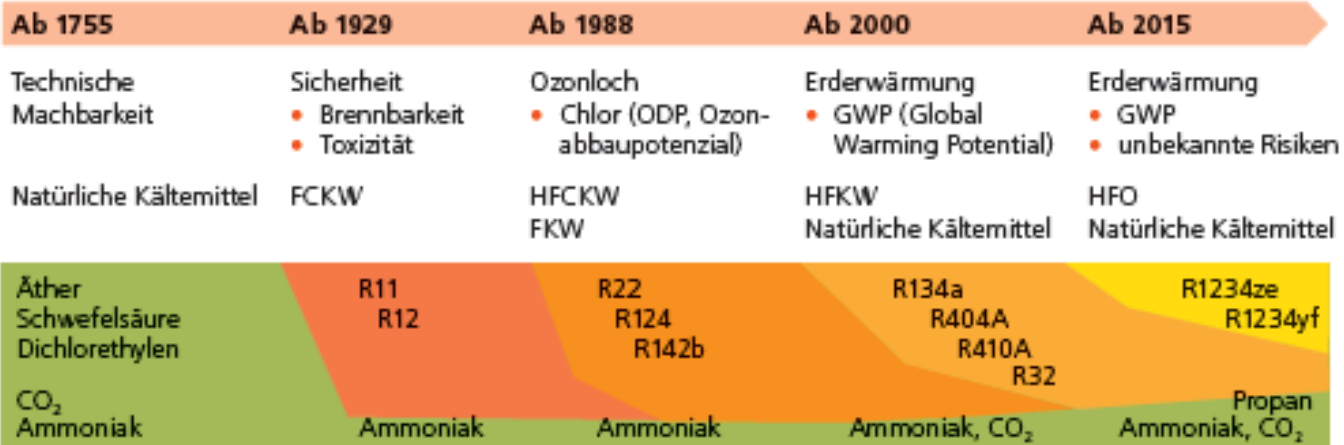
Reglementierungen

Montreal
Protokoll
1987
 FCKW-
Verbot 1994
CH (StoV)
 HFCKW-
Verbot
2000
 Verbot in
der Luft
stabiler
Stoffe
2004
 F-Gase
Verordnung
(EG) Nr.
517/2014
 Kigali
Amentment
2016
 Nouvel-
lierung
F-Gase
2023

Thema

Schwerpunkt

Kältemittel



Die industrielle Kältetechnik beginnt mit natürlichen Kältemitteln, wie z.B. NH₃. Diese sind mit wenigen Ausnahmen nicht ungefährlich. Einige sind explosiv, andere sind giftig. Aus dem Wunsch nach mehr Sicherheit entstanden etwa ab 1929 die synthetischen Kältemittel (FCKW, HFCKW, HFKW), die weniger gefährlich sind in der Handhabung. Erst später erkannte man, dass sie die Umwelt bedrohen.



Kältemittel mit Chlor schädigen die Ozonschicht. Daher sind die ozonschichtabbauenden Kältemittel (FCKW, HFCKW) seit 1994/2000 verboten.

Bei SBB wurden im Zeitraum 1995-2009 die Klimakälteanlagen sämtlicher EWIV-/EC-Reisezugwagen, der Re450 und Re460 vom Kältemittel R12 auf R134a mit einem speziellen Refit-Verfahren mit mehreren Spülvorgängen umgerüstet.

Kältemittel-Reglementierungen (Ist-Stand)

Fluorierte Treibhausgase (HFKW/FKW) wirken sich je nach Substanz sehr stark auf das Klima aus, der Effekt ist 100- bis 24.000-mal höher als bei Kohlendioxid (Vergleichsmassstab).

Die wichtigsten Treibhausgase

Treibhausgase sind Gase in der Erdatmosphäre, die den Wärmehaushalt der Erde verändern. Zu den wichtigsten zählen:

Kohlendioxid	Methan	Distickstoff-oxid	Fluorierte Treibhausgase
CO_2	CH_4	N_2O	HFKW, FKW, SF_6 , NF_3
Quellen:			
Verbrennung fossiler Brennstoffe, Industrie, Abholzung	Reisanbau, Viehhaltung, Mülldeponien, Klärwerke, Verbrennen von Biomasse	Künstliche Düngemittel, Viehhaltung, Verbrennen fossiler Brennstoffe	nicht natürlich; Kühlmittel, Lötlösungsmittel oder in Schallschutzfenstern

