

Studie Energieeffizienz M1

BAV
Universität Basel
OPDF, MRSF

- Was: Wege zur Reduktion des Energieverbrauch vorschlagen
- Wo: Rollmaterial M1
- Wer:
 - BAV
 - Universität Basel
 - tl (OPDF, MRSF)
- Wann: von 2018 bis 2022
- Wieviel: Gesamtbudget CHF 442 007



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra



Verkehrsangebot und Nachfrage (2021):

- 48 Buslinien
- 2 Metrolinien (M1 und M2)
- 1 Eisenbahnlinie (LEB)
- 96,1 Millionen Reisende
- 203 Millionen Personenkilometer
- 238 km betriebene Linien
- 1734 Angestellte



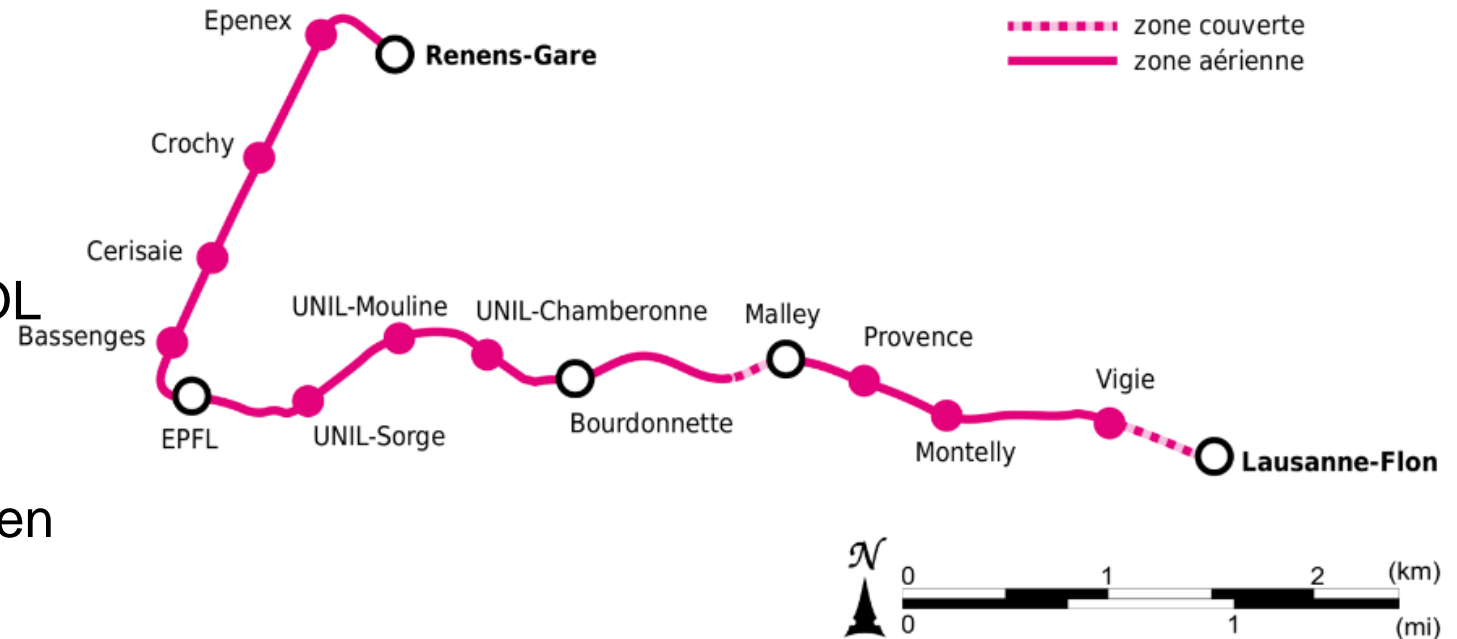
t1 – Horizon 2026

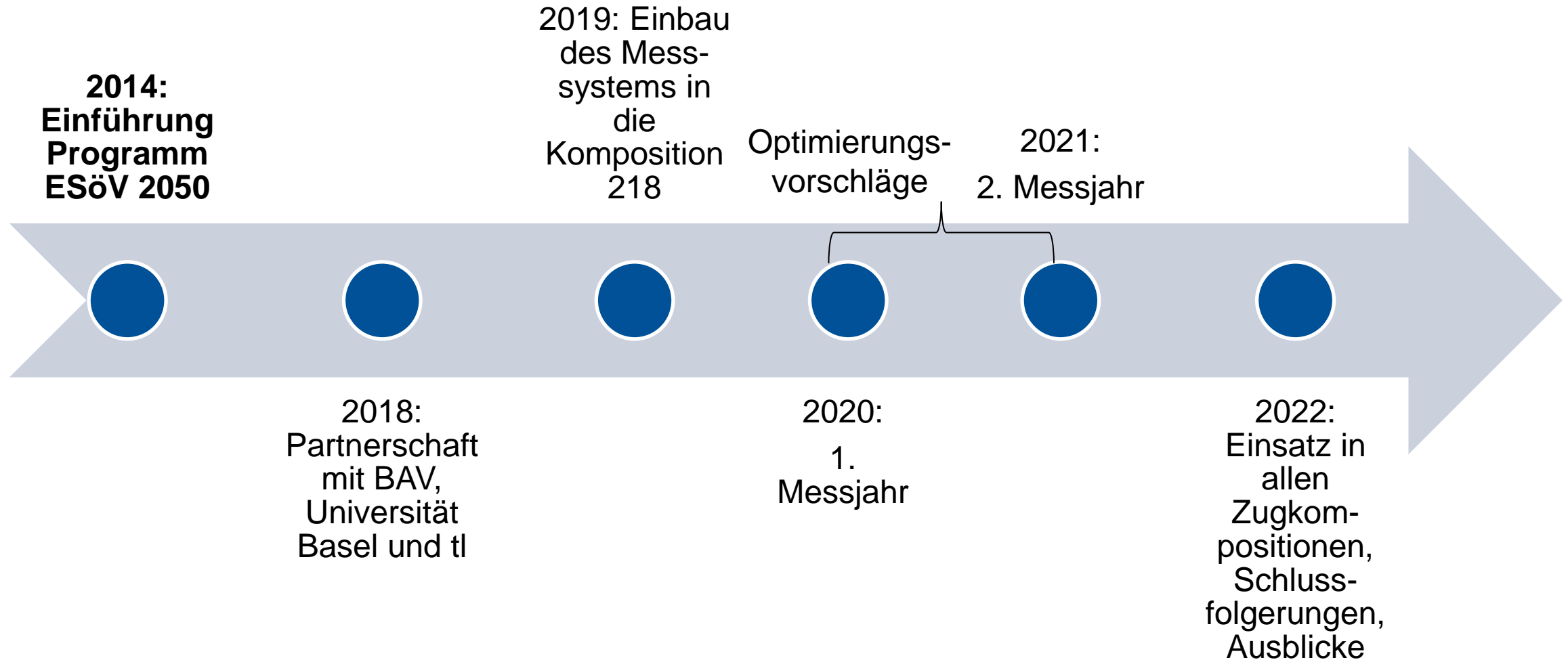


m3 – Horizon 2031

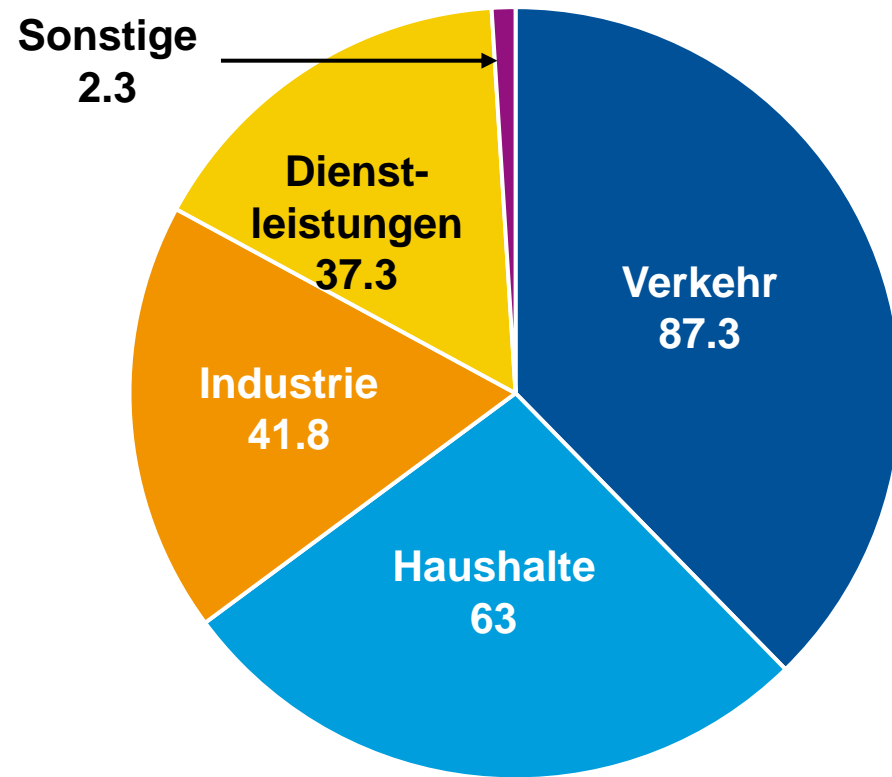
Verkehrsangebot und Nachfrage (2021):

