

TGV Lyria

# Ökologischer Verkehrsträgervergleich auf ausgewählten Relationen

Schlussbericht  
Zürich, 4. Juni 2024

Ursina Walther, Alexandra Zwankhuizen, Anne Greinus

# **Impressum**

## **Ökologischer Verkehrsträgervergleich auf ausgewählten Relationen**

Schlussbericht

Zürich, 4. Juni 2024

Verkehrsträgervergleich\_TGVLyria\_2023\_DE.docx

### **Auftraggeber**

TGV Lyria

### **Projektleitung**

Cécile Morel, Gert Fässler, TGV Lyria

### **Autoren**

Ursina Walther, Alexandra Zwankhuizen, Anne Greinus

INFRAS, Binzstrasse 23, 8045 Zürich

Tel. +41 44 205 95 95

zuerich@infras.ch

## Inhalt

<b>Zusammenfassung</b>	<b>4</b>
<b>1. Ausgangslage und Ziel</b>	<b>7</b>
<b>2. Methodisches Vorgehen</b>	<b>8</b>
2.1. Konzept	8
2.2. Methodisches Vorgehen	8
<b>3. Ergebnisse</b>	<b>18</b>
3.1. Klimabilanz	18
3.2. Endenergiebilanz	27
3.3. Umwelt- und Unfallkosten	33
3.4. Reisezeit und Arbeitszeit	40
<b>4. Schlussfolgerungen</b>	<b>44</b>
<b>Annex</b>	<b>45</b>
Klimabilanzen je Relation nach Quelle der Emissionen	46
Klimabilanzen je Relation mit Vor- und Nachlauf	48
Anteile der vor- und nachgelagerten THG-Emissionen	50
Anteile der einzelnen Kostenkategorien	52
<b>Literatur</b>	<b>54</b>

## Zusammenfassung

Die vorliegende Studie beinhaltet einen ökologischen Verkehrsträgervergleich auf fünf länderübergreifenden Relationen zwischen der Schweiz und Frankreich. Im Auftrag der TGV Lyria erstellte INFRAS 2019 einen Verkehrsträgervergleich auf Basis aktueller wissenschaftlicher Grundlagen und kompatibel mit der europäischen Norm SN EN 16258 zur Berechnung der Klimawirkung von Transportdienstleistungen. Die Einführung der neuen TGV-Lyria-Flotte Ende 2019 konnte in der Studie 2019 nur als Projektion auf der Grundlage geschätzter Parameter berücksichtigt werden. Die Verfügbarkeit von Daten zur neuen Flotte und die Tatsache, dass die Strecke Lausanne-Marseille nun auch von TGV Lyria bedient wird, war Anlass, die Berechnungen zu aktualisieren. Die Aktualisierung berücksichtigt neue technologische Entwicklungen sowie die Entwicklung der Auslastung der Verkehrsmittel unter Einbezug neuester Datengrundlagen. Sämtliche betrachtete Relationen werden auch von TGV Lyria bedient. Verglichen wird die Bahn bzw. der TGV Lyria mit den weiteren Verkehrsträgern Fernbusse, PKW und Flugzeuge. Bei den PKW wird nach elektrischer und konventioneller (Benzin, Diesel) Antriebsart unterschieden. Die Studie vergleicht die verschiedenen Verkehrsträger in Bezug auf die **Klimabilanz, Endenergiebilanz, Umwelt- und Unfallkosten** sowie **Reisezeit inkl. nutzbare Arbeitszeit**. Berücksichtigt wird in einem zweiten Schritt auch immer der Vor- und Nachlauf der Verkehrsträger, also die Fahrt zum und vom Bahnhof oder Flughafen. Allerdings zeigen die Ergebnisse, dass der Hauptlauf deutlich dominiert und die Klima- und Umweltbelastung des Vor- und Nachlaufs für das Gesamtergebnis von untergeordneter Relevanz ist. Bei den PKW wird jeweils noch zusätzlich eine Fahrt mit tieferer Auslastung (1.09 Personen pro Fahrzeug gemäss Statistik für Geschäftsfahrten im Vergleich zur durchschnittlichen Auslastung von 1.53 Personen pro Fahrzeug) mitberechnet.

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Klimabilanz der einzelnen Verkehrsträger für alle untersuchten Strecken.

**Tabelle 1: Überblick Klimabilanz**

Relation	Klimabilanz (Kg CO <sub>2</sub> -Äq./Person)						
	Bahn	Flugzeug	Fernbus	PKW Ø	PKW Arbeit	e-PKW Ø	e-PKW Arbeit
Genf-Paris	2.6	114.8	15.1	98.8	138.7	56.5	79.4
Lausanne-Paris	2.4	114.8	15.1	98.4	138.2	51.2	71.9
Basel-Paris	2.7	112.8	16.1	97.0	136.1	50.4	70.8
Zürich-Paris	3.1	131.9	18.3	108.7	152.6	56.5	79.4
Lausanne-Marseille	2.9	93.0	16.0	108.0	151.6	56.2	78.8

Tabelle INFRAS.

Der Vergleich der Klimabilanz der verschiedenen Verkehrsträger zeigt, dass die Bahn (TGV Lyria) pro Person und Fahrt die klar geringsten CO<sub>2</sub>-Emissionen verursacht. Die pro Person emittierten Treibhausgasemissionen sind bei einer Fahrt mit dem TGV von Genf nach Paris rund 6-mal kleiner als beim Fernbus, rund 20-mal kleiner als beim durchschnittlichen Elektro-PKW, etwa 36-mal kleiner als beim durchschnittlichen konventionellen PKW und rund 41-mal kleiner als beim Flugzeug. Aus Sicht des Klimaschutzes bietet auf den untersuchten Relationen eine Fahrt mit dem TGV Lyria den grössten Vorteil. Dabei gilt es zu beachten, dass die elektrisch betriebenen Verkehrsträger TGV Lyria und e-PKW im Betrieb keine direkten Emissionen und auch bei der Energieherstellung (Strom) nur sehr tiefe Emissionen emittieren. Der grösste Teil der Emissionen dieser beiden Verkehrsträger stammt aus der Herstellung der Infrastruktur und der Fahrzeuge<sup>1</sup>.

Die Umweltwirkungen, wie z.B. die Treibhausgasemissionen, verursachen Kosten, die nicht vom Verursacher, sondern von der Allgemeinheit getragen werden. Sogenannte externe Kosten oder **Umwelt- und Unfallkosten** werden für die Fahrten mit den verschiedenen Verkehrsträgern ebenfalls berechnet und verglichen. Tabelle 2 gibt einen Überblick für alle Relationen.

**Tabelle 2: Überblick Umwelt- und Unfallkosten**

Relation	Umwelt- und Unfallkosten (CHF/Person)						
	Bahn	Flugzeug	Fernbus	PKW Ø	PKW Arbeit	e-PKW Ø	e-PKW Arbeit
Genf-Paris	2.6	29.0	5.1	31.0	40.3	22.9	28.8
Lausanne-Paris	3.1	30.9	5.7	30.9	40.1	22.8	28.7
Basel-Paris	2.9	29.3	5.6	30.4	39.5	22.4	28.3
Zürich-Paris	3.4	33.5	6.4	34.1	44.3	25.1	31.7
Lausanne-Marseille	4.4	26.2	6.8	33.9	44.0	25.0	31.5

Tabelle INFRAS.

Das Ergebnis zeigt, dass auch bei den Umwelt- und Unfallkosten die Bahnfahrten mit dem TGV Lyria pro Person und Fahrt die geringsten Umweltkosten verursachen. Die Hauptgründe sind die sehr tiefen direkten Klima-, Luftschadstoff- und Unfallkosten im Betrieb des TGVs, die bei den anderen Verkehrsträgern zu den wichtigsten Kostenkategorien gehören. Die Umwelt- und Unfallkosten der Fernbusse sind rund doppelt so hoch wie diejenigen des TGV Lyria, diejenigen der Elektro-PKW rund 9-mal so hoch, die Kosten der Flugzeuge auch etwa 10-mal so hoch und die Kosten der konventionellen PKW knapp 12-mal so hoch wie beim TGV Lyria.

<sup>1</sup> Häufig werden in ökologischen Verkehrsträgervergleichen nur die von der Norm SN EN 16258 obligatorisch geforderten Parameter berücksichtigt (direkter Betrieb und Energieherstellung), weshalb eine Fahrt mit der Bahn dann rund 70 bis 100-mal weniger CO<sub>2</sub>-Äq. emittiert als ein Flug auf der gleichen Relation.

Bei der Wahl des Verkehrsmittels ist die potenziell **nutzbare Reisezeit** zur Arbeit ein weiterer wichtiger Faktor. Bei der Reise mit dem Fernbus ist die für die Arbeit verfügbare Zeit am höchsten, was jedoch hauptsächlich darauf zurückzuführen ist, dass die Gesamtreisezeit hoch ist. Die Reise mit dem TGV Lyria bietet auf allen Strecken einen sehr hohen Anteil an nutzbarer Reisezeit.

**Tabelle 3: Übersicht nutzbare Reisezeit**

Relation	Nutzbare Reisezeit (h)			
	Bahn	Flugzeug	Fernbus	PKW Arbeit
Genf-Paris	3.0	0.8	7.3	0.0
Lausanne-Paris	3.5	0.8	7.1	0.0
Basel-Paris	2.9	0.9	7.7	0.0
Zürich-Paris	3.8	0.9	8.9	0.0
Lausanne-Marseille	4.2	1.9	6.8	0.0

Tabelle INFRAS.

Im **Gesamtvergleich** der betrachteten Fernverkehrsrelationen schneidet die Bahn bzw. der TGV Lyria in allen Bereichen und für alle Relationen am besten ab. Bei der Klimabilanz sowie den Umwelt- und Unfallkosten hat der TGV Lyria deutlich die Nase vorn. Umweltseitig am nächsten kommen die Fernbusse, die aber immer noch deutlich höhere Treibhausgasemissionen und Umweltkosten haben. PKW und Flugzeug weisen eine deutlich schlechtere Klima- und Umweltbilanz aus als die Bahn (TGV Lyria). Elektro-PKW weisen zwar eine bessere Klimabilanz und geringere Umweltkosten als Benzin- und Diesel-PKW auf. Allerdings schneiden auf den untersuchten Relationen die Klimabilanz und die Umweltkosten des e-PKW immer noch schlechter ab als beim TGV Lyria. Somit wird die Bahn im internationalen Fernverkehr auch mit der fortschreitenden Elektrifizierung der PKW einen deutlichen Umweltvorteil gegenüber dem PKW behalten. Ebenso deutlich ist der Umweltvorteil der Bahn gegenüber dem Flugzeug.

## 1. Ausgangslage und Ziel

Im Rahmen der Klimadiskussion gewinnt der ökologische Vergleich verschiedener Verkehrsträger für Fernverkehrsreisen an Bedeutung. Berechnungen auf der Basis aktueller Daten sind dabei von grosser Bedeutung, da nur so ein valider Vergleich möglich ist. Die vorliegende Studie präsentiert die Ergebnisse der Aktualisierung des ökologischen Verkehrsmittelvergleichs für Fahrten zwischen der Schweiz und Frankreich, die von INFRAS im Auftrag von TGV Lyria im Jahr 2019 durchgeführt wurde. Der Fokus des Vergleichs liegt insbesondere auf der Klimabilanz der Verkehrsträger. Der Verkehr hat aber nicht nur Auswirkungen auf das Klima, sondern auch verschiedene andere negative Umwelteffekte (Luftschadstoffemissionen, Lärm, Unfälle etc.). Im Rahmen der vorliegenden Studie wird für konkrete Relationen, die von TGV Lyria bedient werden, ein Vergleich verschiedener Verkehrsträger vorgenommen. Der Vergleich umfasst folgende vier Parameter:

- Klimabilanz (Treibhausgasemissionen, «CO<sub>2</sub>-Bilanz»)
- Energiebilanz
- Umwelt- und Unfallkosten
- Zeitnutzen (produktiv nutzbare Reisezeit)

Ziel der Aktualisierung ist insbesondere die Einbeziehung von realen Daten für die neue TGV Lyria-Flotte, die Ende 2019 in Betrieb genommen wurde, für die aber zum Zeitpunkt der ersten Studie keine Daten vorlagen. Die Aktualisierung berücksichtigt auch die neue Strecke Lausanne-Marseille, die nun von TGV Lyria bedient wird. Zudem wurden alle Datengrundlagen aktualisiert, darunter Emissionsfaktoren, Auslastungsgrade und Energieverbrauchsdaten. Die aktualisierte Studie basiert somit auf den neusten wissenschaftlichen Erkenntnissen (Klimaemissionen, Umweltkosten, etc.). Die Ergebnisse bilden die Grundlage für eine fundierte Kommunikation über den Vergleich der verschiedenen Verkehrsträger für bestimmte Strecken von TGV Lyria.