Der Treibhauseffekt

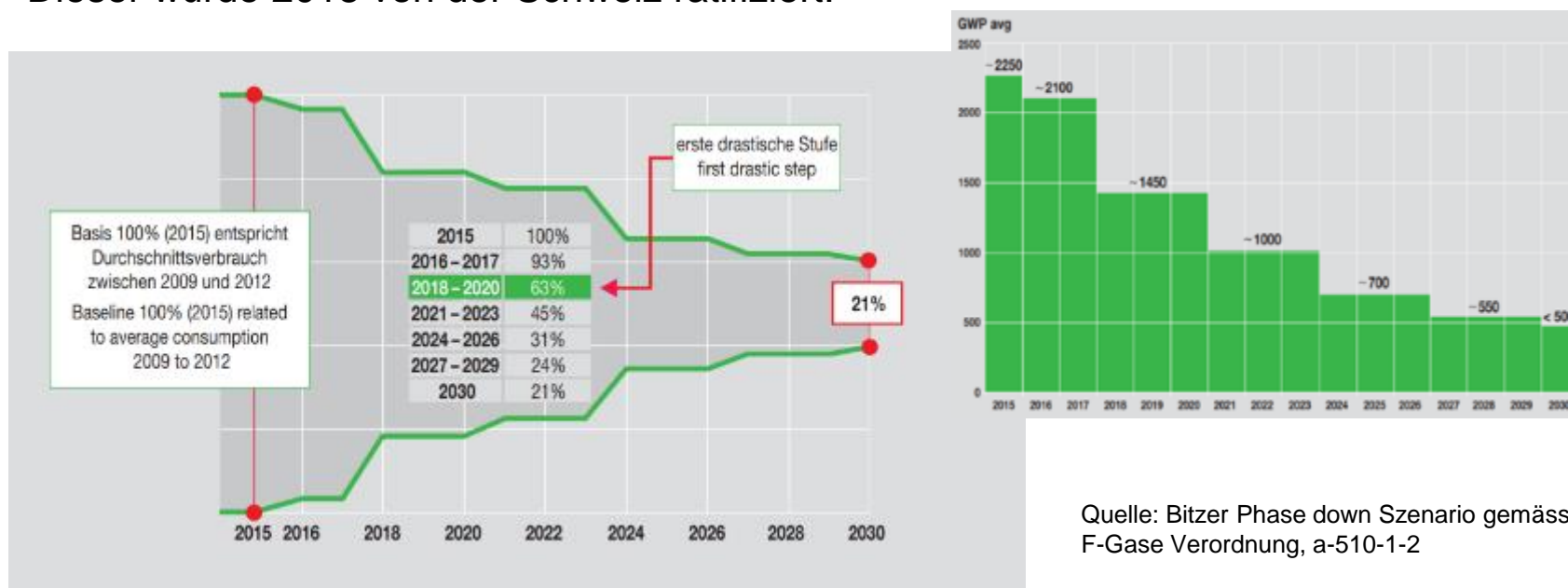


vereinfachte Darstellung

Quelle: dpa, UBA, WWF, WMO

t-online.de

Die europäische **F-Gase Verordnung (EG) Nr. 517/2014**, der auch die **ChemRRV (SR 814.81)** folgt, sieht eine stufenweise Reduktion des Verbrauchs von fluorierten Kohlenwasserstoffen (FKW/HFKW) bis 2030 um 79 % vor. Im **2016** wurde auf der **UN-Konferenz von Kigali** der langfristige weltweiten HFKW/FKW - Ausstieg beschlossen. Dieser wurde 2018 von der Schweiz ratifiziert.

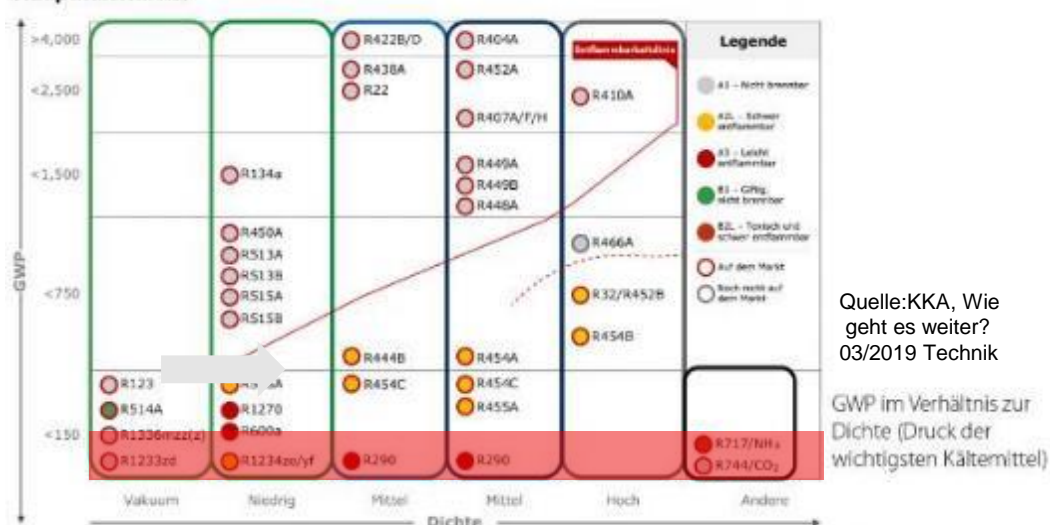


Verfügbarkeit des bei SBB P hauptsächlich angewendeten R134a ist bislang gewährleistet. Kosten seit 1. Reduktionswelle steigend

Nouvellierung F-Gase Verordnung Trilog Einigung 10/23



Hauptkältemittel



Kältemittel mit Kohlenstoffteilen (KW, FKW, HFKW); GWP im Verhältnis zur Dichte (Druck) der wichtigsten Kältemittelgruppen

Kältemittel die nach **2027 mit GWP<150** am Markt zur Verfügung stehen



EU-Parlament & –Rat haben sich auf einen Kompromissvorschlag zur F-Gase Verordnung geeinigt, der wie folgt aussieht:

- **2050 Beschleunigter Phase-Down** der zur Verfügung stehenden fluorierten Treibhausgasemissionen **bis Netto Null**
- **2027 Verbot** von neuen stationären Kälteanlagen, Monoblöcken/Klimageräten mit fluorierten Kältemitteln **GWP>150**, so auch R134a sowie **komplettes F-Gase Verbot** für diese Produkte ab **2032**
- **2027 Verbot von Split-Luft-Wasser-Wärmepumpen & -Klimageräten** mit F-Gasen **GWP>150** sowie von Split –Luft-Luft-Wärmepumpen ab **2029** sowie ein **komplettes F-Gase Verbot** ab **2035**.
- **2030 Verbot** stationärer Kälteanlagen (Ausnahme Chiller) F-Gase **GWP>150**
- **2032 Service- und Wartungsverbot** für stationäre Kälteanlagen **GWP>750**, recyceltes Kältemittel ausgenommen.
- **2035 F-Gase Produktion wird neu bis 15% reduziert**, Angebot sinkt weiter.
- **§10c: Klimaanlage & Kühleinrichtungen in Transportmitteln** haben besonders hohe Leckraten aufgrund der beim Transport auftretenden Vibrationen. Die Verordnung verpflichtet Betreiber zur Durchführung von **Leckagekontrollen/** Installation von Leckerkennungssystemen & Rückgewinnung
- **§6a Verweis zur PFAS Regulierung** die 2023 noch verabschiedet wird. **HFOS (Hydrofluorolefine)**, gehören zur **Stoffgruppe der PFAS**. Die nachweislich toxisch für Umwelt & Menschen sind. Einige PFAS lassen sich mit herkömmlichen Methoden nicht aus Boden und Wasser entfernen, weshalb Wasserversorger schon seit Jahren ein Verbot bestimmter PFAS fordern.
- **§32 Ab 2028 ist die Einfuhr und Ausfuhr** von HFKW sowie von Produkten und Einrichtungen, die HFKW enthalten **verboten**.

Situation Kältemittel in der Schweiz

ChemRRV SR841.81, Anhang 2.10 / Ausgabe 1.6.23 – definiert Stoffe u. -gruppen, welche aufgrund ihrer Wirkung auf die Ozonschicht und das Klima (GWP) als Kältemittel verboten oder nur begrenzt zugelassen sind.

- Details der aktuellen Situation siehe [Kältemittel \(admin.ch\)](https://www.admin.ch/kaltemittel)
- Klimaanlage in Schienenfahrzeugen wurden bislang nicht explizit erwähnt.
- **Seit 2020 gilt bereits das Verbot von Kältemitteln mit einem GWP ≥ 2500 für Neuanlagen** (Füllmenge ≥ 40 t CO₂-Äquivalent) und **ab 2030 ein Nachfüllverbot** mit recycelten Kältemittel.