- 7,8 km Einspur, SBB-Spurweite
- 15 Bahnhöfe
- Flotte von 22 Zugkompositionen TSOL
- Taktfahrplan alle 5 Minuten in Stosszeiten, 7,5 Minuten in Randzeiten
- Klimatisierung nur in der Kabine
- Bremsung elektrisch (Rückgewinnung und Rheostat), pneumatisch (Klötze) und magnetisch

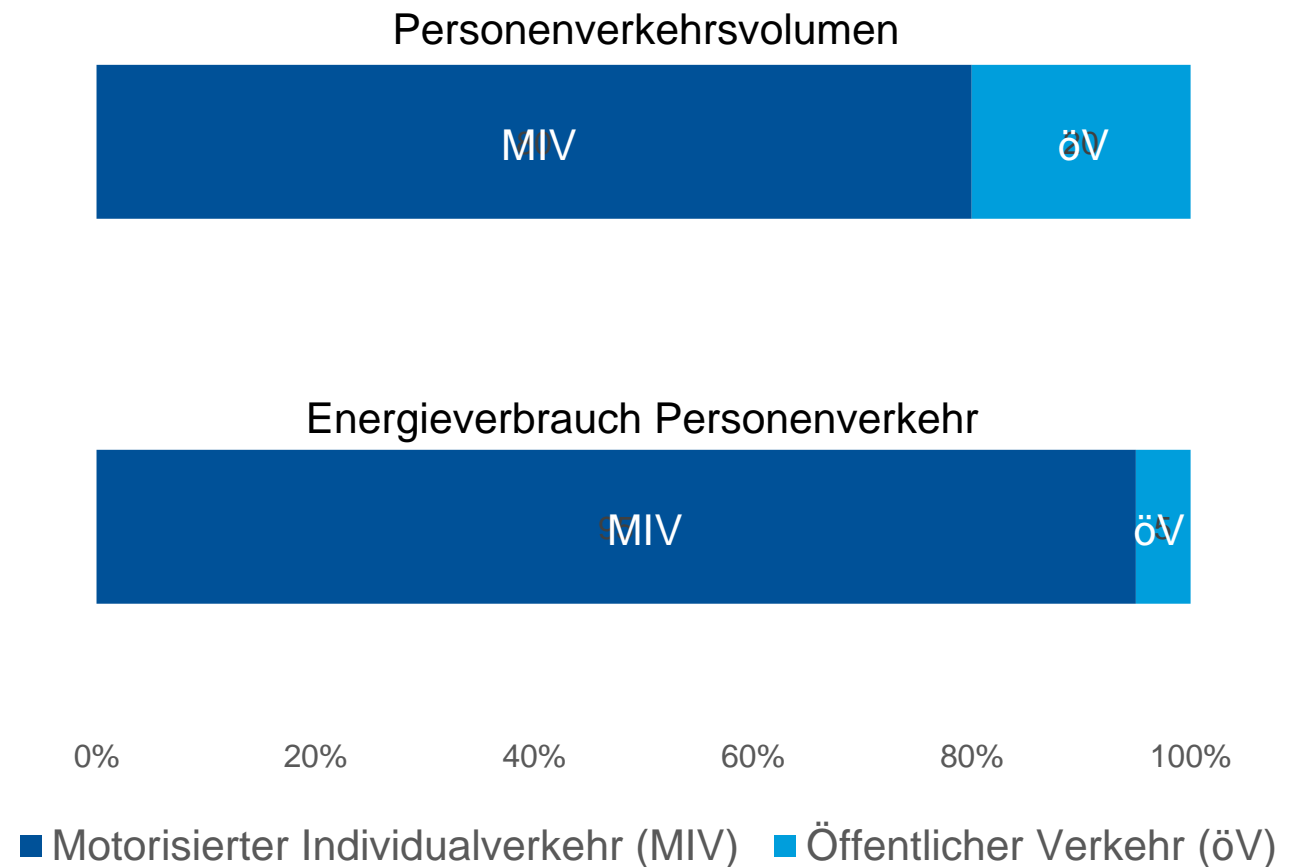


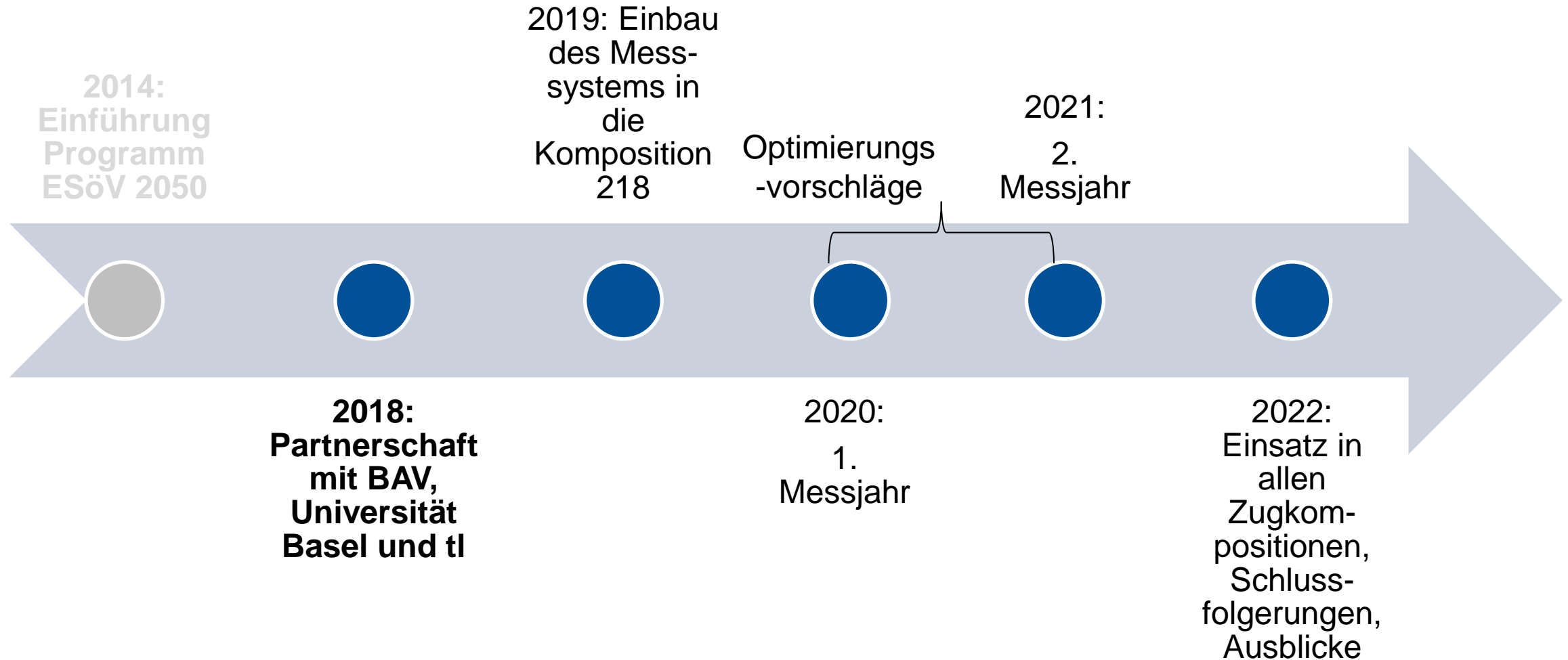


**Energieverbrauch in der Schweiz nach Sektoren in Milliarden kWh
(Quelle: BFE 2019)**



**Verkehrsleistungen und Energieverbrauch
(Quelle: BFS 2019)**





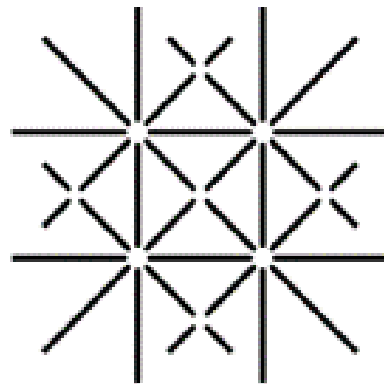
- Finanzierung (CHF 188 700)