## 2. Methodisches Vorgehen

### 2.1. Konzept

Das Konzept basiert auf einem relationalen Vergleich verschiedener Verkehrsträger. Das heisst, dass der ökologische Fussabdruck ausgewählter Verkehrsträger auf den gleichen fünf Relationen verglichen wird (einerseits Hauptverkehrsmittel auf den Relationen, andererseits Tür-zu-Tür-Relationen). Dies geschieht in Form einer Klimabilanz (Treibhausgasemissionen), einer Energiebilanz sowie in Form von Umwelt- und Unfallkosten. Zusätzlich zu den Umweltwirkungen wird auch der unterschiedliche Zeitnutzen (durch produktiv nutzbare Reisezeit) der einzelnen Verkehrsträger evaluiert. Sämtliche Berechnungen beziehen sich auf eine Person und Fahrt (nur Hinfahrt).

### 2.2. Methodisches Vorgehen

#### Systemgrenzen

Das Bezugsjahr der Berechnungen im vorliegenden ökologischen Verkehrsträgervergleich ist 2023. Auf Grundlagen wie Reisezeit und Distanzen hat das keinen wesentlichen Einfluss. Die angewendeten Emissionsfaktoren und Kostensätze sind allerdings vom Betrachtungsjahr abhängig. Die Emissionsfaktoren unterliegen einem Technologiepfad (z.B. Stickoxid-Emissionen von PKWs) und die Kostensätze müssen auf das aktuelle Jahr fortgeschrieben werden (inflationbereinigt). Die räumliche Abgrenzung ist aufgrund der vorgegebenen Relationen klar. Inhaltlich werden bei allen Berechnungen immer sowohl die direkten Kosten und Emissionen aus dem Betrieb als auch die indirekten Kosten und Emissionen aus der Produktion, dem Unterhalt und der Entsorgung von Energie, Fahrzeugen und Infrastruktur berücksichtigt.

#### Relationen

In einem ersten Schritt wurden insgesamt fünf Relationen zwischen Frankreich und der Schweiz ausgewählt, die von TGV Lyria betrieben werden. Die Relationen bestehen jeweils aus einem Hauptlauf und einem Vor- und Nachlauf. Der Hauptlauf wird für jedes Verkehrsmittel durch die Strecke definiert, die mit dem Hauptverkehrsträger zurückgelegt wird, also von Bahnhof zu Bahnhof, oder von Flughafen zu Flughafen. In einem ersten Schritt werden in der Klima- und Energiebilanz nur diese Hauptläufe miteinander verglichen. In einem zweiten Schritt gilt es zu definieren, welche weiteren Verkehrsmittel neben den Hauptverkehrsträgern (Flugzeug, Bahn, PKW, Fernbus) für den Tür-zu-Tür Vergleich betrachtet werden. Dies ist notwendig, weil Reisende am Zielort verschiedene Verkehrsträger (z.B. Tram oder Taxi) zur Auswahl haben, um zur Zieldestination (zur «Tür»: also zum Sitzungsort bei Geschäftsreisenden oder zur Unterkunft



bei Freizeitreisenden) zu gelangen. In dieser Studie bezeichnen wir diese Abschnitte der Reise als Vor- und Nachlauf der Reise. Tabelle 4 zeigt die fünf verschiedenen Relationen und die jeweiligen Vor- und Nachläufe.

Im Vergleich zur Studie von 2019 wurde eine Strecke aktualisiert: Während 2019 die Strecke zwischen Genf und Marseille analysiert wurde, haben wir diese Strecke nun auf die erweiterte Verbindung zwischen Lausanne und Marseille aktualisiert. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der TGV Lyria diese Verbindung nun im Sommer anbietet.

Die Relation Genf – Paris ist dabei ein Beispiel für eine Relation von Stadtzentrum zu Stadtzentrum (also mit nur marginalem Vor- und Nachlauf). Bei der Bahn ist der Hauptlauf jeweils von Bahnhof zu Bahnhof, beim Flugzeug von Flughafen zu Flughafen und beim Fernbus von Busstation zu Busstation definiert. Die Vor- und Nachläufe setzen sich zusammen aus Taxi, Personewagen (PKW), Linienbussen, Tram und S-Bahnen. Die PKW fahren direkt von Tür zu Tür und haben somit keinen Vor- und Nachlauf.

Tabelle 4: Berücksichtigte Relationen inkl. Vor- und Nachlauf

Relation	Von	Nach	Haupt-Verkehrsträger	Bemerkung zum Hauptlauf
Genf-Paris	Stadtzentrum Genf	Stadtzentrum Paris	Bahn	Genève Cornavin - Paris Gare de Lyon
Genf-Paris	Stadtzentrum Genf	Stadtzentrum Paris	Flugzeug	Genève Aéroport (GVA) - Paris Charles de Gaulle (CDG)
Genf-Paris	Stadtzentrum Genf	Stadtzentrum Paris	Fernbus	Genève ZOB - Paris Bercy Seine
Genf-Paris	Stadtzentrum Genf	Stadtzentrum Paris	PKW	von Tür zu Tür mit PW
Zürich-Paris	Stadtzentrum Zürich	Boulogne-Billancourt	Bahn	Zürich HB - Paris Gare de Lyon
Zürich-Paris	Stadtzentrum Zürich	Boulogne-Billancourt	Flugzeug	Zürich Flughafen (ZRH) - Paris Charles de Gaulle (CDG)
Zürich-Paris	Stadtzentrum Zürich	Boulogne-Billancourt	Fernbus	Carparkplatz Sihlquai - Paris Bercy Seine
Zürich-Paris	Stadtzentrum Zürich	Boulogne-Billancourt	PKW	von Tür zu Tür mit PW
Basel-Paris	Reinach	Stadtzentrum Paris	Bahn	Basel SBB - Paris Gare de Lyon
Basel-Paris	Reinach	Stadtzentrum Paris	Flugzeug	EuroAirport (BSL) - Paris Charles de Gaulle (CDG)
Basel-Paris	Reinach	Stadtzentrum Paris	Fernbus	Basel SBB - Paris Bercy Seine
Basel-Paris	Reinach	Stadtzentrum Paris	PKW	von Tür zu Tür mit PW
Lausanne-Paris	Montreux	Stadtzentrum Paris	Bahn	Lausanne CFF - Paris Gare de Lyon
Lausanne-Paris	Montreux	Stadtzentrum Paris	Flugzeug	Genève Aéroport (GVA) - Paris Charles de Gaulle (CDG)
Lausanne-Paris	Montreux	Stadtzentrum Paris	Fernbus	Lausanne P+R Vélodrome - Paris Bercy Seine
Lausanne-Paris	Montreux	Stadtzentrum Paris	PKW	von Tür zu Tür mit PW
Lausanne-Marseille	Fribourg	Stadtzentrum Marseille	Bahn	Lausanne CFF - Marseille-Saint-Charles
Lausanne-Marseille	Fribourg	Stadtzentrum Marseille	Flugzeug	Genève Aéroport (GVA) - Marseille Provence (MRS)*
Lausanne-Marseille	Fribourg	Stadtzentrum Marseille	Fernbus	Lausanne P+R Vélodrome - Marseille-Saint-Charles
Lausanne-Marseille	Fribourg	Stadtzentrum Marseille	PKW	von Tür zu Tür mit PW

\* Auf der Strecke Genf-Marseille gibt es derzeit keine Direktflüge. Um die Vergleichbarkeit zwischen den Strecken zu erhalten, wurde ein hypothetischer Direktflug angenommen.

Tabelle INFRAS.

### Berücksichtigte Verkehrsträger

Beim Vergleich der Reisen werden die in Tabelle 5 dargestellten Hauptverkehrsmittel untersucht und miteinander verglichen.

Tabelle 5: Berücksichtigte Verkehrsträger

Verkehrsträger	Bemerkungen
	Alle Relationen werden direkt von TGV Lyria betrieben. Die Bahn wird im Hauptlauf deswegen auch jeweils durch einen TGV Zug abgebildet. Im November 2019 wurde das neue Rollmaterial eingeführt, welches mehr Sitzplätze bietet. Die hier verwendeten Kennwerte beziehen sich auf das im Jahr 2023 eingesetzte Rollmaterial.
	Die Flugzeuge wurden durch eine Vielzahl verschiedener Flugzeugtypen und ihrer Kennzahlen abgebildet (Atmosfair 2021), die auf den untersuchten Relationen eingesetzt werden. Für die Auslastung der Flugzeuge wurden europäische Durchschnittswerte für das Jahr 2023 verwendet (IATA 2023).
	Die Fernbusse wurden mit durchschnittlichen Reisebussen dargestellt. Ein Problem bei den Bussen ist, dass viele Fahrten über Nacht gefahren werden und deswegen die Reisezeit viel länger ist als bei den PKW. Annahme zur Auslastung entspricht den neuesten verfügbaren Werten für Fernbusreisen ab Deutschland (DESTATIS 2023).
	Bei den PKW wurden zwei verschiedene Antriebstypen verglichen. Einerseits Verbrennungsmotoren, dargestellt anhand des Schweizer Flottendurchschnitts und andererseits batterieelektrische Fahrzeuge. Die Auslastungszahlen der Fahrzeuge stammen aus dem Schweizer Mikrozensus Verkehr und Mobilität 2021 (ARE 2023). Die Auslastungszahlen in Frankreich sind ähnlich wie in der Schweiz, weshalb der Vergleich auch auf Frankreich übertragbar ist. Das Gleiche gilt für die batterieelektrischen Fahrzeuge (Strommix): In der Klimabilanz hat der Strommix, mit dem die Batterie geladen wird, einen Einfluss auf die Emissionen. Bezüglich Treibhausgasen ist der Verbraucherstrommix der Schweiz und von Frankreich relativ ähnlich. Die Schweiz hat einen hohen Anteil Wasserkraft- und Nuklearstrom, in Frankreich ist es vor allem Nuklearstrom. Beide Energiequellen weisen einen verhältnismässig tiefen CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktor auf (verglichen mit fossilen Energiequellen). Dazu kommt, dass für den Bau der Fahrzeuge und der Batterien ein europäischer Durchschnitt und nicht ein länderspezifischer Strommix unterstellt wird.

Tabelle INFRAS.

### Distanzen und Reisezeiten der Relationen pro Verkehrsträger

Eine wichtige Grundlage für die Energie-, Klima- und Kostenberechnungen sind die Personenkilometer, die von den verschiedenen Verkehrsträgern zurückgelegt werden. Da die Ergebnisse pro Person und Fahrt dargestellt werden, liefern die Distanzen multipliziert mit den Auslastungen der verschiedenen Verkehrsträger bereits die Personenkilometer. Die Distanzen der Relationen stammen aus von unterschiedlichen Quellen. Die Bahnkilometer stammen von TGV Lyria, die Flugdistanzen von [www.greatcirclemapper.net](http://www.greatcirclemapper.net) und die PKW-Distanzen von

www.maps.google.com. Bei den Distanzen der Vor- und Nachläufe wurde jeweils auf Googlemaps zurückgegriffen. Wenn als Abfahrts- oder Ankunftsort das Stadtzentrum gilt, dann wurde der Vor- oder Nachlauf vereinfacht mit 2 km berechnet. Bahn und Fernbus haben jeweils die gleichen Distanzen bei den Vor- und Nachläufen, da sich die Busstationen in unmittelbarer Nähe der Bahnhöfe befinden. Bei den Flughäfen sind die Vor- und Nachläufe etwas länger, da diese immer etwas ausserhalb liegen.

Es wurde eine zusätzliche Analyse durchgeführt, welche den Teil der Reisezeit für die unterschiedlichen Verkehrsträger vergleicht, der für Arbeitszeit genutzt werden kann. Dafür wurden nur die für Geschäftsreisen relevanten Verkehrsträger miteinander verglichen. Die Ergebnisse dieser Analyse sind im Kapitel 3.4 dargestellt. Die Reisezeiten stammen aus den offiziellen Fahrplänen, diejenigen der PKW aus Googlemaps. Dafür wurden mehrfache Abfragen zu verschiedenen Wochen- und Tageszeitpunkten vorgenommen und ein Durchschnitt errechnet. Bei den Flugzeiten unterscheiden sich die Reisezeiten je nach Richtung, in der geflogen wird. In den vorliegenden Analysen wurde immer die Richtung von der Schweiz nach Frankreich gewählt. Verspätungen, Streiks, Stauzeiten und andere Beeinträchtigungen wurden nicht berücksichtigt.