Im Sommer 2023 wurde die Vernehmlassung zur Überarbeitung der Chem RRV geführt.

In der in Vernehmlassung befindlichen **Überarbeitung der ChemRRV, Inkrafttreten voraussichtlich ab 1.5.2024**, werden in Kapitel 2.1 Verbote unter Punkt d. erstmals **«Klimaanlagen, die in Motorfahrzeugen, Schienenfahrzeugen und Schiffen»** verwendet werden eingeschlossen.

Betroffen von Verboten wären dann Kälteanlagen mit luftgekühlten Verflüssigern und einer Leistung >50 kW, bei denen Kältemittel mit **GWP > 750** zur Anwendung gelangen.

Im Kapitel 2.2 Ausnahmen sind auch dann Ausnahmegewilligungen möglich, wenn:

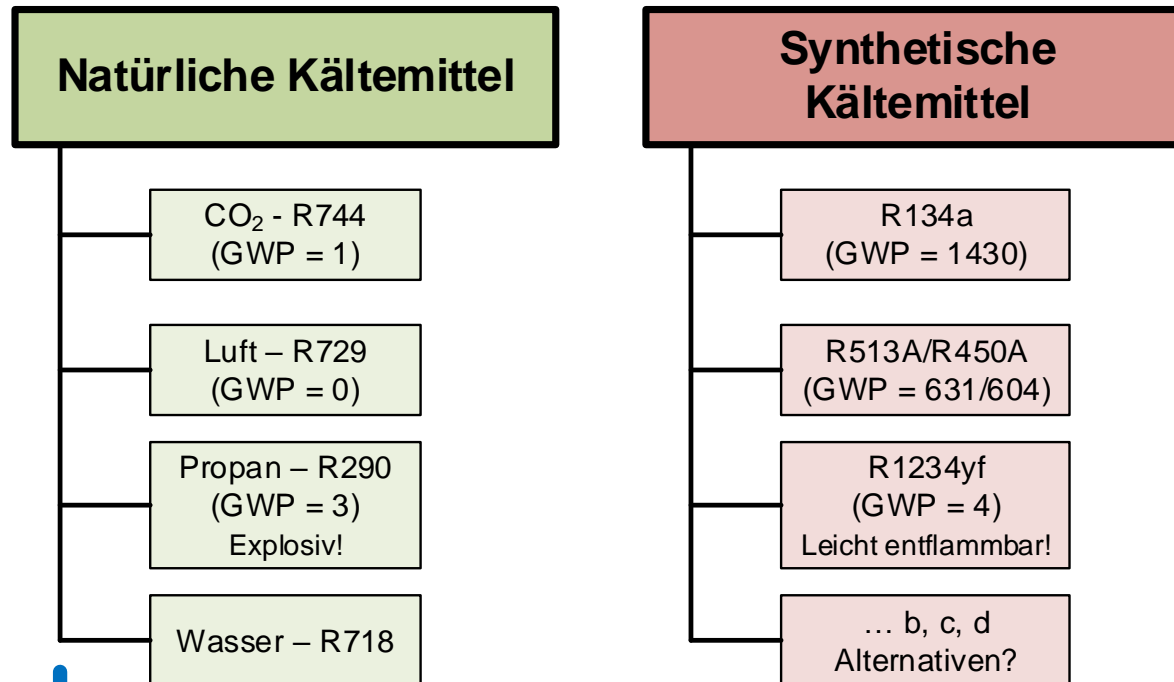
- a. nach dem Stand der Technik ein Ersatz fehlt;
- b. das Kältemittel ein Ozonabbaupotenzial von höchstens 0,0005 aufweist; und
- c. die nach dem Stand der Technik verfügbaren Massnahmen zur Vermeidung von Emissionen des Kältemittels getroffen worden sind.

Massgebend für die Vorlage der ChemRRV ist lt. BAFU die EU Gesetzgebung. Da es noch Entwicklungen in der EU gegeben hat (Nouvellierung), wird die Verordnungsänderung anders ausfallen, als die Fassung, die in die Vernehmlassung gegeben wurde. Konsultationen mit der Branche laufen.



Konsequenzen aus Kältemittel-Reglementierungen

Quo vadis – Kältemittel?



Welche Technologie ist die richtige für die Zukunft?

Kältemittel Alternativen (Gefahrenklassen)

- A1 Kältemittel (Synthetisch: Gemische R450A, R513A, R513B,
Natürlich: R744-CO₂, R729-Luft)

- A2L Kältemittel (R1234yf, R1234ze)
- A2 Kältemittel (R152a)
- A3 Kältemittel (R290a - Propan, R1270 - Propen)

Brennbar

	ungiftig	giftig	→ Kennbuchstabe = Toxizität	A wenig giftig
			→ Kennzahl = Brennbarkeit	1 nicht brennbar,
unbrennbar	A1	B1	Klassifizierung nach ISO 817	
kaum brennbar	A2L	B2L		
brennbar	A2	B2		
explosiv	A3	B3		
			Klassifizierung der Kältemittel gemäss ISO 817	

A wenig giftig
1 nicht brennbar,
2L medium entflammbar,
2 entflammbar,
3 explosiv



Kältemittel Alternativen im Vergleich (Auswahl wesentl. Kältemittel für den Bahnklimabereich)