- Erfahrung mit neuem Rollmaterial
- Standardisierung Massnahmen auf bestehendem Rollmaterial



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Verkehr BAV
Office fédéral des transports OFT
Ufficio federale dei trasporti UFT
Uffizi federal da traffic UFT

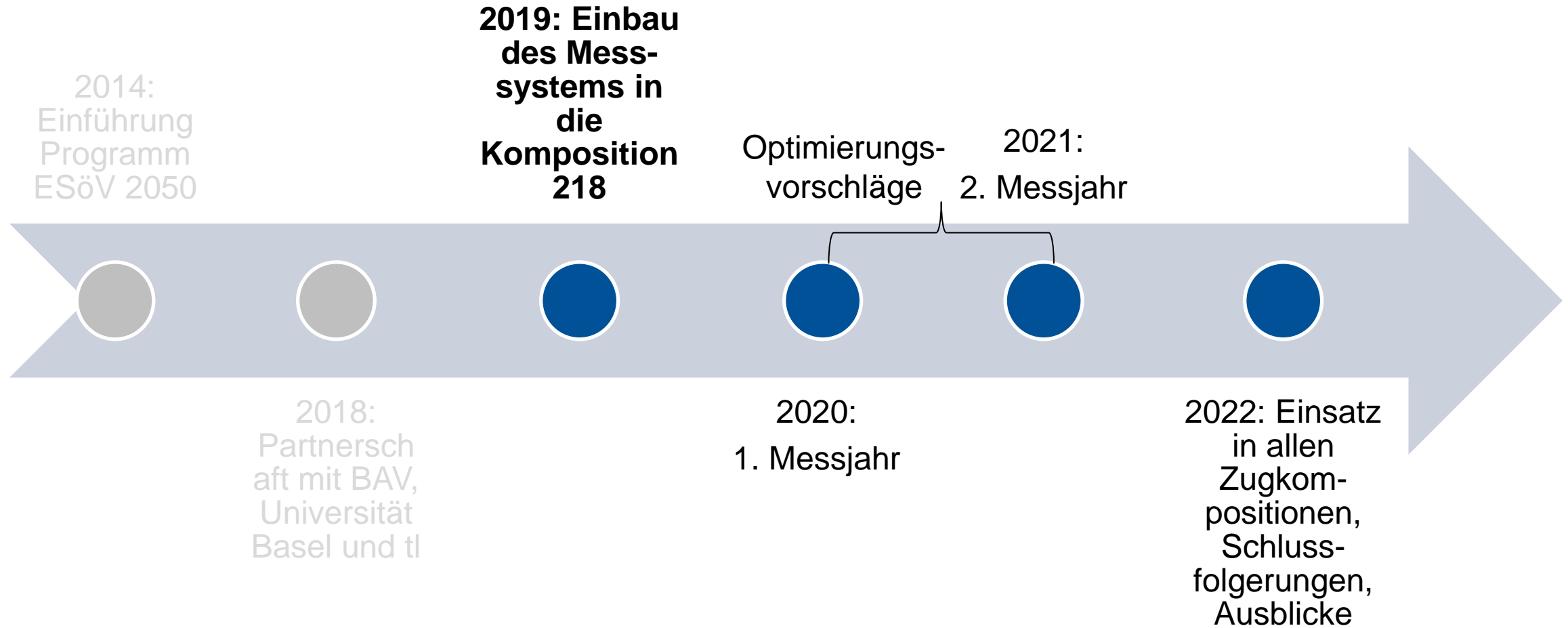


UNI
BASEL

- Finanzierung (CHF 226 246)
- Technik und Integration
- Ergebnis-analyse

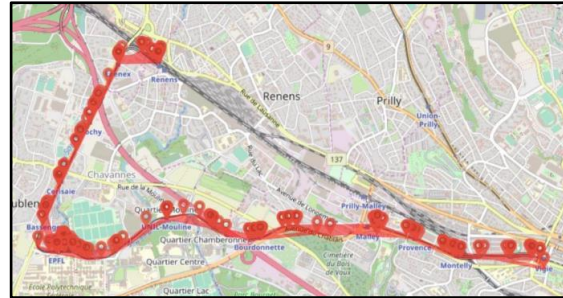


- Finanzierung (CHF 27 061)
- Einbau
- Projektleitung

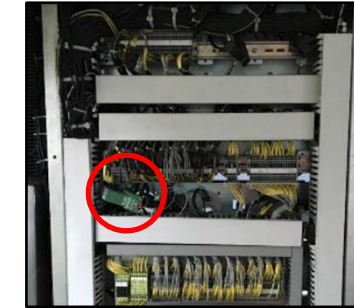




Überblick über die in Komposition 218 eingebauten Sensoren



Nachverfolgung der Komposition in Echtzeit



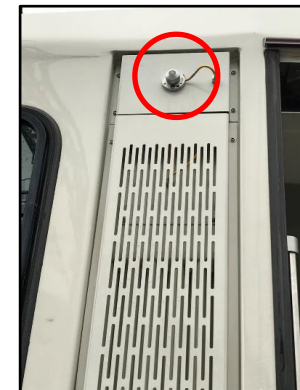
Stromsensor in einem Schrank in der Kabine



Temperatursensor



GPS- und Mobiltelefon-Antenne



Sonnenstrahl-sensor



Zentraleinheit des Messsystems

≈ 60 Sensoren, ausgewählt und integriert von der Universität Basel und eingebaut von OPDF:

- Messung der Aussenverhältnisse während des Einsatzes (Ort, Geschwindigkeit, Temperatur, Sonneneinstrahlung usw.)
- Messung des Stromverbrauchs der Ausrüstungen (Traktion, HVAC und Hilfsgeräte)

Aufgabe des Systems:

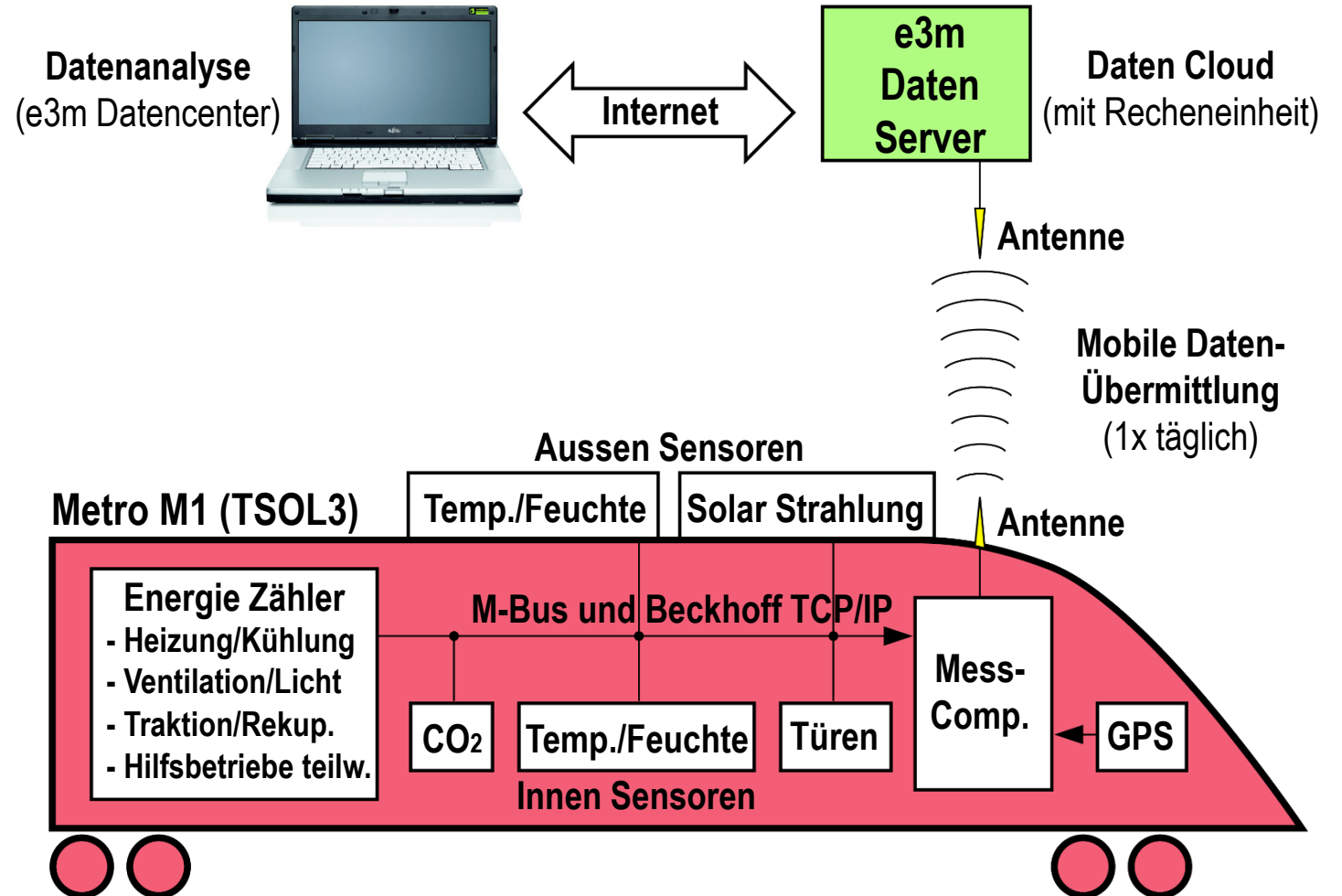
Langzeitmessung zur
Ermittlung, Umsetzung
und Überprüfung von
Energiesparmassnahmen

Partner:



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Verkehr BAV
Office fédéral des transports OFT
Ufficio federale dei trasporti UFT
Uffizi federal da traffic UFT

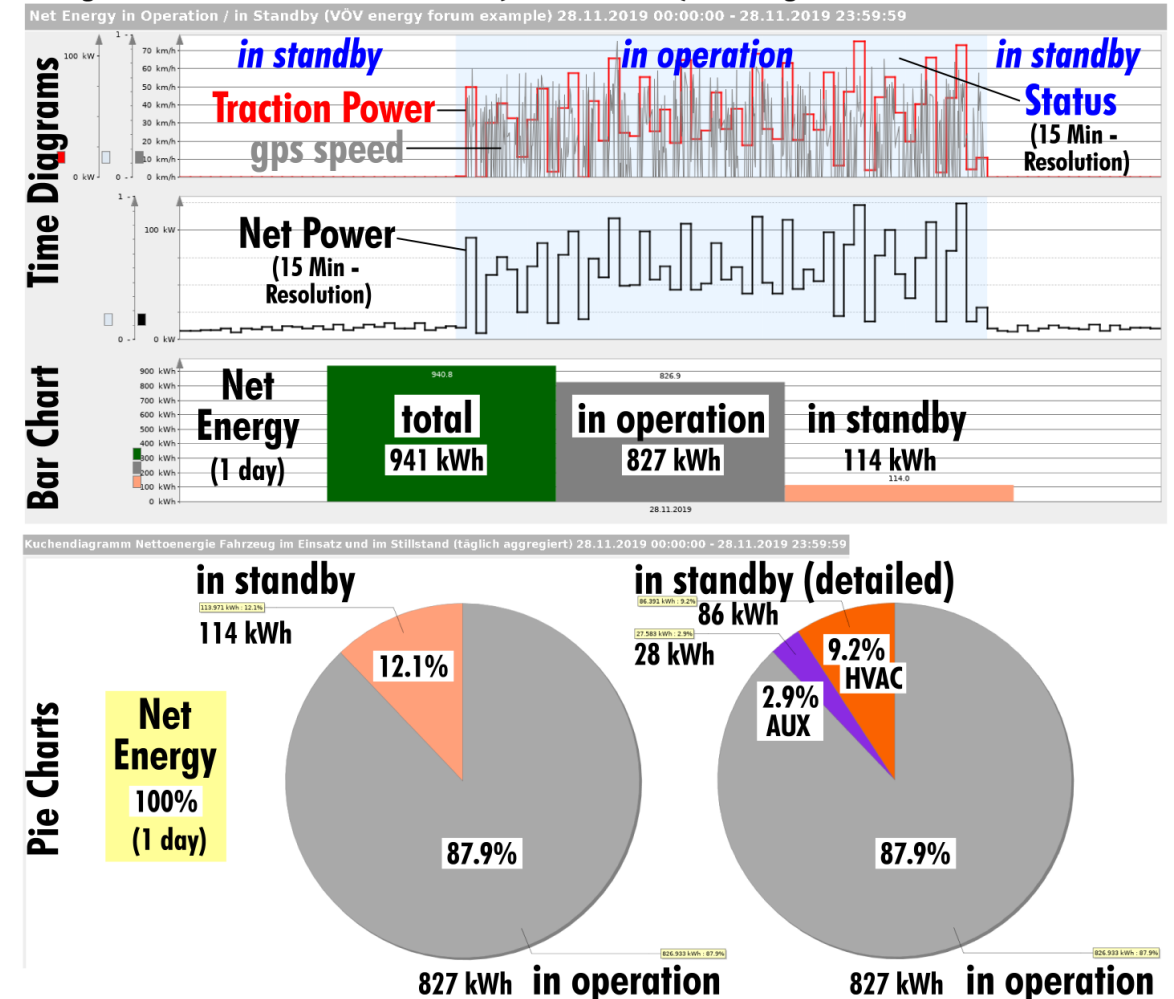


Datenanalyse mit dem e3m Datencenter

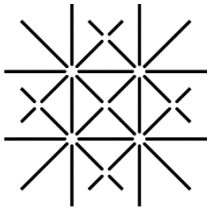
- Das e3m-System ist eine Marke der deutschen Firma Emation, mit der die Schweizer Firma Opit kooperiert.
- Opit liefert den vorkonfigurierten Messrechner und den Datenserver/Center-Zugang per Internet Browser.
- Das Beckhoff-System ist ein Industriecomputer mit modularen Messknoten (PI-System).

Wie funktioniert das Datencenter:

- Der Messcomputer sammelt jede Minute Sensordaten, vorverarbeitete DC-Energiedaten aus dem Beckhoff-System und die AC-Energie Zähler über verschiedene Schnittstellen.
- Die Rohdaten werden einmal pro Tag an den Datenserver übertragen. Dort werden automatisch vordefinierte Aggregationen, Formeldatenpunkte, und Diagramme errechnet.
- Ein Beispiel für tägliche Aggregationen zeigen rechts die Balken- und Kreisdiagramme (auch Wochen, Monate oder Jahre sind möglich).
- Formeldatenpunkte beherrschen komplizierte Berechnungen, können vergleichen, Zeitstempel synchronisieren und mehr.
- Durch Diagramme werden Daten verständlicher. Das Beispiel rechts zeigt einige Funktionen des Datencenters.
- Der Datenexport eröffnet noch mehr Möglichkeiten.