Für die Schätzung der nutzbaren Reisezeit wurde der Anteil der Strecke, der für die Arbeit genutzt werden kann, von unabhängigen Experten geschätzt. Dafür haben die Experten für jeden Verkehrsträger einen ihrer Ansicht nach realistischen Prozentsatz festgelegt, der für alle Strecken gilt. Für Züge beträgt dieser Anteil 95 % der Reisezeit im Hauptverkehrsmittel, 70 % für Flugzeuge und 90 % für Fernbusse. Bei Reisen mit dem Auto (konventionell und elektrisch) wird davon ausgegangen, dass die reisende Person selbst fährt, so dass die nutzbare Reisezeit 0 % beträgt. Die Reisezeiten vor und nach der Fahrt wurden nicht als potenzielle Arbeitszeit berücksichtigt, aber sie werden dennoch für die Gesamtreisezeit herangezogen. Für Vor- und Nachlauf wird von den Reisenden in der Regel ein Mix von Verkehrsmitteln genutzt. Dazu gehören u. a. öffentliche Verkehrsmittel, Taxis, Autos, Fahrrad oder zu Fuss. Für die Fahrt zum und vom Bahnhof/Flughafen/Busterminal wird ein gewichteter Durchschnitt, der von den verschiedenen Verkehrsträgern benötigten Reisezeiten, berechnet.

Tabelle 6: Distanzen der untersuchten Relationen

Relation	Haupt- verkehrs- träger	Hauptlauf	Vorlauf		Nachlauf	Gesamte Strecke	Reisezeit
			Kilometer				
Genf-Paris	Bahn	503	2	2	507	245	
	Flugzeug	457	5	28	507	169	
	Fernbus	538	2	2	542	545	
	PKW	547	0	0	490	315	
Zürich-Paris	Bahn	617	2	12	631	293	
	Flugzeug	525	8	38	571	163	
	Fernbus	650	2	12	664	650	
	PKW	602	0	0	602	385	
Basel-Paris	Bahn	526	8	2	536	214	
	Flugzeug	449	42	28	519	148	
	Fernbus	573	8	2	583	546	
	PKW	537	0	0	583	351	
Lausanne-Paris	Bahn	480	30	2	512	252	
	Flugzeug	457	93	28	512	170	
	Fernbus	535	30	2	567	507	
	PKW	545	0	0	545	357	
Lausanne-Marseille	Bahn	580	67	2	649	322	
	Flugzeug	370	132	24	598	284	
	Fernbus	568	67	2	637	512	
	PKW	598	0	0	598	354	

Tabelle INFRAS.

### Emissions- und Energieberechnungen

In der Klimabilanz werden sowohl der direkte Betrieb als auch die vor- und nachgelagerten Prozesse berücksichtigt. Zu den vor- und nachgelagerten Prozessen gehören Emissionen aus der Fahrzeug- und Infrastrukturproduktion und -entsorgung sowie aus der Energieversorgungskette. Diese sind in Bezug auf Luftschadstoffe und Treibhausgase oft ebenso relevant wie die Emissionen aus dem Betrieb. Bei der Energiebilanz wird die Endenergie bilanziert. Das heisst, nur die Energieeffizienz des Fahrzeugs wird betrachtet. Die dahinterstehenden Energiesysteme werden in der Energiebilanz nicht berücksichtigt.

Für die Klimabilanz wurden sämtliche Treibhausgase für den direkten Betrieb und die Vorprozesse in Form von CO<sub>2</sub>-Äquivalenten berücksichtigt. Das bedeutet Folgendes: Im direkten Betrieb verursachen nur die Verbrennungsmotoren Treibhausgase, welche mit fossilen Treibstoffen fahren. Das heisst, das Verbrennen von Benzin, Diesel bei den PKW und Fernbussen

resp. Kerosin bei den Flugzeugen wurde berücksichtigt. Die Treibhausgase der vor- und nachgelagerten Prozesse stammen einerseits aus der Bereitstellung der Elektrizität resp. Treibstoffe (Strom, Benzin, Diesel und Kerosin) und andererseits aus der Produktion, dem Unterhalt und der Entsorgung der Fahrzeuge und der Infrastruktur. Für den TGV wurde der französische und der schweizerische Strommix gewichtet hinterlegt. Für die Elektro-PKW wurde der Schweizer Strommix hinterlegt. Dies ist auch auf Frankreich übertragbar, da sich der Strommix von Frankreich und der Schweiz bzgl. Klimabilanz nicht stark unterscheiden. Hinzu kommt, dass ein grosser Teil der Treibhausgasemissionen in der Klimabilanz der elektrischen PKW auf die Produktion der Fahrzeuge (und Batterien) zurückzuführen ist. Für den Strommix der Produktion wird bei allen Ländern ein europäischer Durchschnitt hinterlegt. Folglich ist der Einfluss des Verbraucher-Strommix bei den beiden Ländern Schweiz und Frankreich relativ gering.

Für die Vor- und Nachläufe wurden nach Verkehrsträger gewichtete Emissionsfaktoren berechnet. Die Grundlage für die Gewichtung war eine Umfrage bei den Kunden der TGV Lyria, welche die Verkehrsträger ermittelte, die für die Anreise zu den Bahnhöfen genutzt werden. Diese setzen sich zusammen aus öffentlichen Verkehrsmitteln (Tram, Linienbusse, S-Bahnen etc.), Fuss- und Veloverkehr und PKWs. Da für die Busterminals und die Flughäfen keine eigenen Umfragen vorhanden sind, wurde der gewichtete Emissionsfaktor auch für die Vor- und Nachläufe der Flughäfen und Busstationen genutzt. Da die Umfrage in Frankreich und in der Schweiz durchgeführt wurde, konnte je ein gewichteter Emissionsfaktor für die Vorläufe in der Schweiz und die Nachläufe in Frankreich berechnet werden.

Ein wichtiger Punkt betrifft den Flugverkehr. Für die Umrechnung der CO<sub>2</sub>-Äquivalente wurde ein RFI<sup>2</sup> berücksichtigt, welcher den erhöhten Treibhauseffekt von Flugzeugemissionen in grossen Flughöhen einberechnet (Atmosfair 2019).

Die Energiebilanz zeigt die Endenergie jedes Verkehrsträgers, die für die Fahrten aufgewendet werden müssen. Erneuerbare und nicht erneuerbare Energieträger werden dabei nicht unterschieden und alles in Kilogramm Benzin-Äquivalente dargestellt. Die Tabelle 7 zeigt die Quellen der Emissionsfaktoren, die für die Berechnungen der Klima- und Energiebilanz genutzt wurden.

Die in Tabelle 7 erwähnten Emissionsfaktoren für Luftschafstoffe werden für die Berechnung der Umweltkosten benötigt und sind deshalb auch hier aufgeführt, da diese meistens aus den gleichen Quellen stammen wie die Emissionsfaktoren der Treibhausgase.

---

<sup>2</sup> RFI = Radiative Forcing Index, beschreibt den erhöhten Treibhauseffekt von Flugzeugemissionen (insbesondere von CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O (gasförmig) und Stickoxiden) in grossen Flughöhen. Die Erwärmungswirkung aller Flugemissionen ist rund 3-mal so hoch, wie wenn nur CO<sub>2</sub> betrachtet wird. Dieser Effekt spielt bei Flügen ab einer Höhe von 9000 Metern eine Rolle und wurde in den Berechnungen ab dieser Höhe berücksichtigt.

Tabelle 7: Datengrundlage der genutzten Emissionsfaktoren

Haupt- Verkehrsträger	Quellen der Emissionsfaktoren	
	Direkter Betrieb	Vor- und nachgelagerte Prozesse
Bahn	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ PM10 non-exhaust: Ecoinvent 3.10</li> <li>▪ Energieverbrauch: Betriebsangaben TGV Lyria</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ CO<sub>2</sub>-eq: Betriebsangaben TGV Lyria</li> <li>▪ Luftschadstoffe: EcotransitWorld und Mobitool 3.0</li> <li>▪ Energiebereitstellung: Mobitool 3.0</li> </ul>
Flugzeug	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ CO<sub>2</sub>-eq: Atmosfair GmbH 2024a</li> <li>▪ Luftschadstoffe: Mobitool 3.0</li> <li>▪ Energieverbrauch: Mobitool 3.0</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ CO<sub>2</sub>-eq: Atmosfair 2024a und Ecoinvent 3.10</li> <li>▪ Luftschadstoffe: Mobitool 3.0</li> <li>▪ Energieverbrauch: Mobitool 3.0</li> </ul>
Fernbus	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ CO<sub>2</sub>-eq: HBEFA 4.2</li> <li>▪ Luftschadstoffe: HBEFA 4.2</li> <li>▪ Energieverbrauch: HBEFA 4.2</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ CO<sub>2</sub>-eq: Mobitool 3.0</li> <li>▪ Luftschadstoffe: Mobitool 3.0</li> <li>▪ Energieverbrauch: Mobitool 3.0</li> </ul>
PKW konventionell	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ CO<sub>2</sub>-eq: HBEFA 4.2</li> <li>▪ Luftschadstoffe: HBEFA 4.2</li> <li>▪ Energieverbrauch: HBEFA 4.2</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ CO<sub>2</sub>-eq: Mobitool 3.0</li> <li>▪ Luftschadstoffe: Mobitool 3.0</li> <li>▪ Energieverbrauch: Mobitool 3.0</li> </ul>
PKW BEV	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ CO<sub>2</sub>-eq: HBEFA 4.2</li> <li>▪ Luftschadstoffe: HBEFA 4.2</li> <li>▪ Energieverbrauch: HBEFA 4.2</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ CO<sub>2</sub>-eq: Mobitool 3.0</li> <li>▪ Luftschadstoffe: Mobitool 3.0</li> <li>▪ Energieverbrauch: Mobitool 3.0</li> </ul>

Tabelle INFRAS.

## Grundlagen der Umwelt- und Unfallkosten

Die gesamten Umweltkosten setzen sich aus fünf unterschiedliche Kostenkategorien zusammen. Tabelle 8 zeigt diese Kostenkategorien und beschreibt, was sie beinhalten.

**Tabelle 8: Berücksichtigte Kostenkategorien für Umwelt- und Unfallkosten**

Kostenkategorien	Beschreibung
Klimakosten	Kosten infolge der Emission von Treibhausgasen und der daraus folgenden Klima- veränderung (Schadenskostenansatz).
Luftverschmutzungskosten	Die Umweltkosten infolge der Emissionen von Luftschadstoffen umfassen fol- gende vier Teilkategorien: Gesundheitskosten, Ernteauffälle, Gebäude- und Mate- rialschäden sowie Biodiversitätsverluste.
Kosten vor- und nachgela- gter Prozesse	Folgekosten durch Emission von Treibhausgasen und Luftschadstoffen aus Herstel- lung, Unterhalt und Entsorgung von: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Energieträgern (Treibstoffe, Strom)</li> <li>▪ Fahrzeugen</li> <li>▪ Verkehrsinfrastruktur</li> </ul> Monetarisierung analog zu Luftverschmutzungs- und Klimakosten (vgl. oben)
Unfallkosten	Verkehrsunfälle (Schadenskostenansatz); hierunter fallen Kosten, die nicht vom Un- fallverursacher oder von den beteiligten Personen getragen werden.
Lärmkosten	Lärmbedingte Gesundheitskosten und Kosten durch Lärmbelästigung (Schadens- kosten).

Tabelle INFRAS.

Auf Grundlage der berechneten Klimabilanz und der Luftschadstoffemissionen wurden anhand von spezifischen Kostensätzen die Umweltkosten berechnet. Das gleiche Vorgehen wurde auch bei den vor- und nachgelagerten Prozessen angewandt. Diese Prozesse berücksichtigen eben-  
falls Treibhausgase und Luftschadstoffe. Der Klimakostensatz stammt aus dem jährlich aktuali-  
sierten Bericht des Bundesamts für Raumentwicklung „Kosten und Nutzen des Verkehrs in der  
Schweiz 2016“ (ARE 2019). Der Kostensatz wurde auf das Jahr 2023 fortgeschrieben und be-  
trägt somit 154 CHF pro Tonne CO<sub>2</sub>. Die Kostensätze der Luftschadstoffe stammen aus der Pub-  
likation „Handbook of the external cost of transport“ der Europäischen Kommission (DG MOVE  
2019). Das Handbuch enthält für alle europäischen Länder eigene Kostensätze zu allen wichti-  
gen Luftschadstoffen. Auch diese wurden auf das Jahr 2023 fortgeschrieben.