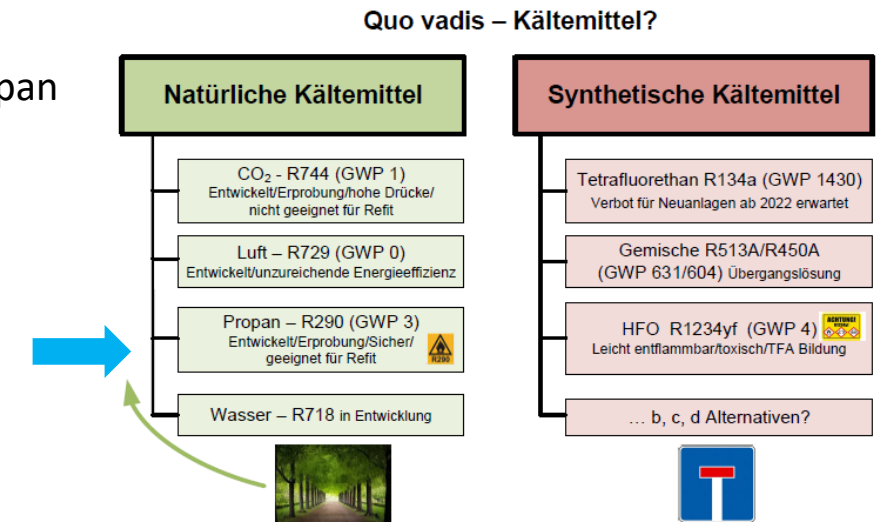
Merkmale	Ökologisch	Thermisch	Chemisch	Physiologisch
Ideale Eigenschaften	Niedriger GWP-Wert (<10) ODP = 0	Hohe Kälteleistung Guter Wärmeübergang Niedrige Drucklage	Zustandsstabil im Kältekreislauf keine Gefährdung bei Leckage keine Zersetzung	Keine Toxizität, keine Gesundheitsgefahr
Kältemittel				
R-134a (HFKW)	GWP = 1430 ODP = 0		Stabil HF Bildung an Heizelementen	MAK=1000
R-1234yf (HFO)	GWP < 5 ODP = 0	Vergleichbar zu R-134a	Langzeitstabilität in Prüfung bei Temperatur > 250°C HF-Bildung TFA-Bildung bei Zerfall in Luft Brennbar	MAK = 200
R-290 (HC)	GWP = 3 ODP = 0	Vergleichbar zu R-134a Wärmepumpe erweitert bis -20°C	Stabil keine hochtoxischen Stoffe bei Reaktion (H ₂ O und CO ₂) Brennbar	MAK=1000
R-729 (Luft)	GWP = 0 ODP = 0	Geringe Wärmekapazität niedrige Leistungszahl Temperaturgleit	Gesundheitlich unbedenklich	
R-744 (CO ₂)	GWP = 1 ODP = 0	Max. Druckniveau von ca. 140 bar	Stabil Nicht brennbar	MAK=5000

Quelle: Faiveley-Wabtec

Das der Automobilindustrie 2011 verordnete synthetische Kältemittel R1234yf (HFO-Hydrofluorolefine) wird in immer stärkeren Konzentrationen in der Atmosphäre nachgewiesen (EMPA 2018). Es ist extrem wasserlöslich, algengiftig & enthält schwer abbaubare Trifluoressigsäure (TFA), die über Niederschlag in Gewässer gelangen, dies belegen Untersuchungen in D (UBA) sowie CH (EMPA). TFA ist in der Natur praktisch nicht mehr abbaubar (persistent).

Fahrzeugbeschaffungsprojekte

- Bereits **seit 2018** wurden bei SBB auf der Basis von **Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen Vergleiche** zu möglichen Alternativkältemitteln, wie CO₂, Luft, Propan sowie synthetischen Kältemitteln, wie HFO und Blends geführt.
 - Aufgrund des geringen GWP's von R290 (3) sowie weiterer Vorteile, wie:
 - geringe Kältemittel-Füllmasse,
 - hoher spezifischer volumetrischer Kälteleistung,
 - möglicher WP-Anwendungem mit hohem COP und breitem Einsatztemperaturbereich,
 - überschaubaren Kosten für Kältemittel etc.
- hat sich SBB daraus resultierend im Rahmen des Beschaffungsvorhaben einstöckiger Regionalverkehrszüge (heutige FLIRT Evo) entschieden **natürliche Kältemittel mit einem GWP <10 zu fordern**.
- Im Ergebnis der Angebotsbeurteilungen wurden von allen damaligen Anbietern R290 Kälte-/Klimageräte angeboten.
 - Damit waren die Voraussetzungen gegeben für neue Fahrzeuge originär R290 als Kältemittel einzuführen. Der damit erfolgte Entscheid wird zukünftig das Basis-Kältemittel bei SBB sein, da es nicht erstrebenswert sein kann heterogene Kältemittel auf den Fahrzeugflotten anzuwenden.
 - Diesem Trend folgen mittlerweile auch andere EVU wie DB und ÖBB



STADLER

MERAK

Flirt Evo Fahrzeughersteller Stadler, Klimageräte-lieferant MERAK, KKG's FAI durchgeführt

Prototypentwicklung Refit eines FLIRT RABe523 KKG auf R290

Ausgehend von zukünftigen Kältemittelverboten /-verknappungen wurde die Frage gestellt - Warum nicht ein bestehendes Klimagerät einem Refit zuführen?

Mittels Lastenheft (120 Anforderungen) wurden u.a. folgende Randbedingungen vorgegeben:

- **Baugleiche Schnittstellen** sowie analoge Leistungsfähigkeit (Kälte und Luftvolumina)
- Software analoge Betriebsarten und Funktionen, evtl. Anpassungen DDS
- **Rückwirkungsfreiheit** in Bezug auf Energieversorgung sowie analoges akustisches und Vibrationsverhalten
- **Definierte Vorgaben zur Ausführung der Kälteanlage**
- **Sicherheits-/Risiko- und Zündquellenanalysen**, Zulassungsdokumentationen im Entwicklungsprozess
- **Typentest** des Refit-Klimagerätes sowie FAI
- **Schulungen** Systemverantwortliche und Personal in Instandhaltung und Werkstätten
- **Komplette Nachweisführung und Dokumentation**