Diagrammbeispiele eines Tages (28.11.2019, Durchschnittstemperatur: 9.6°C)



UNI
BASEL

Heizenergie Optimierung und Auswertung

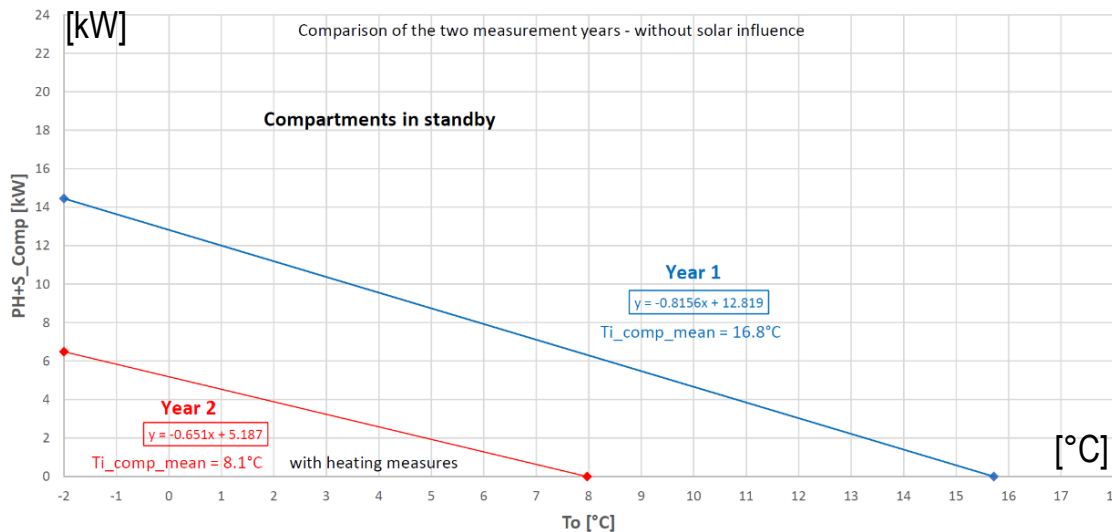
MRSF-MR

Durchgeführte Heizsparmassnahmen bei der Metro M1:

- Absenkung der Abteilterperatur im Stillstand auf 8°C
- Absenkung der Abteilterperatur im Betrieb um 3°C (von 21°C auf 18°C)

Methode zur Berechnung und Überprüfung des Energiesparpotentials der Heizung:

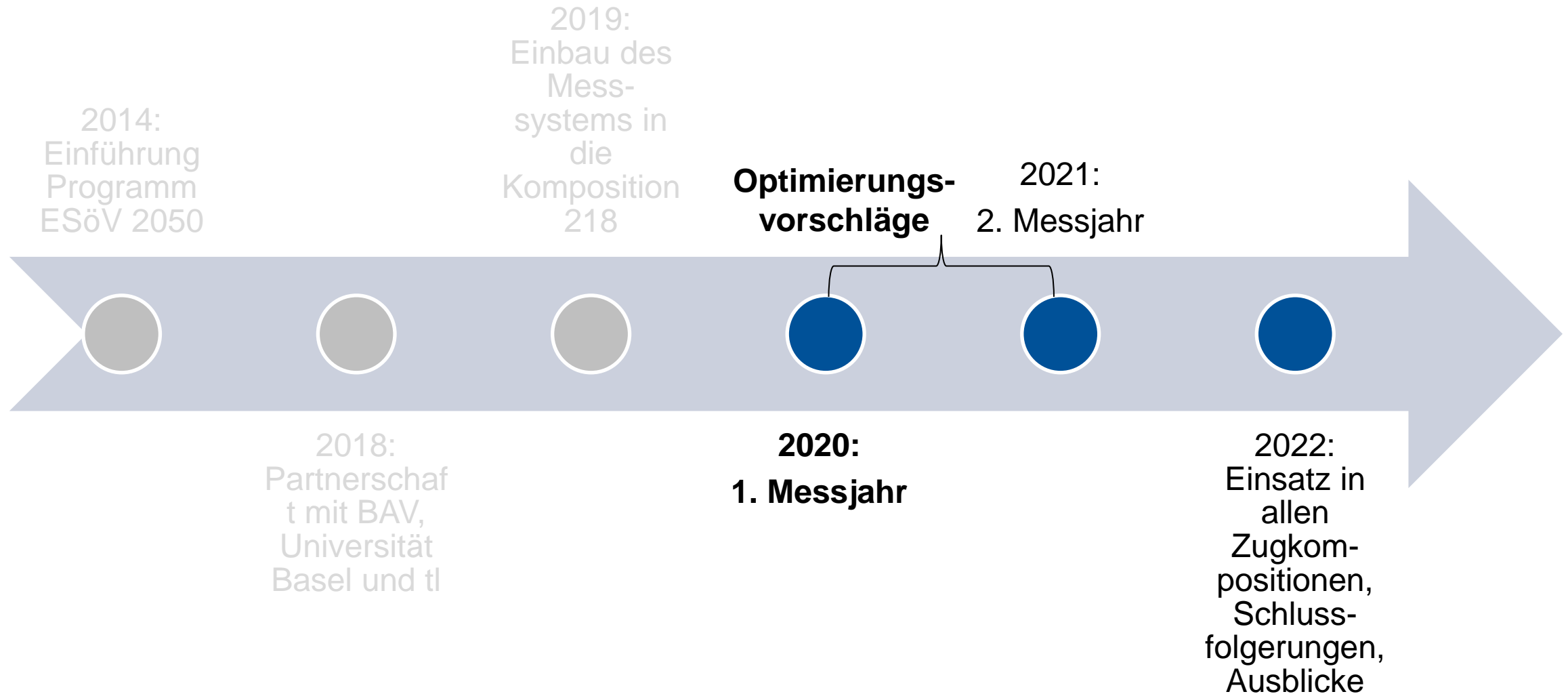
- Um die Energieeinsparung im voraus abzuschätzen wurden spezifische Heizleistungsdiagramme aus stündlichen Heizleistungswerten erstellt (sortiert nach Betriebsart zur jeweiligen Temperaturdifferenz (innen minus aussen), oder zur Aussentemperatur).
- Mit den daraus gewonnenen linearen Trendkurven lassen sich Simulationen der Heizenergie durchführen. Dazu summiert man alle neu berechneten 15 minütlichen Heizleistungswerte unter Berücksichtigung der Sparmassnahmen aus der gemessenen Aussentemperatur oder der Temperaturdifferenz über das erste Messjahr (ergibt: 35'040 15 Minuten Intervalle).



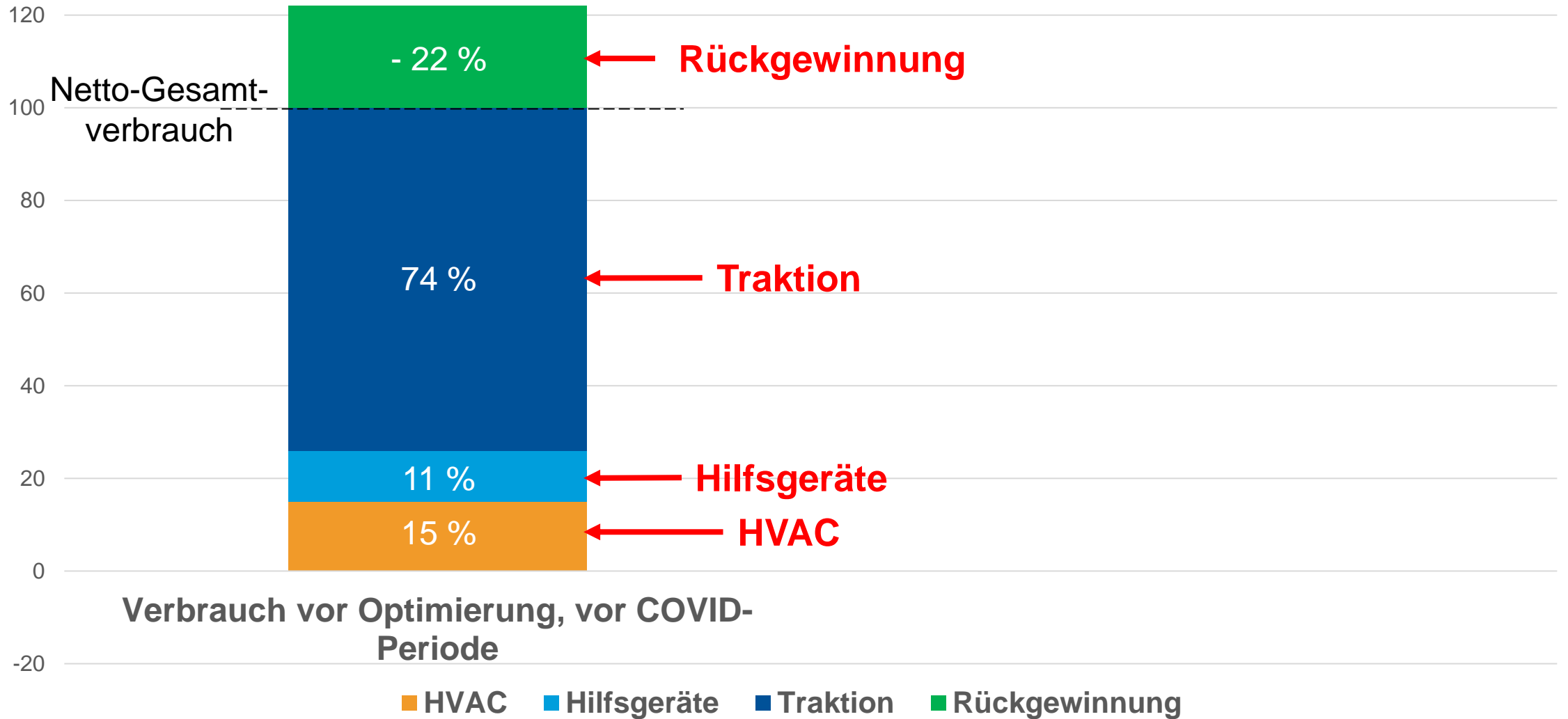
Beispiel: Heizleistung der Abteile in Funktion der Aussentemperatur To (im Stillstand)