Bei den Unfall- und Lärmkosten wurde etwas anders vorgegangen. Diese wurde nicht über  
ein Mengengerüst berechnet, welches dann anhand von Kostensätzen monetarisiert wurde. Sie  
wurden direkt anhand von typischen Unfall- und Lärmkostensätze pro Personenkilometer



berechnet. Diese stammen ebenfalls aus dem „Handbook of the external cost of transport“ der Europäischen Kommission (DG MOVE 2019). Dabei handelt es sich um länderspezifische Kostensätze für Frankreich. Bei den Kostensätzen der Bahn wurden in der EU-Studie spezifische Werte für Hochgeschwindigkeitszüge abgeleitet. Auch wenn auf den betrachteten Relationen auf der Schiene und im Luftverkehr keine Unfälle stattfanden in den letzten zehn Jahren, werden aufgrund der Konsistenz die entsprechenden Durchschnittswerte genutzt. Allerdings sind die Unfallkosten beim Schienen- und Luftverkehr auch so vernachlässigbar klein. Bei den Verkehrsträgern auf der Strasse sind für die betrachteten Relationen auch keine exakten Unfallzahlen vorhanden, weshalb ebenfalls mit Durchschnittswerten für Autobahnen gerechnet wurde.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1. Klimabilanz

In diesem Abschnitt werden die Klimabilanzen der betrachteten Verkehrsträger für alle fünf Relationen aufgezeigt. Die Resultate werden die Treibhausgasemissionen in CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Person und Fahrt dargestellt. Tabelle 9 gibt einen Überblick über die gesamten Treibhausgasemissionen für die untersuchten Strecken und die Verkehrsträger. Diese Übersicht zeigt deutlich, dass die Fahrt mit dem TGV Lyria die geringsten Treibhausgasemissionen verursacht.

**Tabelle 9: Klimabilanz für die untersuchten Relationen: CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Person und Strecke für verschiedene Verkehrsträger.**

Relation	Klimabilanz (Kg CO <sub>2</sub> -Äq./Person)						
	Bahn	Flugzeug	Fernbus	PKW Ø	PKW Arbeit	e-PKW Ø	e-PKW Arbeit
Genf-Paris	2.6	114.8	15.1	98.8	138.7	56.5	79.4
Lausanne-Paris	2.4	114.8	15.1	98.4	138.2	51.2	71.9
Basel-Paris	2.7	112.8	16.1	97.0	136.1	50.4	70.8
Zürich-Paris	3.1	131.9	18.3	108.7	152.6	56.5	79.4
Lausanne-Marseille	2.9	93.0	16.0	108.0	151.6	56.2	78.8

Tabelle INFRAS.

Die Treibhausgasemissionen werden in den Grafiken aufgeschlüsselt nach Energiebereitstellung, Herstellung der Fahrzeuge und Infrastruktur und nach den Emissionen des direkten Betriebs. Gemäss der Norm SN EN 16258<sup>3</sup> müssten nur die Emissionen des direkten Betriebs und diejenigen der Energiebereitstellung ausgewiesen werden. In der vorliegenden Klimabilanz werden zusätzlich noch die Emissionen der Herstellung der Fahrzeuge und der Infrastruktur berücksichtigt. In der ersten Relation Genf – Paris wird zusätzlich noch eine Analyse und eine Grafik zu einem Tür-zu-Tür Vergleich gezeigt. Das heisst, dass zusätzlich der Vor- und Nachlauf einer Reise auf der Relation Genf - Paris berücksichtigt wird. Bei den darauffolgenden Relationen sind diese Grafiken zwecks Übersichtlichkeit im Annex abgelegt.

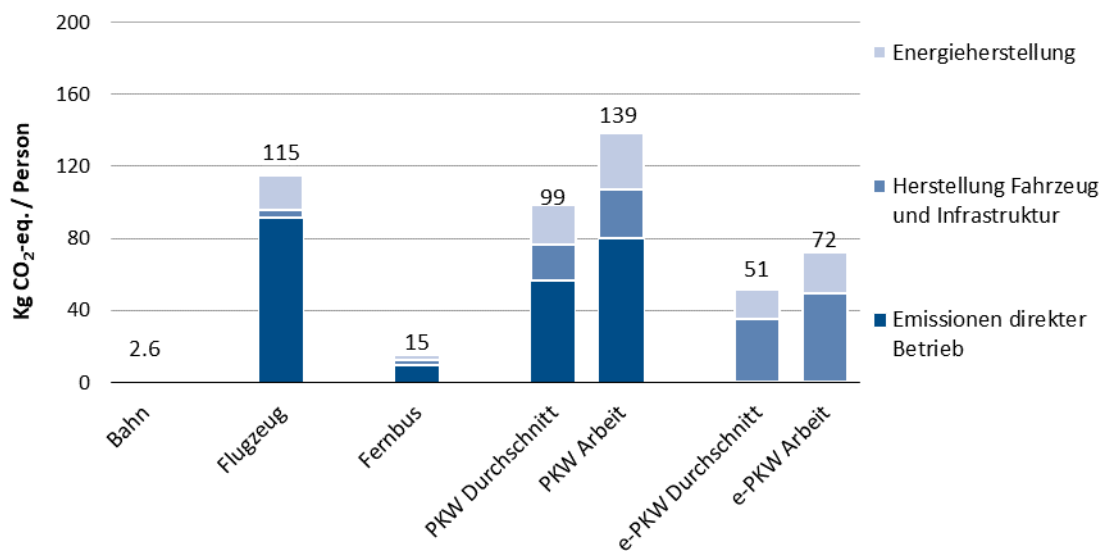
#### Genf – Paris

Die Abbildung 1 zeigt die Ergebnisse der Klimabilanz der Relation Genf – Paris für die betrachteten Verkehrsträger. Dargestellt sind die Kilogramm CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Person und Fahrt, aufgeschlüsselt nach Energiebereitstellung, Herstellung der Fahrzeuge und Infrastruktur und

<sup>3</sup> Die Norm SN EN 16258 beschreibt eine Methode zur Berechnung und Deklaration des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen bei Transportdienstleistungen. Die Norm ist ein Standard vom Europäischen Komitee für Normung (CEN; französisch Comité Européen de Normalisation)

nach den Emissionen des direkten Betriebs. Bei den PKW sind zusätzlich noch zwei verschiedenen Auslastungen angegeben. «Arbeit» bedeutet, dass eine tiefere Auslastung von 1.09 Person pro Fahrzeug (gemäss Statistik für Geschäftsfahrten), anstelle des Durchschnittswerts von 1.53 Personen pro Fahrzeug (ARE 2023), berechnet wurden. Für die Reise von Genf nach Paris (Stadtzentrum bis Stadtzentrum) verursacht der TGV Lyria mit 2.6 Kg CO<sub>2</sub>-Äq. pro Person und Fahrt die niedrigsten THG-Emissionen. Das Verkehrsmittel mit den nächsthöheren Emissionen pro Person und Fahrt ist der Fernbus mit rund 15 Kg CO<sub>2</sub>-Äq., gefolgt vom elektrischen PKW mit rund 51 Kg CO<sub>2</sub>-Äq. Die höchsten Treibhausgasemissionen pro Person und Fahrt emittieren das Flugzeug (115 Kg CO<sub>2</sub>-Äq.) und der konventionelle PKW (99 Kg CO<sub>2</sub>-Äq. bzw. 139 Kg CO<sub>2</sub>-Äq.).

**Abbildung 1: Klimabilanz Genf - Paris: CO<sub>2</sub>-Äq. pro Person und Fahrt für unterschiedliche Verkehrsträger**



Grafik INFRAS.

Tabelle 10 zeigt die Emissionen aufgeschlüsselt nach ihrem Ursprung. Dabei wird ersichtlich, dass die elektrisch betriebenen Verkehrsträger Bahn und e-PKW keine direkten Emissionen emittieren.

Gemäss der Norm SN EN 16258 müssten nur die Emissionen des direkten Betriebs und diejenigen der Energiebereitstellung ausgewiesen werden. Bei der Bahn (TGV Lyria) würde damit nur die Traktion mit 1.1 Kg CO<sub>2</sub>-Äq. pro Person berücksichtigt, die rund 40% der gesamten Emissionen ausmacht. Dieses Verhältnis ist zum Beispiel bei den Flugzeugen umgekehrt. Da machen direkten Emissionen und die Energiebereitstellung zusammen, mit rund 110 Kg CO<sub>2</sub>-

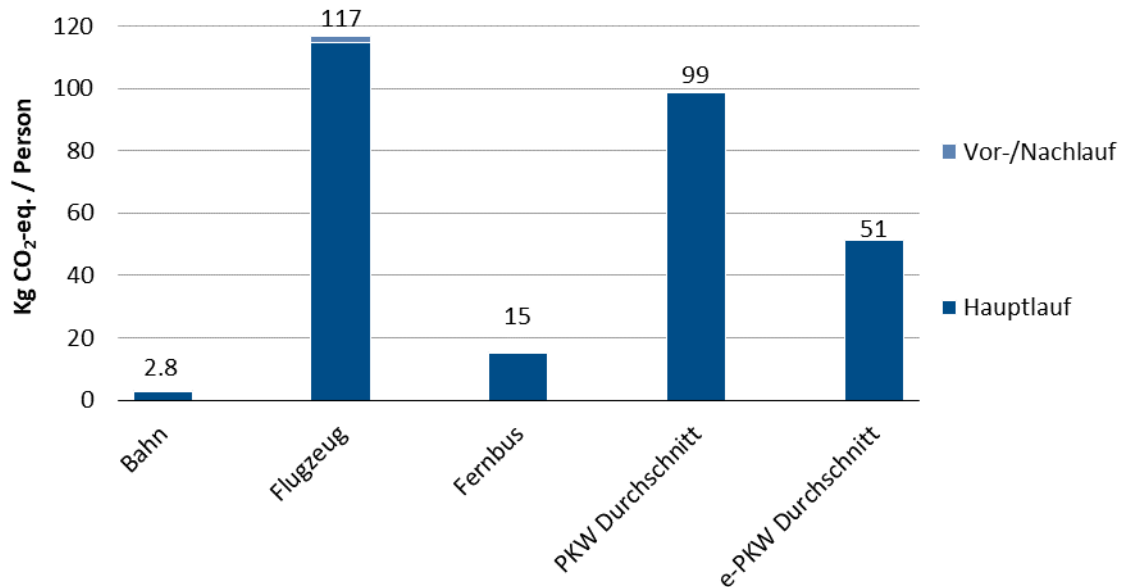
Äq. pro Person rund 95% der gesamten Emissionen aus. Wenn somit in ökologischen Verkehrsträgervergleichen nur die von der Norm geforderten Parameter berücksichtigt werden, emittiert die Fahrt mit der Bahn rund 70 bis 100-mal weniger CO<sub>2</sub>-Äq. als ein Flug auf der gleichen Relation. Ähnlich, aber nicht ganz so ausgeprägt, sieht es bei den PKWs aus, wo bei den Verbrennern die Energiebereitstellung und die direkten Emissionen zusammen einen deutlich höheren Anteil an den gesamten Emissionen ausmachen als bei den elektrischen PKW.

**Tabelle 10: Treibhausgasemissionen Genf – Paris nach Quelle der Emissionen**

kg CO <sub>2</sub> -eq / Person	Bahn	Flugzeug	Fernbus	PKW Durchschnitt	PKW Arbeit	e-PKW Durchschnitt	e-PKW Arbeit
Emissionen direkter Betrieb	0	91	10	57	80	0	0
Energiebereitstellung	1.1	19	2.6	22.4	31	16	23
Herstellung Fahrzeug und Infrastruktur	1.4	4.0	2.7	20	27	35	49
<b>Total</b>	<b>2.6</b>	<b>115</b>	<b>15</b>	<b>99</b>	<b>139</b>	<b>51</b>	<b>72</b>
<i>Total gemäss Norm SN EN 16258</i>	<i>1.1</i>	<i>111</i>	<i>12</i>	<i>79</i>	<i>111</i>	<i>16</i>	<i>23</i>

Tabelle INFRAS.