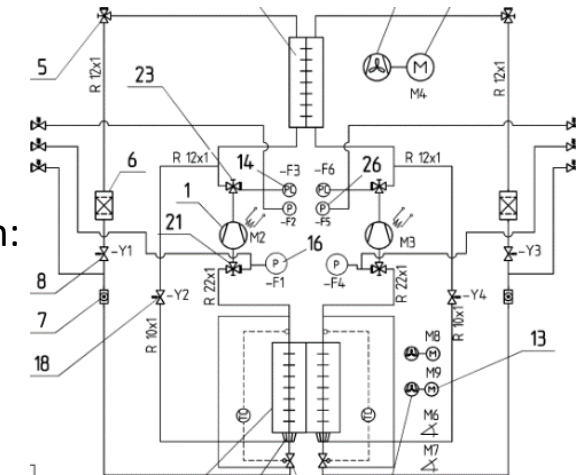


Abb.: Kältekreislaufschem R134a

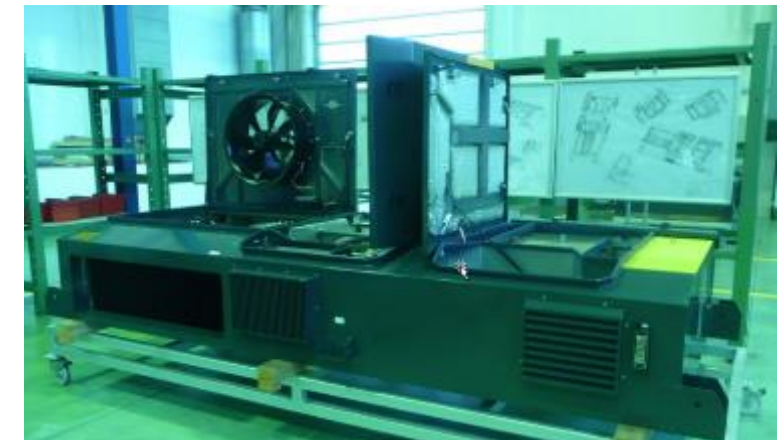


Abb.: KKG Flirt der Baureihe SBB-Art.-Nr.: 723-56-617

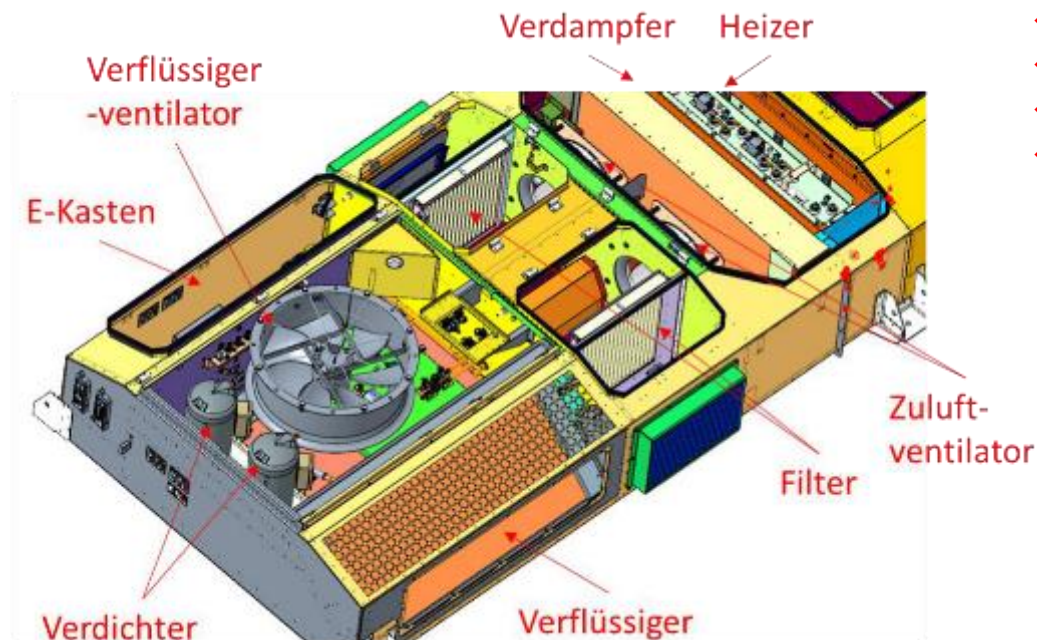
Infos zu Ausführung R290 - Klimageräte

- a. **R290 wird als explosiv, leicht entflammbar, mit geringer Toxizität eingestuft - Kältemittelgruppe A3.**
Selbstentzündungstemperatur 470°C, Untere Explosionsgrenze bei R290: 1.7 Vol.-% oder 38 mg/m³ in Luft
- b. Die Kälteanlagen sind gemäss SN EN 378-1 / TRGS 722 «**dauerhaft technisch dicht**» ausgeführt. (SUVA 2153 Explosionsschutz) - Begriffe nach TRGS 722
 - ...technisch dichte Anlagenteile**
 - es sind seltene Freisetzungen an Anlagenteilen zu erwarten
 - betriebsbedingte Freisetzungen => Massnahmen erforderlich (z.B. Lüftung, Ex-Zonen)
 - ...auf Dauer technisch dichte Anlagenteile**
 - es sind keine Freisetzungen an Anlagenteilen zu erwarten
 - keine betriebsbedingten Freisetzungen => keine Massnahmen erforderlich
- c. **Limitierte Füllmasse an Kältemittel** pro Kältekreislauf, um nicht unter die Vorgaben der SUVA 66139 Kälteanlagen und Wärmepumpen sicher betreiben sowie EKAS 6517 Richtlinie Flüssiggas zu fallen
- d. Dichtheitsprüfung Kältekreislauf nach SN EN 378-2 – mindestens 1 x Jährlich, wie bereits in ChemRVV mit Lecksuchgerät gefordert, sollte beibehalten werden - Empfehlung
- e. Arbeiten an R290 KKG bei Gaskonzentrationen >25% UEG (LFL) ausserhalb und innerhalb der Klimageräte sind gemäss EN378-3 sofort einzustellen. Erfassung mit Gasdetektor / Lecksuchgeräten für R290