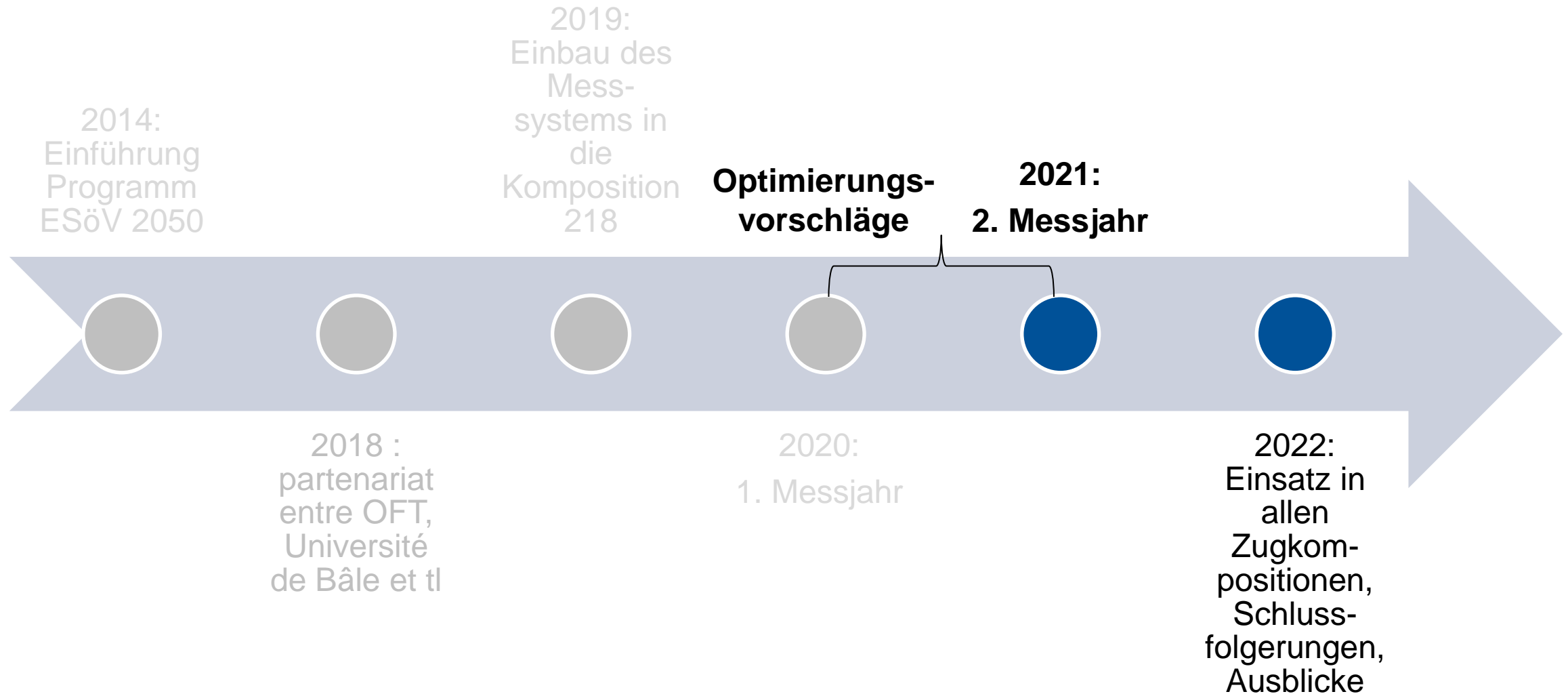
Auch zum Vergleich der gemessenen Energieeinsparung zweier Jahre (mit und ohne Massnahmen) ist diese Methode perfekt:

- Dazu werden die Trendlinien des 2. Jahres (mit Massnahmen) benutzt, um den Energiebedarf mithilfe der Umwelt- und Betriebsbedingungen des 1. Jahres (ohne Massnahmen) zu ermitteln.
- So ist ein direkter Vergleich möglich und sogar der Einfluss der Sonne kann damit ausgeglichen werden.
- Die Methode ist hier natürlich stark vereinfacht beschrieben.

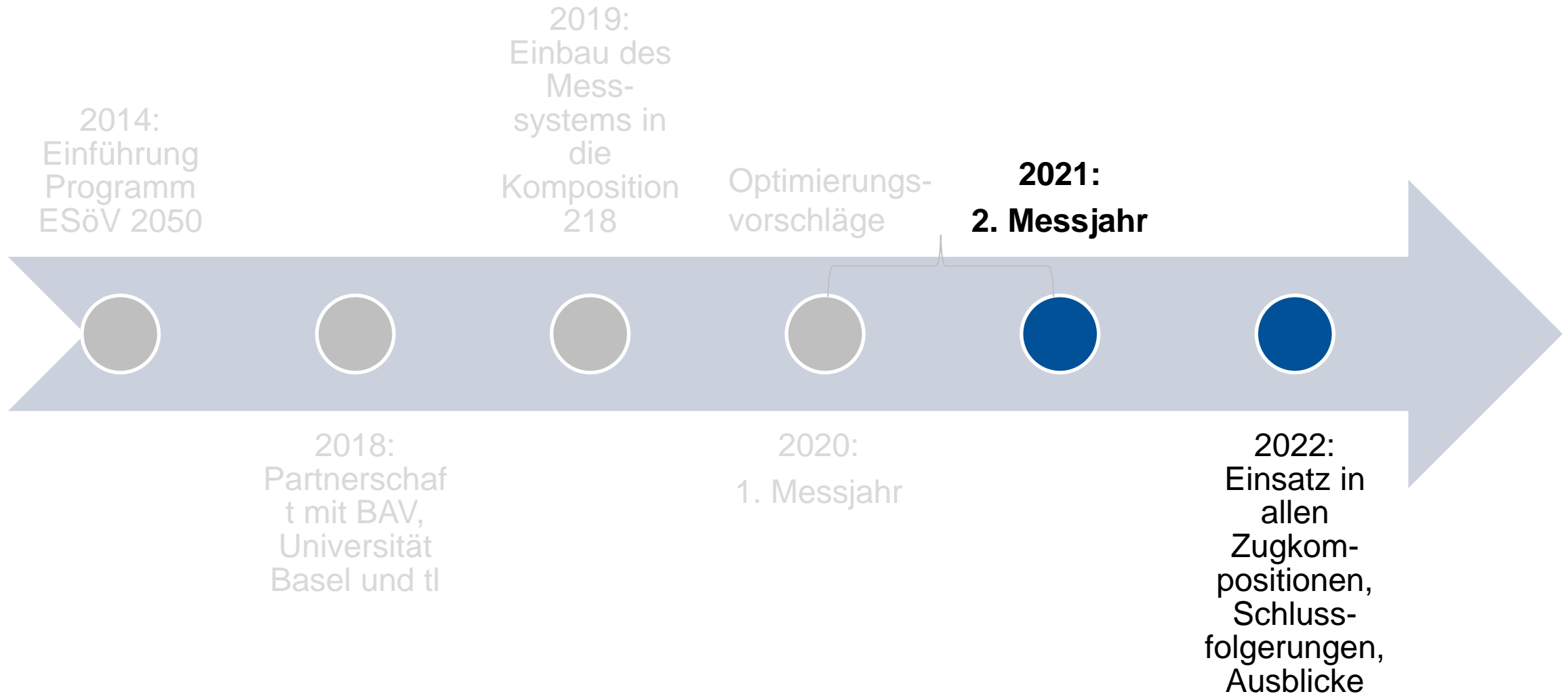


Verbrauch vor der Optimierung (1. Messjahr, vor COVID)