Die Abbildung 2 zeigt den gleichen Vergleich wie oben, allerdings mit einem Vor- und Nachlauf. Das heisst, hier wurde ein sogenannter Tür-zu-Tür Vergleich gemacht und jeweils noch die Fahrten von und zum Bahnhof, Flughafen oder Busstation berücksichtigt (für Details siehe Tabelle 6). Auffallend ist, dass der Anteil des Vor- und Nachlaufs an den gesamten Emissionen insgesamt sehr klein ist. Anteilsmässig am grössten sind die THG-Emissionen des Vor- und Nachlaufs mit knapp 14% bei Reisen mit dem TGV Lyria (in der Grafik fast nicht ersichtlich aufgrund der tiefen absoluten Werte). Beim Flugzeug sind es knapp 2% und beim Fernbus rund 1%.

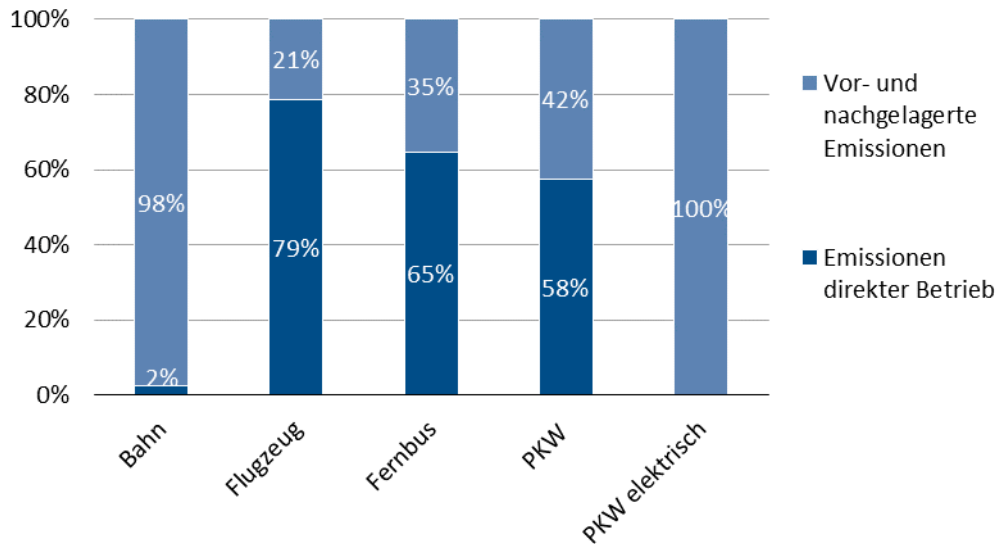
Abbildung 2: Klimabilanz Genf - Paris: CO<sub>2</sub>-Äq. pro Person und Fahrt für unterschiedliche Verkehrsträger

Grafik INFRAS.

In Abbildung 3 werden die Anteile der vor- und nachgelagerten THG-Emissionen an den gesamten THG-Emissionen einer Fahrt von Genf nach Paris dargestellt (inkl. Vor- und Nachlauf). Die vor- und nachgelagerten Prozesse beinhalten Produktion, Unterhalt und Entsorgung der Fahrzeuge, der Infrastruktur und der Energie.

Bei den elektrischen PKWs werden während der Fahrt keine THG-Emissionen verursacht. Somit stammen 100% der THG-Emissionen aus vor- und nachgelagerten Prozessen. Produktion, Unterhalt und Entsorgung der Fahrzeuge, der Infrastruktur und des Stroms sind alles vor- und nachgelagerte Prozesse. Beim TGV Lyria stammen rund 98% der THG-Emissionen aus vor- und nachgelagerten Prozessen und rund 2% aus dem direkten Betrieb. Die Emissionen des direkten Betriebs bei der Bahn stammen alle aus dem Vor- und Nachlauf (z.B. Busfahrt zum Bahnhof). Der Hauptlauf der Bahn verursacht ebenfalls keine THG-Emissionen. Beim konventionellen PKW stammen rund 42% der THG-Emissionen aus vor- und nachgelagerten Prozessen. Beim Fernbus sind es rund 35% und bei der Reise mit dem Flugzeug etwa 21%.

Abbildung 3: Anteil der vor- und nachgelagerten THG-Emissionen an den gesamten THG-Emissionen

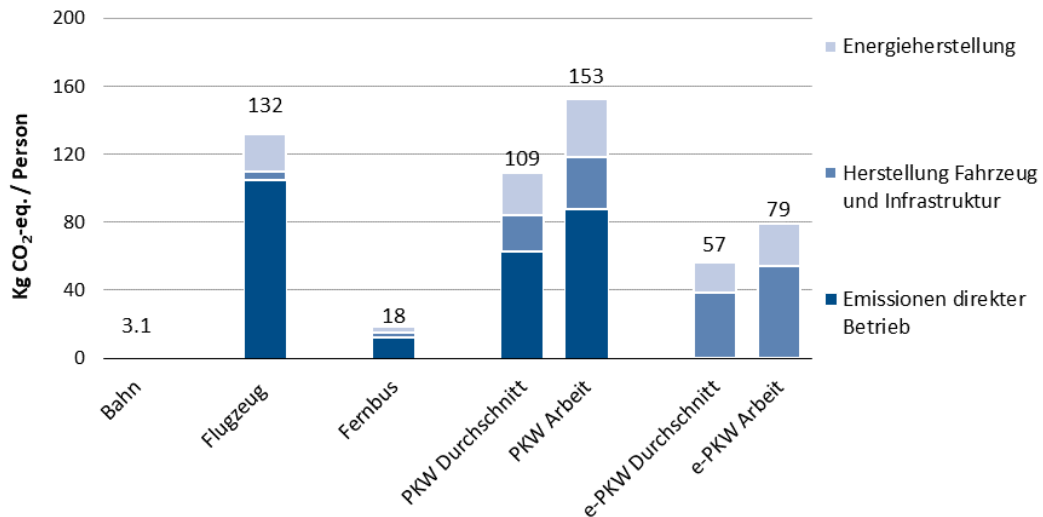


Grafik INFRAS.

### Zürich – Paris

Reiste man mit dem TGV Lyria von Zürich nach Paris, verursachte das pro Kopf und Fahrt rund 3.1 Kg CO<sub>2</sub>-Äq. Etwas höhere Emissionen pro Kopf verursacht mit rund 18 Kg CO<sub>2</sub>-Äq. eine Fahrt mit dem Fernbus von Zürich nach Paris. Bei den Personenwagen sieht es folgendermassen aus: Die Fahrt mit einem elektrischen PW verursacht rund 57 Kg CO<sub>2</sub>-Äq., mit einem konventionellen Verbrennungsmotor rund 109 Kg CO<sub>2</sub>-Äq. Mit tieferer Auslastung (z.B. Geschäftsreisen) erhöhen sich die Emissionen pro Kopf durchschnittlich auf 79 Kg CO<sub>2</sub>-Äq. beim elektrischen PW und auf 153 Kg CO<sub>2</sub>-Äq. beim konventionellen PW. Flugreisen verursachen 132 Kg CO<sub>2</sub>-Äq pro Person und Reise.

**Abbildung 4: Klimabilanz Zürich – Paris: CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Person und Fahrt für unterschiedliche Verkehrsträger**

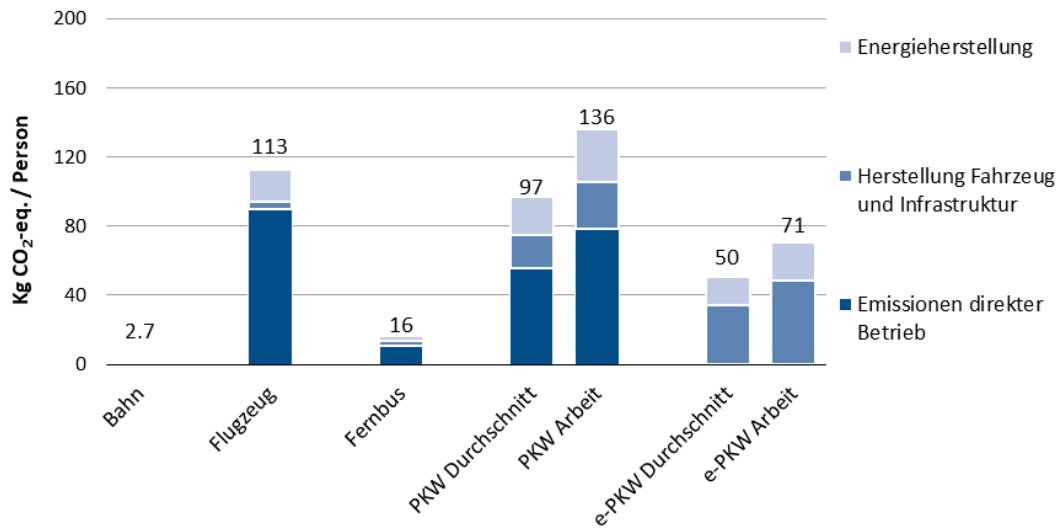


Grafik INFRAS.

### Basel – Paris

Vergleicht man für die Reise von Basel nach Paris die THG-Emissionen verschiedener Verkehrsträger, zeigt sich, dass der TGV Lyria pro Person und Fahrt mit 2.7 Kg CO<sub>2</sub>-Äq. die niedrigsten THG-Emissionen verursacht. Eine Fahrt mit dem Fernbus verursacht 16 Kg CO<sub>2</sub>-Äq. pro Person. Bei den PKW verursacht eine Fahrt mit dem konventionellen PKW pro Person rund 97 Kg CO<sub>2</sub>-Äq. und eine Fahrt mit dem elektrischen PKW rund 50 Kg CO<sub>2</sub>-Äq.. Mit der PKW-Auslastung von Geschäftsreisenden erhöhen sich die THG-Emissionen auf 136 Kg CO<sub>2</sub>-Äq. (fossil betriebene PKW) resp. 71 Kg CO<sub>2</sub>-Äq (e-PKW). Flugreisen verursachen 113 Kg CO<sub>2</sub>-Äq pro Person und Reise.

Abbildung 5: Klimabilanz Basel – Paris: CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Person und Fahrt für unterschiedliche Verkehrsträger



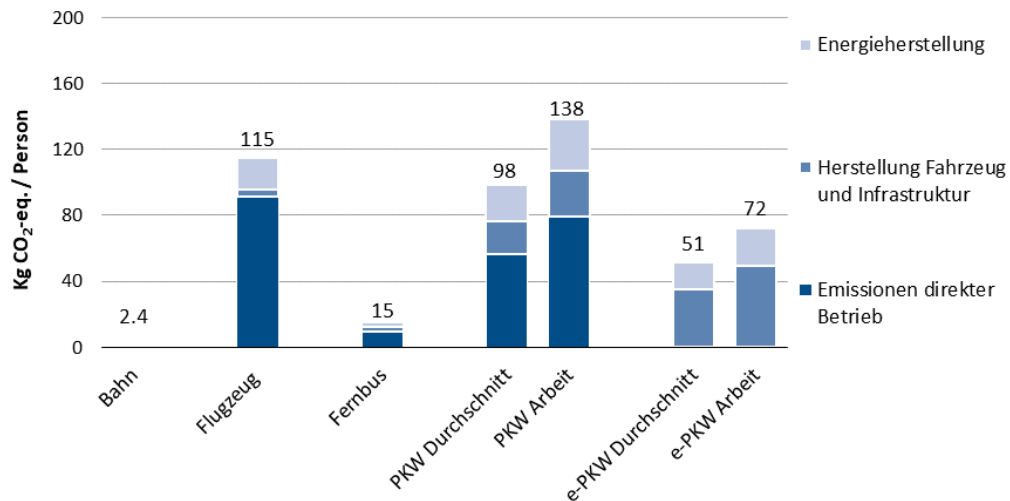
Grafik INFRAS.

### Lausanne – Paris

Für die Reise von Lausanne nach Paris verursacht ebenfalls der TGV Lyria pro Person und Fahrt mit 2.4 Kg CO<sub>2</sub>-Äq. die niedrigsten THG-Emissionen. Eine Fahrt mit dem Fernbus verursacht 15 Kg CO<sub>2</sub>-Äq. pro Person. Bei den PKW verursacht eine Fahrt mit dem konventionellen PKW pro Person rund 98 Kg CO<sub>2</sub>-Äq., eine Fahrt mit dem elektrischen PKW etwas mehr als die Hälfte davon (51 Kg CO<sub>2</sub>-Äq.). Mit der PKW-Auslastung von Geschäftsreisenden erhöhen sich die THG-Emissionen auf 138 Kg CO<sub>2</sub>-Äq. (fossil betriebene PKW) resp. 72 Kg CO<sub>2</sub>-Äq. (e-PKW). Eine Reise mit dem Flugzeug verursacht THG-Emissionen von rund 115 Kg CO<sub>2</sub>-Äq. pro Person.