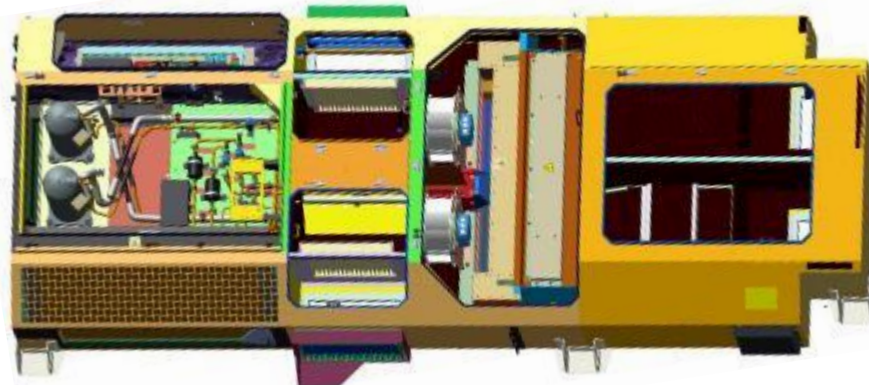


Kennzeichnung EN ISO 7010-W021

Darstellung der Hauptkomponenten

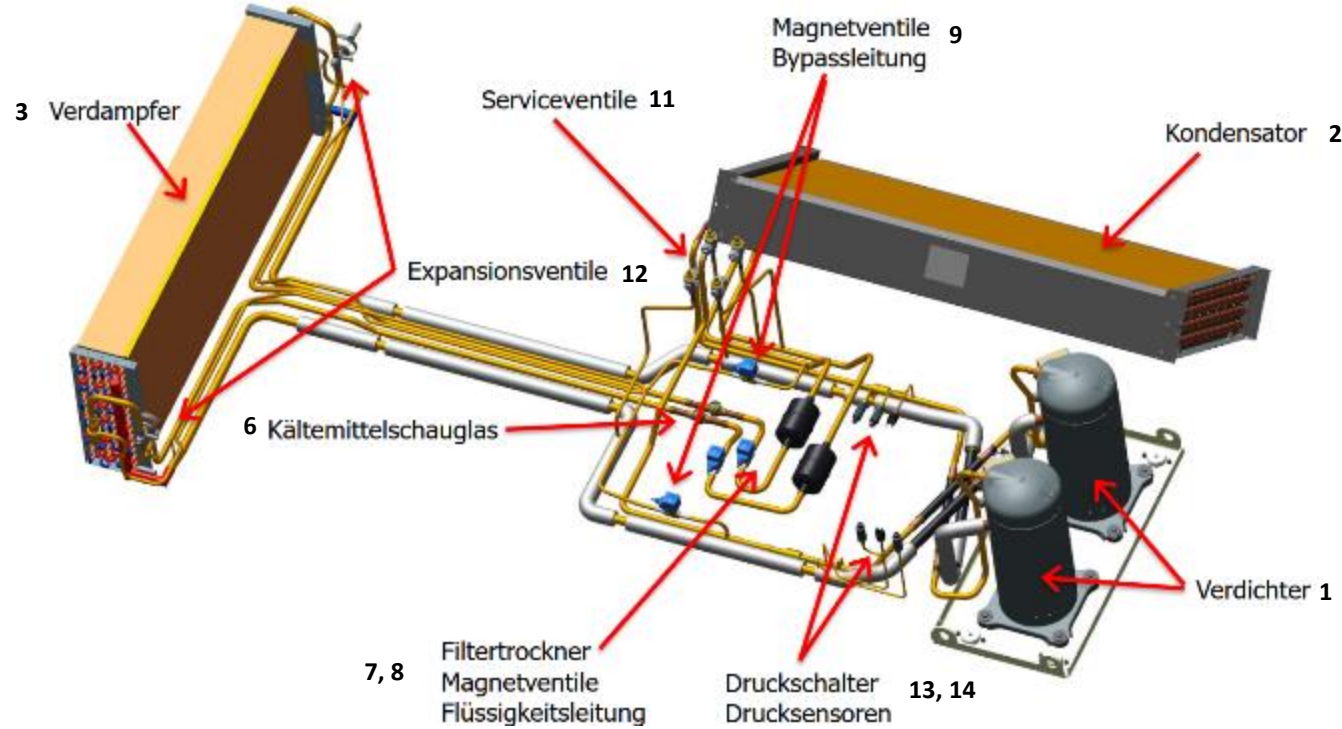


- ❖ Nahezu alle Komponenten des Kältekreislaufes wurden ersetzt
- ❖ E-Tafel wurde gegenüber Kälteteil abgeschottet
- ❖ Verdampfer ist neu mit Kupferrohren / Aluminiumlamellen ausgerüstet.
- ❖ Kammerung kältemittelführende Teile zu Komfortseite



Quelle: FTL / Wabtec

Kältekreislauf mit R290



- 1 Verdichter
- 2 Verflüssiger
- 3 Verdampfer
- 4 Verflüssigerlüfter
- 5 Zulüfter
- 6 Kältemittelschauglas
- 7 Filtertrockner
- 8 Magnetventil Flüssigkeitsleitung

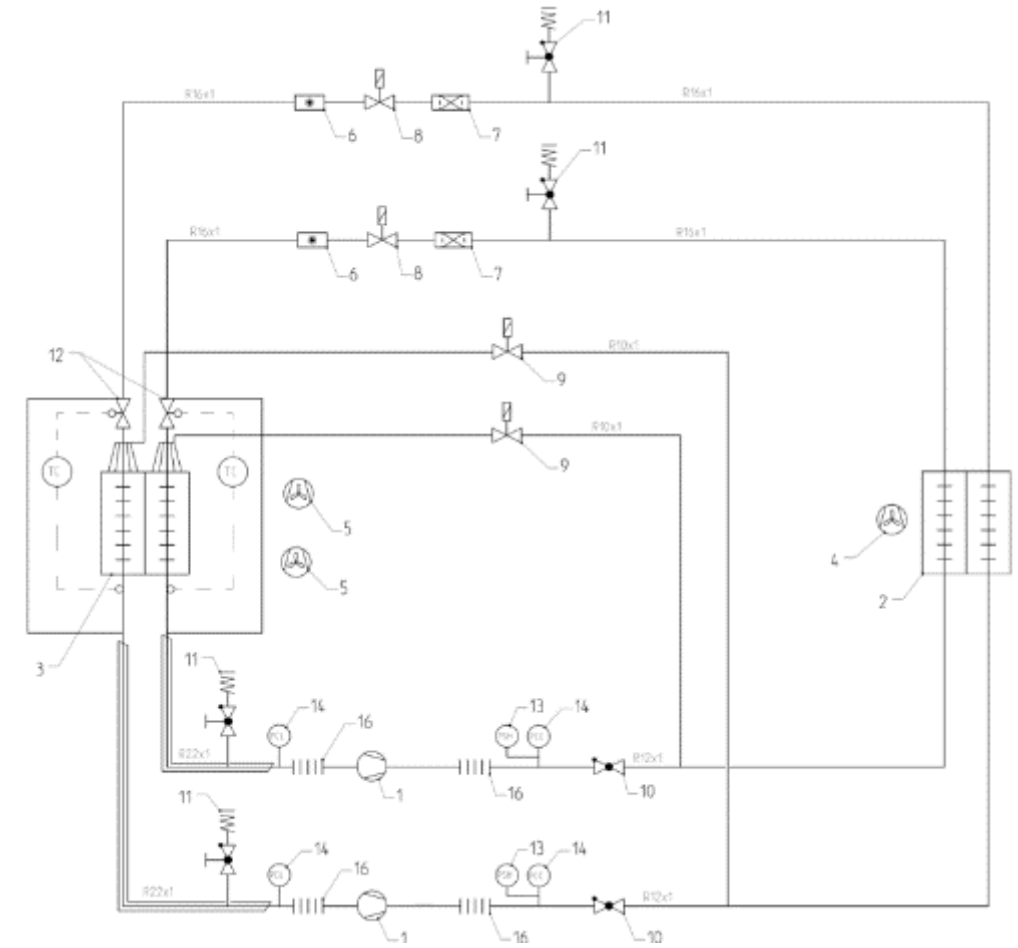
- 9 Magnetventil Bypassleitung
- 10 Rückschlagventil
- 11 Serviceventil
- 12 Expansionsventil
- 13 Druckschalter
- 14 Drucksensor
- 15 Rohrschwingungsdämpfer
- 16 Rohrschwingungsdämpfer