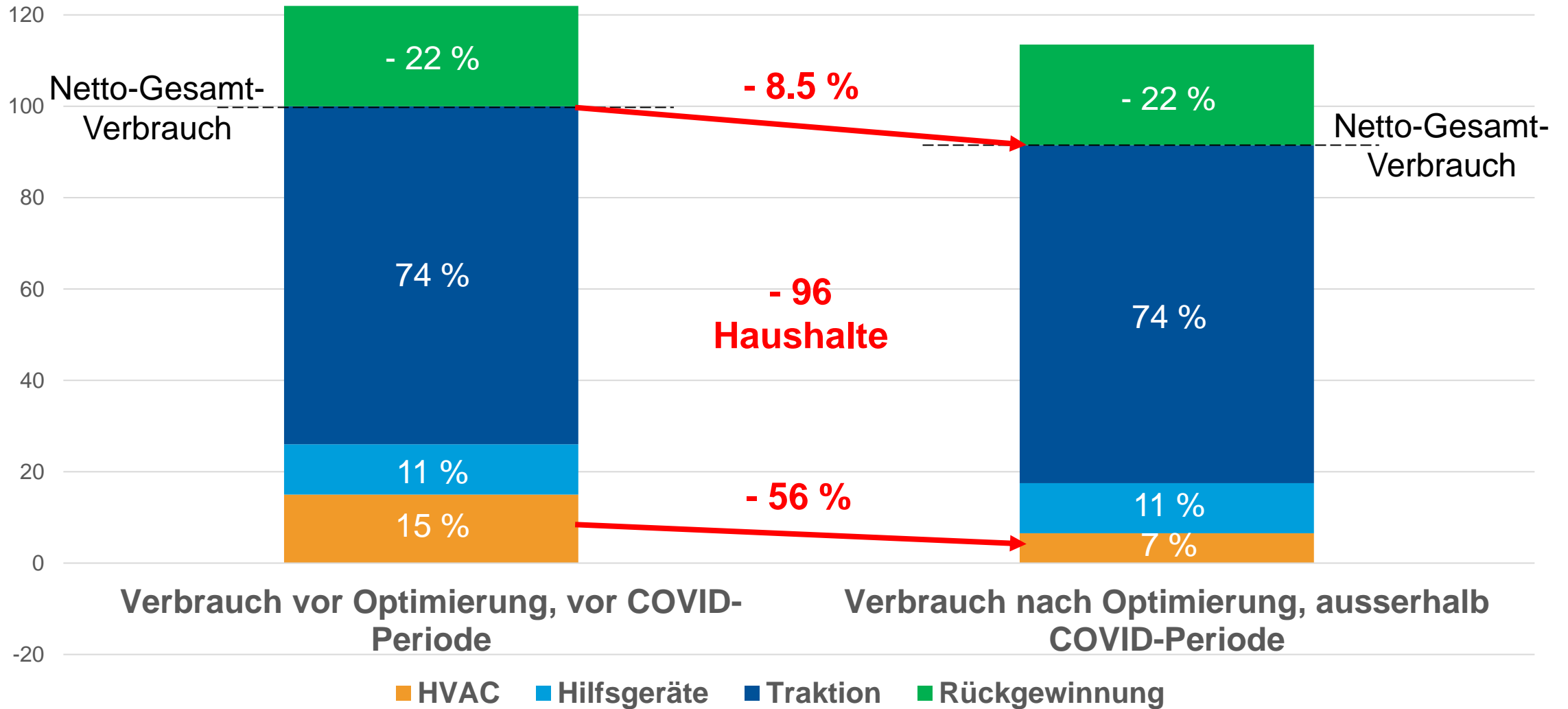


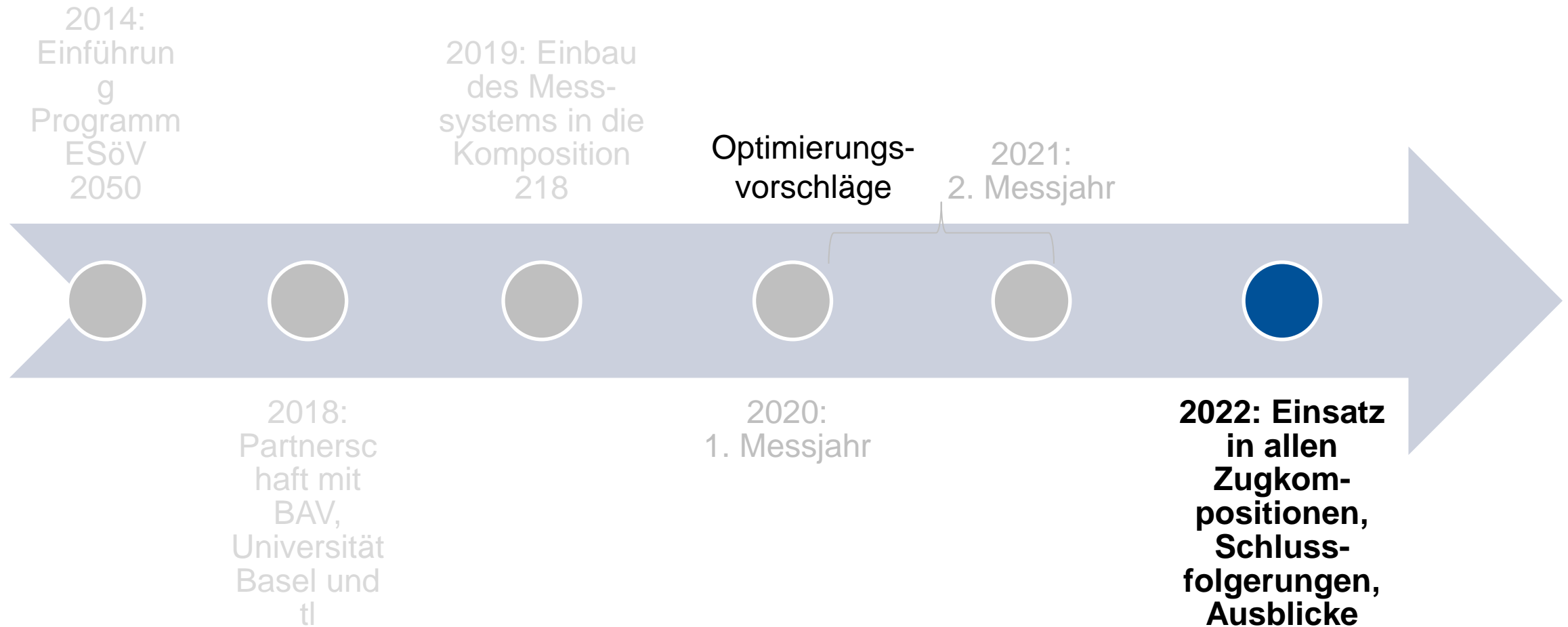


| Vorschlag | Aufwand | Beschreibung | Anteil Netto-Gesamt-energie |
|-----------|---------|---|-----------------------------|
| V1 | Mittel | Abschaltung der Heizung im Depot | 2.42 % |
| V2 | Mittel | Senkung der Temperatur auf 8°C im Depot | 6.44 % |
| V3 | Mittel | Senkung der Temperatur auf 18°C während Betrieb | 3.95 % |
| V4 | Hoch | Doppelverglasung | 4.17 % |
| V5 | Mittel | Eco-Fahrweise | 2.00 % |
| V6 | Mittel | Heizung mit Bremsenergie | 1.00 % |