**Abbildung 6: Klimabilanz Lausanne - Paris: CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Person und Fahrt für unterschiedliche Verkehrsträger**

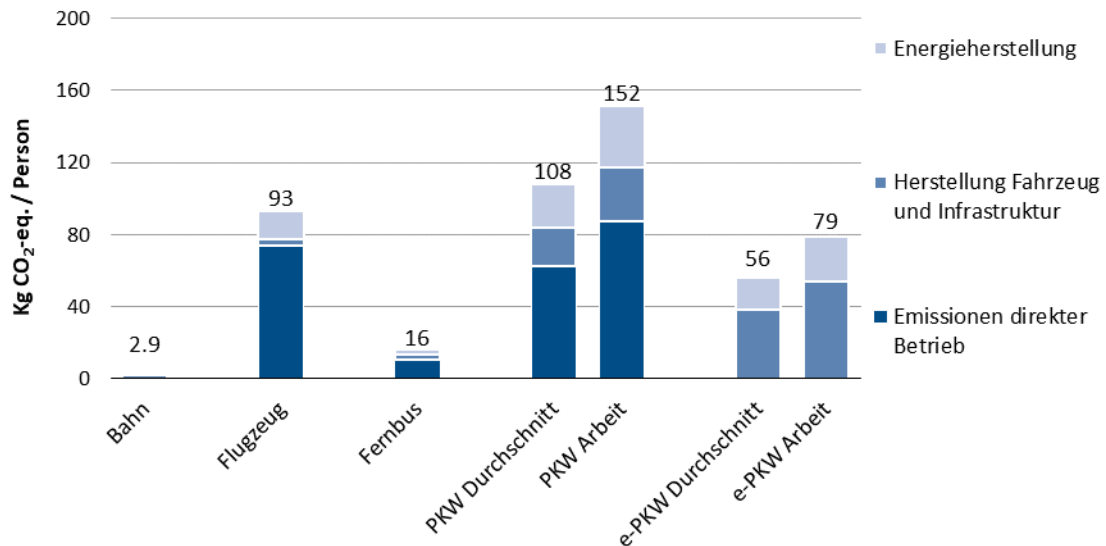


Grafik INFRAS.

### Lausanne – Marseille

Für die Reise von Lausanne nach Marseille verursacht der TGV Lyria pro Person und Fahrt mit 2.9 Kg CO<sub>2</sub>-Äq. die niedrigsten THG-Emissionen. Eine Fahrt mit dem Fernbus verursacht 16 Kg CO<sub>2</sub>-Äq. pro Person. Bei den PKW verursacht eine Fahrt mit dem konventionellen PKW pro Person rund 108 Kg CO<sub>2</sub>-Äq., eine Fahrt mit dem elektrischen PKW etwas weniger als die Hälfte davon (56 Kg CO<sub>2</sub>-Äq.). Mit der PKW-Auslastung von Geschäftsreisenden erhöhen sich die THG-Emissionen auf 152 Kg CO<sub>2</sub>-Äq. (fossil betriebene PKW) resp. 79 Kg CO<sub>2</sub>-Äq. (e-PKW). Eine Reise mit dem Flugzeug verursacht THG-Emissionen von rund 93 Kg CO<sub>2</sub>-Äq. pro Person.

Abbildung 7: Klimabilanz Lausanne - Marseille: CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Person und Fahrt für unterschiedliche Verkehrsträger



Grafik INFRAS.

### Veränderung seit 2019

Die Aktualisierung der ehemals geschätzten Daten für die TGV Lyria-Flotte beinhaltet eine Reduktion des Energieverbrauchs pro Zugkilometer, eine Reduktion der CO<sub>2</sub>-Äquivalent-Emissionen pro Kilowattstunde, aber auch eine leicht reduzierte Zahl der Auslastung. In Kombination führt dies zu einer Gesamtverringering des CO<sub>2</sub>-Fussabdrucks für Reisen mit dem TGV Lyria. Darüber hinaus führte die Aktualisierung zu einer leichten Verringerung der Treibhausgasemissionen im Flugverkehr, während die Emissionen des Pkw-Verkehrs anstiegen. Dies ist auf eine Aktualisierung des Auslastungsgrads zurückzuführen, der mit der neuen Veröffentlichung des Mikrozensus (ARE 2023) für den Pkw von durchschnittlich 1.6 auf 1.53 gesunken ist, während er laut IATA (IATA 2023) für den Flugverkehr zwischen 2019 und 2023 um 2.1 % gestiegen ist. Die Aktualisierung der Emissionsfaktoren für die vor- und nachgelagerten Prozesse führte zu höheren Emissionen, insbesondere bei E-Autos. Dies liegt daran, dass die hier verwendeten Emissionsfaktoren aus Mobitool 3.0 höher sind, als die ursprünglich verwendeten Emissionsfaktoren.

## 3.2. Endenergiebilanz

In der Endenergiebilanz wird die Energie bilanziert, die pro Person und Fahrt eingesetzt wird. Typischerweise wird die Endenergie in Kilogramm Benzin-Äquivalente umgerechnet. Dabei wird die Energieeffizienz der verschiedenen Verkehrsträger im Betrieb verglichen. Nicht berücksichtigt wird dabei die Energie, die für die vor- und nachgelagerten Prozesse aufgewendet wird. Dies ist bewusst so gehalten, weil sonst nicht die Energieeffizienz der Verkehrsträger, sondern diejenige der Energiesysteme dahinter verglichen würden. Das heisst, hier wird z.B. die Effizienz eines Elektromotors mit derjenigen eines Verbrennungsmotors verglichen, und nicht der Energieaufwand der Herstellung von Atom- oder Wasserstrom mit dem Energieaufwand der Herstellung von Diesel. Tabelle 11 gibt einen Überblick über die Ergebnisse für alle Fahrten; Einzelheiten werden in den folgenden Abschnitten erörtert.

**Tabelle 11: Endenergiebilanz: Kilogramm Benzin-Äquivalent per Person und Relation**

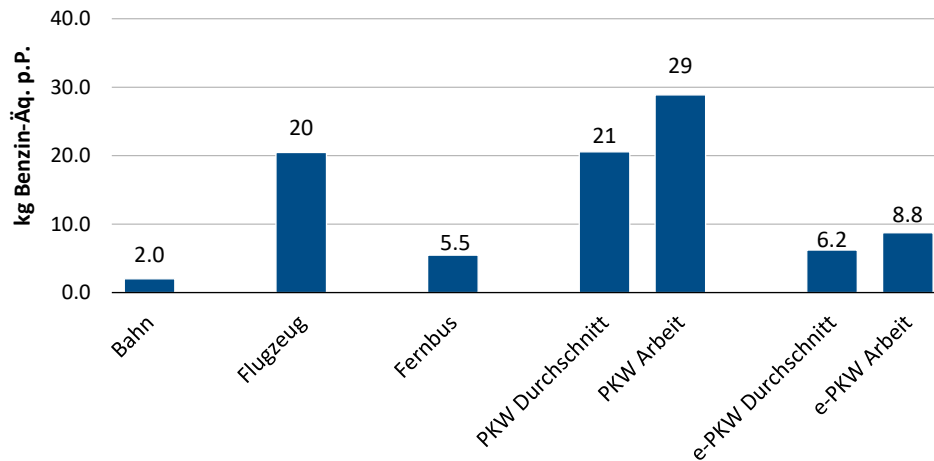
Relation	Endenergiebilanz (Kg Benzin Äq./Person)						
	Bahn	Flugzeug	Fernbus	PKW Ø	PKW Arbeit	e-PKW Ø	e-PKW Arbeit
Genf-Paris	2.0	20.5	5.5	20.6	28.9	6.2	8.8
Lausanne-Paris	2.4	21.8	5.9	20.5	28.8	6.2	8.7
Basel-Paris	2.2	20.7	5.9	20.2	28.4	6.1	8.6
Zürich-Paris	2.6	23.7	6.7	22.6	31.8	6.9	9.6
Lausanne-Marseille	3.3	18.6	6.8	22.5	31.6	6.8	9.6

Tabelle INFRAS.

### Genf – Paris

Im Vergleich der untersuchten Verkehrsträger zeigt die TGV Lyria Flotte auf der Relation Genf – Paris mit rund 2 Kg Benzin-Äq. pro Person und Fahrt den niedrigsten Endenergieverbrauch. Der Fernbus verbraucht rund 5.5 Kg Benzin-Äq. pro Person und Fahrt und der elektrische PKW rund 6.2 Kg Benzin-Äq. Bei den PKWs erhöht sich der Energieverbrauch im Fall einer tieferen Auslastung bei Geschäftsreisen auf 8.8 (e-PKW). Das Flugzeug verbraucht rund 20 Kg Benzin-Äq. Der fossil betriebene PW verbraucht bei Geschäftsreisen, also mit einer niedrigeren Auslastung, mit 29 Kg Benzin-Äq. am meisten Energie.

**Abbildung 8: Endenergieverbrauch pro Person und Fahrt verschiedener Verkehrsträger auf der Relation Genf - Paris**

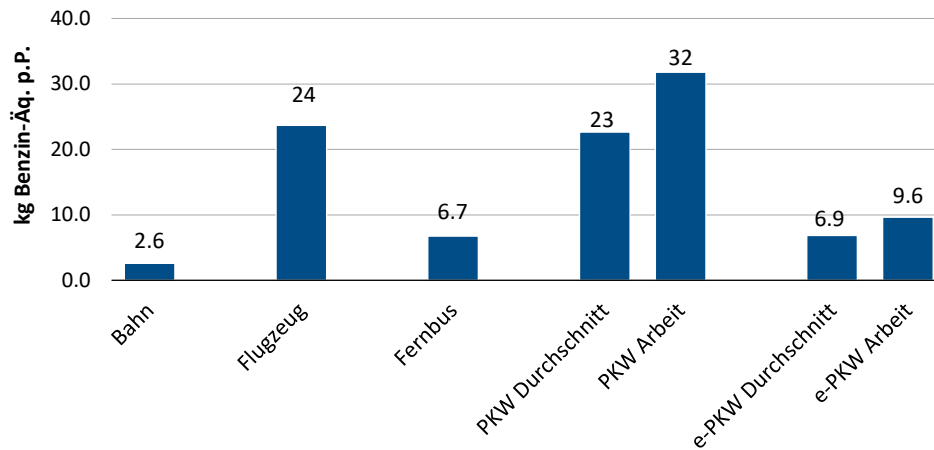


Grafik INFRAS.

### Zürich – Paris

Die Abbildung 9 zeigt den Endenergieverbrauch pro Person und Fahrt von Zürich nach Paris. Die Bahnfahrt mit dem TGV Lyria hat mit rund 2.6 Kg Benzin-Äq. den niedrigsten Energieverbrauch pro Person. Knapp dreimal so hoch ist der Energieverbrauch der Fernbusse mit 6.7 Kg Benzin-Äq. und derjenige eines durchschnittlich ausgelasteten Elektro-PKW mit 6.9 kg Benzin-Äq.. Der konventionelle PKW verbraucht rund 23 Kg Benzin-Äq., im Flugzeug sind es rund 24 Kg Benzin-Äq.. Bei den PKWs erhöht sich der Energieverbrauch im Fall einer tieferen Auslastung bei Geschäftsreisen auf 9.6 (e-PKW) resp. 32 Kg Benzin-Äq. (fossil betriebene PKW).

**Abbildung 9: Endenergieverbrauch pro Person und Fahrt verschiedener Verkehrsträger auf der Relation Zürich - Paris**

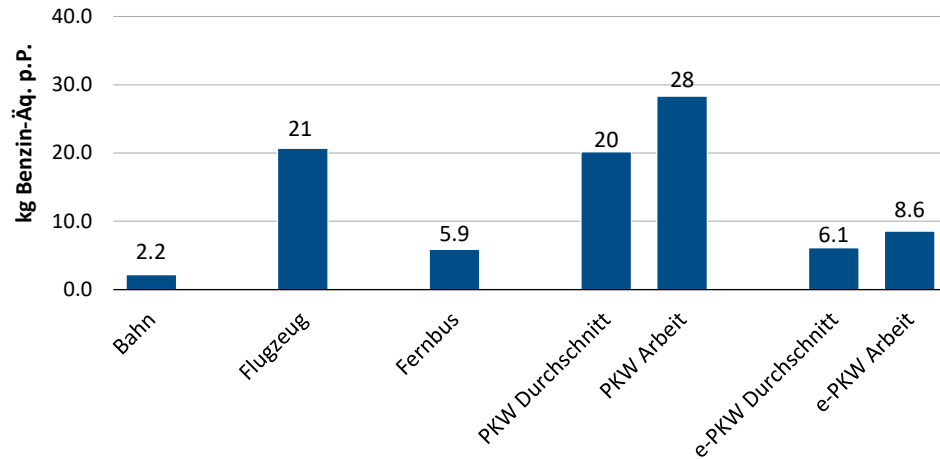


Grafik INFRAS.