Vollhermetisches Magnetventil



Serviceventil (Absperr-Kugelhahn mit zusätzlichem Schraderventil-Einsatz)



Quelle: Faiveley-Wabtec

VVA & Anordnung Kältemittelrohrleitungen



VVA –Geräteteil

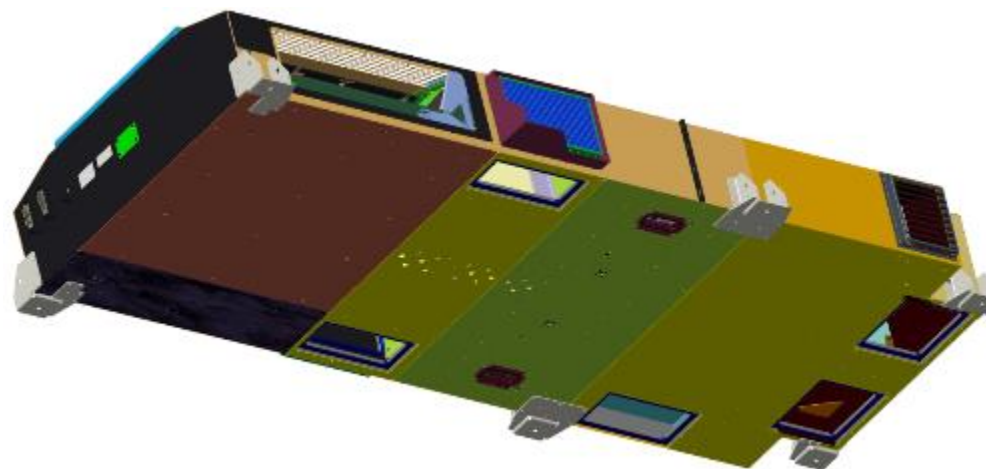


Mg.-Ventile / Filtertrockner



Service-Zone

Entwässerung /
Entgasung unter das
Klimagerät



Rohrdurchführung ohne Lötverbindungen

Quelle: FTL / Wabtec

Technische Daten Klimagerät R134a / R290



Messgröße			Nominaler Auslegungspunkt 35°C Kühlen 100% - 2 Verdichter; 0 Bypass				
			Soll	Ist S67T		Ist F39C	
				Kreis 1	Kreis 2	Kreis 1	Kreis 2
Test-Nr. Typtest:			---	---		5.3.1(1)	
Luftdruck	p _A	mbar	---	1004		997	
Umgebungstemperatur	t _{CAir1}	°C	35,0	35,0		35,5	
Zuluftvolumenstrom gesamt	V _{SUP}	m³/h	2800	2791		2819	
Lufttemperatur Eintritt Gerät	t _{MIA}	°C	30,0	30,1		30,3	
Luftfeuchte Eintritt Gerät	φ _{MIA}	%	53,0	52,8		53,0	
Lufttemperatur Austritt Gerät (Zuluft)	t _{SUP}	°C	---	15,4		14,9	
Luftfeuchte Austritt Gerät (Zuluft)	φ _{SUP}	%	---	90,6		91,3	
Verdampfungsdruck	p ₀	bar rel.	---	3,1	3,1	4,7	4,8
Verdampfungstemperatur	t _{0r}	°C	11,0	9,5	10,0	6,3	6,9
Temperatur KM Verdampferaustritt	t _{02h}	°C	---	17,7	17,7	14,6	13,5
Überhitzung Verdampferaustritt	Δt _{02h}	K	---	8,2	7,7	8,3	6,6
Temperatur KM Verdichtereintritt	t _{0h}	°C	---	20,2	20,2	17,9	16,5
Temperatur KM Verdichteraustritt	t _{d1}	°C	---	79,3	77,1	84,2	82,9
Druck Verdichteraustritt	p _{d1}	bar rel.	---	13,3	13,7	19,6	19,8
Verflüssigungsdruck	p _{cu}	bar rel.	---	12,6	12,8	19,1	19,3
Verflüssigungstemperatur	t _{c'}	°C	53,0	51,3	51,8	57,5	58,0
Temperatur KM Verflüssigeraustritt	t _{cu}	°C	---	43,1	46,0	51,9	49,9
Unterkühlung Verflüssiger	Δt _{cu}	K	---	8,2	5,8	5,5	8,2
Temperatur KM vor Expansionsventil	t _{0UTEV}	°C	---	42,2	44,6	49,7	47,3
Kältemittelmassestrom Verdichter	m _R	kg/min	---	---	---	3,11	3,19
Kälteleistung (kältemittelseitig)	Q _R	kW	---	---	---	13,7	14,1
Kälteleistung (kältemittelseitig) gesamt	Q _R	kW	---	---		27,9	
Kälteleistung (luftseitig)	Q _{Air}	kW	22,0	24,3		26,3	
Spannung	U	V	400,0	401,9		400,1	
Stromaufnahme Verdichter	I _V	A	6,5	6,29	6,16	9,12	9,16
Wirkleistung Verdichter	P _W	kW	---	3,33	3,25	4,95	4,98
Scheinleistung Verdichter	P _S	kVA	4,5	4,38	4,28	6,32	6,36
Frequenz	f	Hz	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0

Klimagerät Ist-Zustand R134a

- Kälteleistung Soll: 22 kW / Ist: 24.3 kW
- Kältekreisläufe: 2
- Heizleistung: 14 kW
- Masse: 620 kg
- Füllmasse R134a: 2 x **4.4 kg**
- Einstellwert HD-Pressostat Ein/Aus: 16.5/22.5 bar

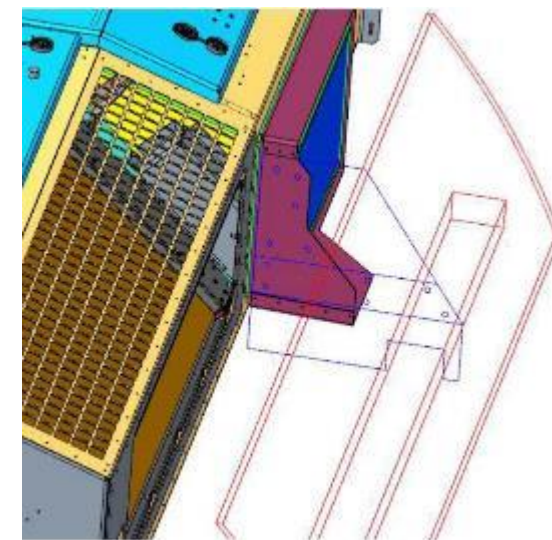
Klimagerät Refit R290

- Kälteleistung Soll: 22 kW / Ist: **26.3 kW**
- Kältekreisläufe: 2
- Heizleistung: 14 kW
- Masse: **633 kg**
- Füllmasse R134a: **2 x 1.08 kg**
- Einstellwert HD-Pressostat Ein/Aus: 21/28 bar