Reduktion des Stromverbrauchs (2. Messjahr, ausserhalb COVID-Periode)





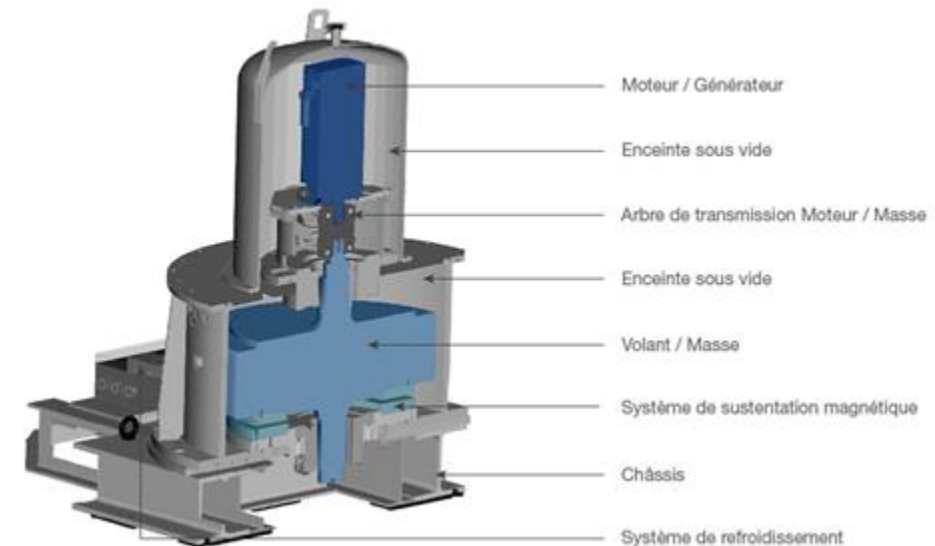
| Budgetbezeichnung | Beträge (CHF, ohne MWST) | Verbrauchs- vergleich |
|---|-----------------------------|--------------------------|
| Jahreskosten Verbrauch HVAC (<u>vor</u> COVID) | 154 000 | 171 Haushalte |
| Jahreskosten Verbrauch HVAC (<u>ausserhalb</u> COVID-Periode) | 67 000 | 75 Haushalte |

**- 56 %**

**Jährliche Einsparung von CHF 87 000
zum derzeitigen Preis von CHF 0.18 / kWh**

Zusätzliche wirtschaftlich gangbare Wege zur Reduktion des Energieverbrauchs:

- Im Depot einen Stand-by-Modus für das HVAC-System und die Hilfsgeräte hinzufügen (im Sommer)
- Unterschied zwischen der Fahrgastraum- und Aussentemperatur verringern (im Winter)
- Einen Temperaturzeitabschnitt ohne Heizung vorsehen (in der Zwischensaison)
- Rückgewonnene Energie im Rollmaterial vorübergehend speichern und zurückgeben (Beispiele: Akkumulatoren, Superkondensatoren)
- Rückgewonnene Energie in Infrastruktur vorübergehend speichern und zurückgeben (Beispiele: Akkumulatoren, Schwungradspeicherung)



Nutzen für weitere Projekte:

- Erfahrungswerte und Standardisierung für Messungen am bestehenden Rollmaterial
- Erfahrungswerte für den Einkauf von neuem Rollmaterial





Besten Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

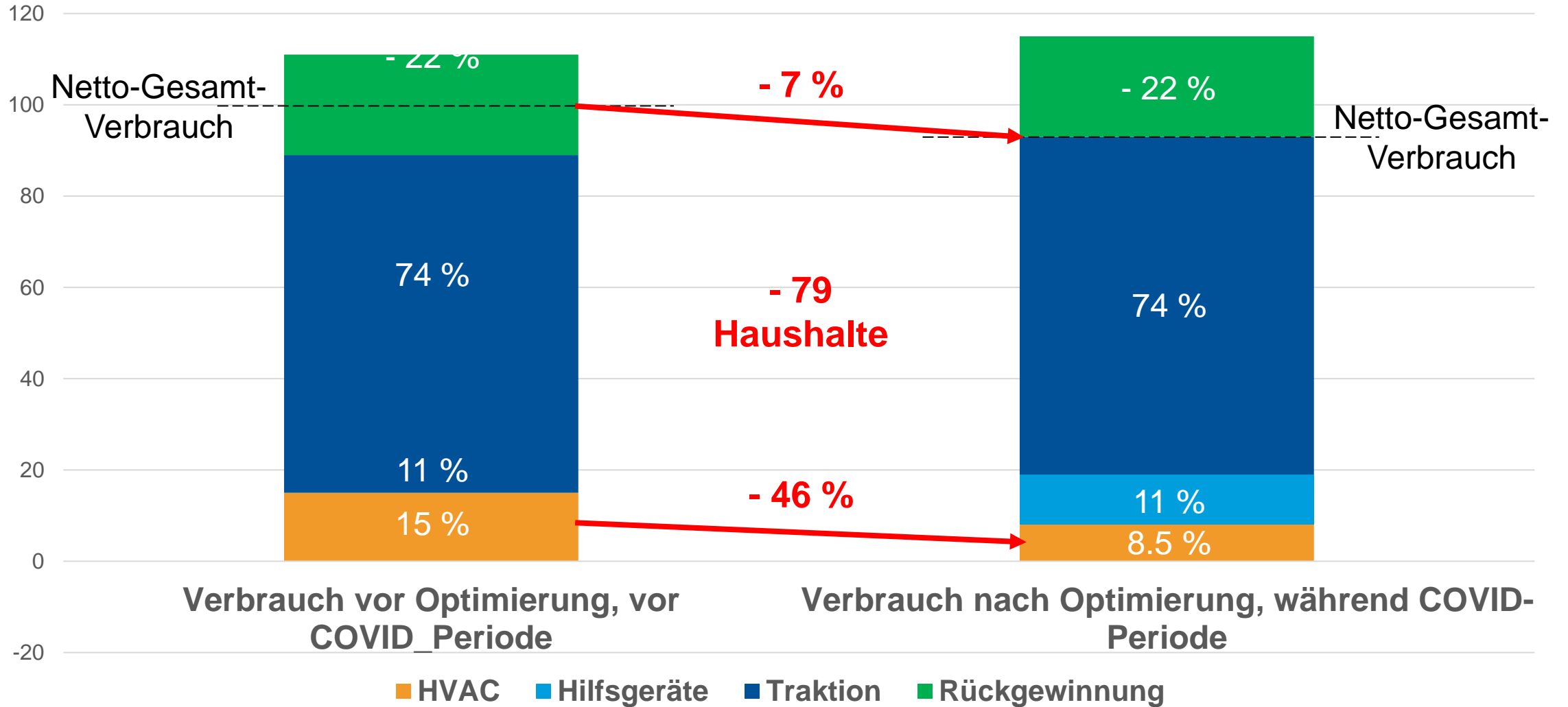


Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Verkehr BAV
Office fédéral des transports OFT
Ufficio federale dei trasporti UFT
Uffizi federal da traffic UFT



Reduktion des Stromverbrauchs (2. Messjahr, in COVID-Periode)



| Budgetbezeichnung | Beträge (CHF, ohne MWST) | Verbrauchs- vergleich |
|---|-----------------------------|--------------------------|
| Jahreskosten Verbrauch HVAC (<u>vor</u> COVID) | 154 000 | 171 Haushalte |
| Jahreskosten Verbrauch HVAC (<u>während</u> COVID-Periode) | 83 000 | 92 Haushalte |
| Jahreskosten Verbrauch HVAC (<u>ausserhalb</u> COVID-Periode) | 67 000 | 75 Haushalte |

Nach Reduktion

- 46 %

- 56 %

Jährliche Einsparung von CHF 87'000 zum derzeitigen Preis von CHF 0.18 / kWh