### Basel – Paris

Die Abbildung 10 zeigt den Endenergieverbrauch pro Person und Fahrt von Basel nach Paris. Die Bahnfahrt mit TGV Lyria hat mit rund 2.2 Kg Benzin-Äq. den niedrigsten Energieverbrauch pro Person. Knapp dreimal so hoch ist der Energieverbrauch der Fernbusse und derjenige eines durchschnittlich ausgelasteten Elektro-PKW mit jeweils 6.1 Kg Benzin-Äq. Der konventionelle PKW verbraucht rund 20 Kg Benzin-Äq. und im Flugzeug sind es rund 21 Kg Benzin-Äq.. Bei den PKWs erhöht sich der Energieverbrauch im Fall einer tieferen Auslastung bei Geschäftsreisen auf 8.6 (e-PKW) resp. 28 Kg Benzin-Äq. (fossil betriebene PKW).

**Abbildung 10: Endenergieverbrauch pro Person und Fahrt verschiedener Verkehrsträger auf der Relation Basel - Paris**

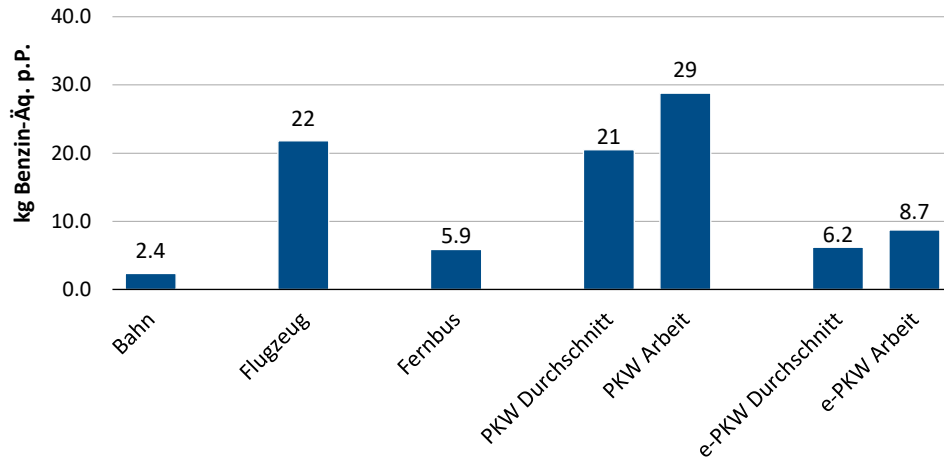


Grafik INFRAS.

### Lausanne – Paris

Die Abbildung 11 zeigt den Endenergieverbrauch pro Person und Fahrt von Lausanne nach Paris. Die Bahnfahrt mit TGV Lyria hat mit 2.4 Kg Benzin-Äq. den niedrigsten Energieverbrauch pro Person. Mehr als doppelt so hoch ist der Energieverbrauch der Fernbusse mit 5.9 Kg Benzin-Äq. und derjenige eines durchschnittlich ausgelasteten Elektro-PKW mit rund 6.2 Kg Benzin-Äq.. Der konventionelle PKW verbraucht rund 21 Kg Benzin-Äq. und im Flugzeug sind es rund 22 Kg Benzin-Äq.. Bei den PKWs erhöht sich der Energieverbrauch im Fall einer tieferen Auslastung bei Geschäftsreisen auf 8.7 (e-PKW) resp. 29 Kg Benzin-Äq. (fossil betriebene PKW).

**Abbildung 11: Endenergieverbrauch pro Person und Fahrt verschiedener Verkehrsträger auf der Relation Lausanne- Paris**

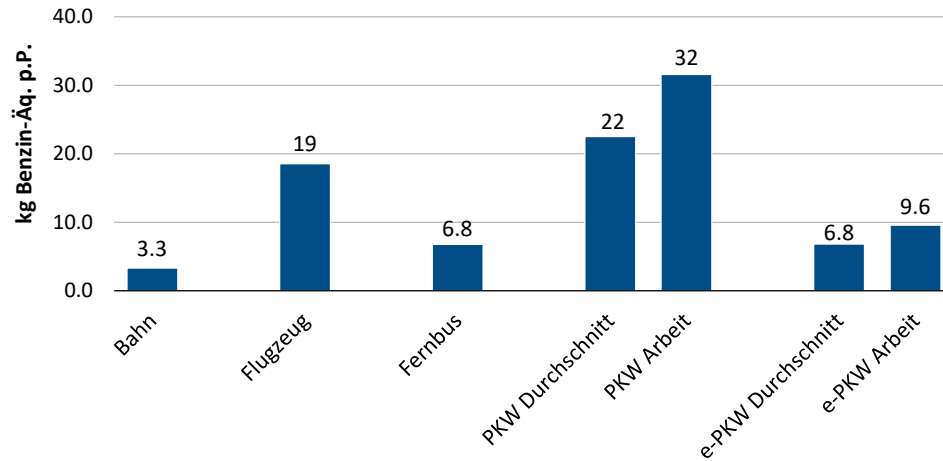


Grafik INFRAS.

### Lausanne – Marseille

Die Abbildung 12 zeigt den Endenergieverbrauch pro Person und Fahrt von Lausanne nach Marseille. Die Bahnfahrt mit TGV Lyria hat mit 3.3 Kg Benzinequivalent den niedrigsten Energieverbrauch pro Person. Etwas mehr als doppelt so hoch ist der Energieverbrauch der Fernbusse und der Elektro-PKW mit 6.8 Kg Benzinequivalent. Das Flugzeug verbraucht rund 19 Kg Benzinequivalent und im konventionellen PKW sind es rund 22 Kg Benzinequivalent. Bei den PKWs erhöht sich der Energieverbrauch im Fall einer tieferen Auslastung bei Geschäftsreisen auf 9.6 (e-PKW) resp. 32 Kg Benzinequivalent (fossil betriebene PKW).

Abbildung 12: Endenergieverbrauch pro Person und Fahrt verschiedener Verkehrsträger auf der Relation Lausanne - Marseille



Grafik INFRAS.

### Veränderung seit 2019

Seit 2019 gab es bei den Verkehrsträgern verschiedenen Entwicklungen in der Energieeffizienz, was zu Veränderungen in der Energiebilanz führt. Der TGV Lyria weist einen im Vergleich zu 2019 konstanten Energieverbrauch pro Person und Fahrt auf. Ein niedrigerer Energieverbrauch ist beim Flugzeug zu beobachten, was auf Effizienzsteigerung oder eine Anpassung der meistgenutzten Flugzeugmodelle zurückzuführen ist. Hingegen sind die Energieverbräuche bei den PKW (insb. e-PKW) und dem Fernbus (leicht) gestiegen. Grund dafür könnte, insbesondere bei PKWs, sein, dass diese zunehmend grösser und schwerer werden und damit weniger energieeffizient sind.



### 3.3. Umwelt- und Unfallkosten

In diesem Abschnitt werden die Umwelt- und Unfallkosten der betrachteten Verkehrsträger auf allen fünf Relationen aufgezeigt. Einzelheiten zu den bei dieser Berechnung berücksichtigten Aspekten sind der Tabelle 8 zu entnehmen. Die Resultate werden in CHF pro Person und Fahrt dargestellt. Einen Überblick über die Ergebnisse gibt Tabelle 12, Einzelheiten werden in den folgenden Abschnitten erörtert.

**Tabelle 12: Umwelt- und Unfallkosten: CHF pro Person und Relation**

Relation	Umwelt- und Unfallkosten (CHF/Person)						
	Bahn	Flugzeug	Fernbus	PKW Ø	PKW Arbeit	e-PKW Ø	e-PKW Arbeit
Genf-Paris	2.6	29.0	5.1	31.0	40.3	22.9	28.8
Lausanne-Paris	3.1	30.9	5.7	30.9	40.1	22.8	28.7
Basel-Paris	2.9	29.3	5.6	30.4	39.5	22.4	28.3
Zürich-Paris	3.4	33.5	6.4	34.1	44.3	25.1	31.7
Lausanne-Marseille	4.4	26.2	6.8	33.9	44.0	25.0	31.5

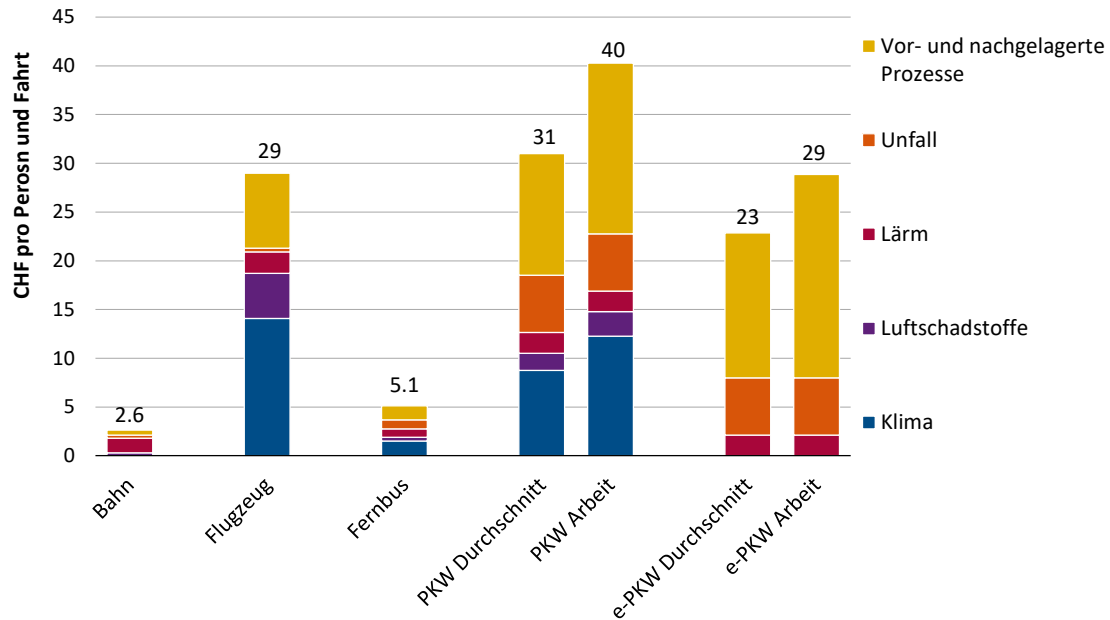
Tabelle INFRAS.

Für die erste Strecke, Genf-Paris, wird eine zusätzliche Grafik und Analyse gezeigt, die Aufschluss über die Anteile der einzelnen Kostenkategorien an den gesamten Umwelt- und Unfallkosten gibt. Für die anderen Strecken sind die zusätzlichen Diagramme im Anhang zu finden.

#### Genf – Paris

Die Abbildung 13 zeigt die durchschnittlichen Umwelt- und Unfallkosten (externe Effekte) für eine Fahrt von Genf nach Paris. Die tiefsten Umwelt- und Unfallkosten verursacht eine Reise mit dem TGV Lyria mit rund 2.6 CHF pro Person und Fahrt, gefolgt von den Fernbussen mit 5.1 CHF pro Person und Fahrt. Wählt man für die Fahrt einen Elektro-PKW, fallen durchschnittlich (Auslastung von 1.53 Personen pro PKW) 23 CHF pro Person an Umwelt- und Unfallkosten an. Mit der tieferen Auslastung von Geschäftsreisenden erhöhen sich die Kosten auf 29 CHF. Eine Reise mit dem Flugzeug von Genf nach Paris verursacht pro Person Umwelt- und Unfallkosten von rund 29 CHF. Beim konventionellen PKW mit Verbrennungsmotor fallen bei der durchschnittlichen Auslastung rund 31 CHF pro Person an. Mit der tieferen Auslastung von Geschäftsreisenden erhöhen sich die Kosten auf 40 CHF pro Person.