Ausströmversuche zur Vermeidung Ansaugung von Kältemittel am Aussenlufteintritt im Kältemittel-Leckagefall



Untersuchungen am Fahrzeug und im Versuchslabor



Lösungsansatz zur Vermeidung von Wiederansaugungen

Quelle: FTL / Wabtec

Meilensteine der Prototypenentwicklung

#	Meilensteine	Termin	Check
1.	Beauftragung der Firma durch die SBB AG	29.07.2022	✓
2.	Lieferung der beiden Kompaktklimageräte an die Firma	08.08.2022	✓
3.	Aktualisierung des Projektplans aus der Angebotsphase	08.08.2022	✓
4.	Design Review	03.02.2023	✓
5.	Design Freeze	08.03.2023	✓
6.	Erstmusterprüfung Prototyp bei der Firma	19./20.09.2023	✓
8.	Schulung der System- und Instandhaltungsverantwortlichen	30.10.2023	✓
7.	Prüfung und Erstinbetriebsetzung des Prototyps am Fahrzeug	30.10.-2.12. 2023	✓
8.	1. Betriebsphase	3.11.-17.11.2023	✓
9.	Klimakammertest bei hohen Lasten und Umgebungstemperaturen	17.11.-01.12.2023	
10.	Einsatz im Regelbetrieb	1.12.23-30.09.24	
10.	Befundung/Probezerlegung Prototypklimagerät im Werk Olten. Details zum	30.09.2024 bis 28.02.2025	
11.	Abgabe finale Dokumentation in allen Sprachvarianten (D, F, I)	30.09.2024 bis 28.02.2025	

Safety im Handling mit R290 Klimageräten ... Szenarien



Betrieb

Fahrzeugwerke (SA, Werke)

Lagerung

Komponenten-Werke (spezialisierte Werkstatt)

Sicherer Zustand: Kälteanlage dauerhaft technisch dicht (SN EN 378-1 / TRGS 722 / SUVA 2153)

Betriebsmodi

- Fz – Kommerz-Betrieb / Park-Modi / Überfuhr / Waschmodi / Reinigen / Instandhaltung
- EAO (Diagnose?)

Diagnose Betrieb

- Ruhedruck Überw./Alarm
- Prüflauf Füllmassebestimmung
- bei stabilen Bedingungen (bsp vor Fzg-IBN?)

Havarie / Ereignis / Störfall

- Vorsichtsmassnahmen

Instandhaltung

- Präventiv (T-/MR)
- Kurativ (K)
- Korrektiv

Diagnose Service Anlage

- Ruhedrucküberwachung (Tag /Nacht) – Problematik: Mehrtägige Auswertung notwendig
- Indikatoren

DDS-Meldung / Ereignisse

- HLK Kennzeichnung im Leckage-Fall / Freimessen
- Ausbau (Zustand?)
- Notfallkonzepte
- Anlage / Raumvolumen

Lagerort

- Service Anlage
- Zentrallager
- Klimafertigung

Lagerzustand

- D- Lager (Zustand: leer, teilgefüllt, befüllt)
- A- Lager (befüllt)
- Aus EB- Lager (neu)

Transport

- Intern SA und/oder Fahrzeugwerk
- Extern

Tätigkeiten mit Öffnung Kältekreislauf

- Störungsbehebung (Kennzeichnung KKG)
- Revisionen (MR) mit Komponententausch
- Anpassungen an der Anlage/Infrastruktur erforderlich

Mög. Gefahren Zündquellen:

- LFL (UEG) = 38 gr/m³
- Kritisch bei max. 25% = <10 gr/m³
- MAIN – stat. Ladung
- 470 °C Flammpunkt
- Elektrik / Funken / Überschlüge

Ausbildung (SN EN 13313) – Informationen / Notfallkonzepte

Unsicherer Zustand: Defekt, Havarie (Leckage Kältekreis unbestimmtes Ausmass)

R290 Anforderungen an Instandhaltung

Beschaffung für Propan geeigneter Werkzeuge und Hilfsmittel

- Propan (R290) gehört als brennbares Kältemittel der Sicherheitsgruppe A3 an, das macht die Anschaffung zusätzlicher Werkzeuge und Hilfsmittel erforderlich
- Erforderliches Werkzeug - vergleichbare Geräte sind auch für die R134a-Instandhaltung im Einsatz
 - mobile Propandektoren als persönliche Schutzausrüstung, so z.B. Dräger X-am® 2500 / 5000
 - Lecksuchgeräte mit Prüfflecks, so z.B. Lecksuchgerät Bosch CS LD 1.0, A1,A2L,A3 1,000 575,36 1 575,35 für KM, Mischungen, KWs, Formiergas, NH₃
 - Absauggeräte, so z.B. Absauggerät Bosch RG 4.0A 1-Zylinder
 - Vakuumpumpen, z.B. Vakuumpumpe RS3D-EX für Propan
 - Kältemittel-Recyclingflaschen
 - Monteurhilfen (analog, digitale Monteurhilfen)
 - Füllgerät, Vulkan Rockall HC



Danke für die
Aufmerksamkeit



Informationen zum Nachmittag

12.40 Uhr

Stehlunch

14.00 Uhr

Workshops

Raum

Workshop 1

Photovoltaik im öV – Anspruch vs. Wirklichkeit

Plenum

Marcel Reinhard und David Knechtli, SBB

Workshop 2

Emissionsarme Baustellen

3.OG

Sarah Weber, SBB und Angèle Zero, SOB

Workshop 3

Thermische Behaglichkeit im öV

3.OG

Johannes Estermann, SBB und Christine Schulz-Dübi, RBS

Workshop 4

Lithium-Ionen-Batterien: Rahmenbedingungen&Sicherheit 3.OG

Steffen Wienands, SBB

Lunchpause bis 13.55 Uhr

**Workshops starten um
14.00 Uhr**



Zusammenfassung Workshops

Marcel Reinhard und David Knechtli, SBB
Sarah Weber, SBB und Angèle Zero, SOB
Johannes Estermann, SBB und Christine Schulz-Dübi, RBS
Steffen Wienands, SBB

Fazit und Ausblick

Jubiläumsapéro

**Vielen Dank und
kommen Sie gut
nach Hause!**