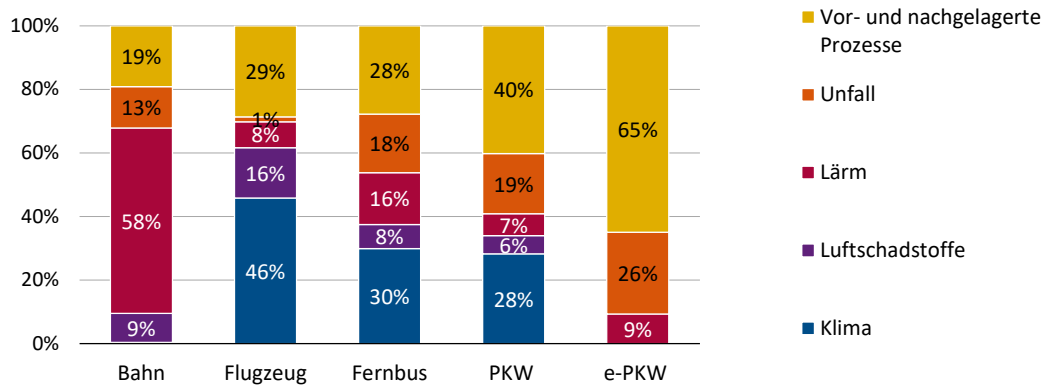
Abbildung 13: Durchschnittl. Umwelt- und Unfallkosten pro Person und Fahrt auf der Relation Genf – Paris



Grafik INFRAS.

Die Abbildung 14 zeigt die Anteile der einzelnen Kostenkategorien an den gesamten Umwelt- und Unfallkosten pro Verkehrsträger. Bei der Bahn (TGV Lyria) machen die Lärmkosten rund 58% aus, gefolgt von den vor- und nachgelagerten Prozessen mit rund 19% (für Stromproduktion, Rollmaterial und Infrastruktur) und den Unfallkosten mit 13%. Die direkten Luftschadstoffkosten und die Klimakosten machen den Rest aus (9%). Beim Luftverkehr machen die Klimakosten mit rund 46% den grössten Anteil an den gesamten Umwelt- und Unfallkosten eines Fluges aus. Die Kosten der vor- und nachgelagerten Prozesse machen rund 29% aus, die Luftschadstoffkosten verursachen 16%, Lärm 8% und die Unfallkosten noch 1%. Beim Fernbus sehen die Anteile wie folgt aus: Den grössten Anteil tragen die Klimakosten mit 30% der Gesamtkosten, die vor- und nachgelagerten Prozesse 28%, die Unfallkosten 18%, die Lärmkosten rund 16% und die Luftschadstoffe 8%. Beim konventionellen, fossil betriebenen PKW machen vor- und nachgelagerte Prozesse 40% aus, Klimakosten 28%, die Unfallkosten rund 19%, die Lärmkosten 7% und die Kosten der Luftschadstoffe rund 6%. Der elektrische PKW verursacht keine Klima- und Luftschadstoffkosten im direkten Betrieb. 65% der Kosten stammen aus den vor- und nachgelagerten Prozessen, weitere 26% aus den Unfällen und 9% sind Lärmkosten.

**Abbildung 14: Anteil der einzelnen Kostenkategorien an den gesamten Umwelt- und Unfallkosten (Genf – Paris)**

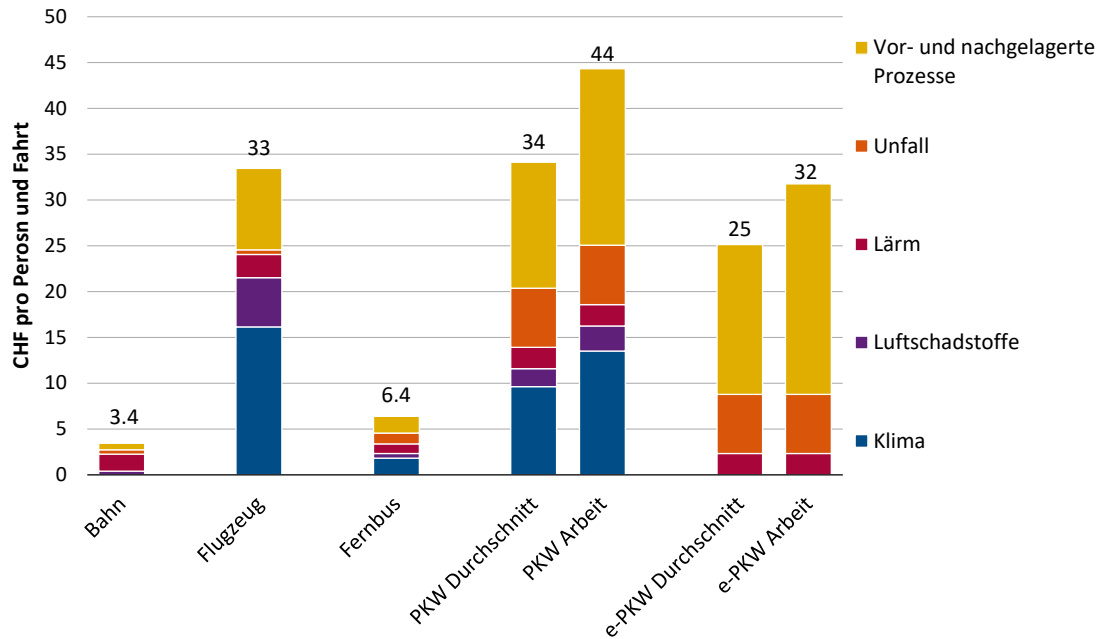


Grafik INFRAS.

### Zürich – Paris

Die Abbildung 15 zeigt die Summe der Umwelt- und Unfallkosten der einzelnen Verkehrsträger, differenziert nach den berücksichtigten Kostenkategorien. Eine Fahrt mit TGV Lyria von Zürich nach Paris verursacht Umwelt- und Unfallkosten von rund 3.4 CHF pro Person. Eine Fahrt mit dem Fernbus verursacht rund 6.4 CHF pro Person. Wählt man für die Fahrt einen Elektro-PKW, fallen durchschnittlich (Auslastung von 1.53 Personen pro PKW) 25 CHF pro Person an Umwelt- und Unfallkosten an. Mit der tieferen Auslastung von Geschäftsreisenden erhöhen sich die Kosten auf 32 CHF. Beim konventionellen PKW mit Verbrennungsmotor fallen bei der durchschnittlichen Auslastung rund 34 CHF pro Person an. Mit der tieferen Auslastung von Geschäftsreisenden erhöhen sich die Umwelt- und Unfallkosten auf 44 CHF pro Person. Bei allen PKWs gilt es zu erwähnen, dass sich die Kosten bei einer Erhöhung der Auslastung (2 bis 5 Personen pro Fahrzeug) markant verringern würden. Eine Reise mit dem Flugzeug von Zürich nach Paris verursacht pro Person Umwelt- und Unfallkosten von rund 36 CHF.

Abbildung 15: Umwelt- & Unfallkosten pro Person und Fahrt nach Verkehrsträger auf der Relation Zürich – Paris

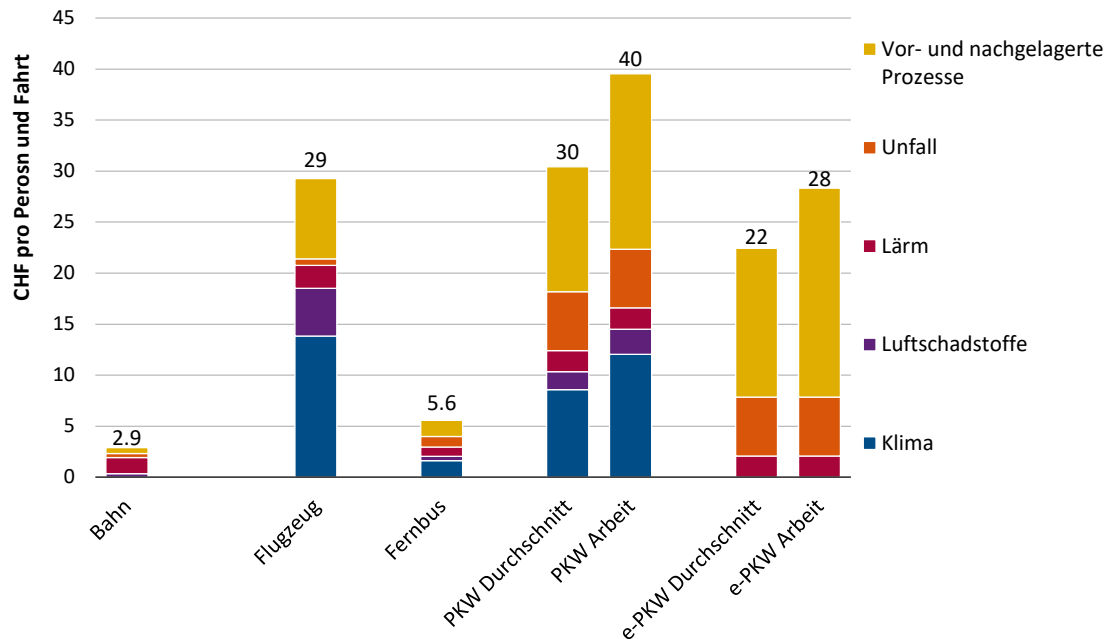


Grafik INFRAS.

### Basel – Paris

Eine Bahnfahrt mit TGV Lyria von Basel nach Paris verursacht Umwelt- und Unfallkosten von rund 2.9 CHF pro Person. Eine Fahrt mit dem Fernbus verursacht rund 5.6 CHF pro Person. Wählt man für die Fahrt einen Elektro-PKW, fallen durchschnittlich (Auslastung von 1.53 Personen pro PKW) 22 CHF pro Person an Umwelt- und Unfallkosten an. Mit der tieferen Auslastung von Geschäftsreisenden erhöhen sich die Kosten auf 28 CHF. Beim konventionellen PKW mit Verbrennungsmotor fallen bei der durchschnittlichen Auslastung rund 29 CHF pro Person an. Eine Reise mit dem Flugzeug von Zürich nach Paris verursacht pro Person Umwelt- und Unfallkosten von rund 30 CHF. Mit der tieferen Auslastung von Geschäftsreisenden erhöhen sich die Kosten auf 40 CHF pro Person.

Abbildung 16: Umwelt- und Unfallkosten pro Person und Fahrt nach Verkehrsträger auf der Relation Basel – Paris

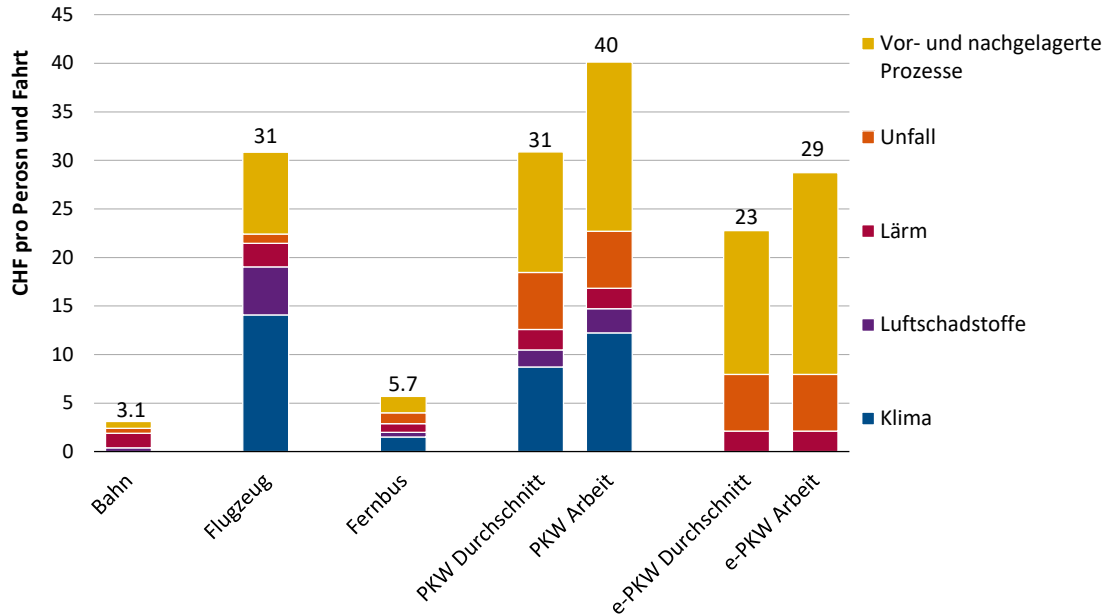


Grafik INFRAS.

### Lausanne – Paris

Eine Bahnfahrt mit TGV Lyria von Lausanne nach Paris verursacht Umwelt- und Unfallkosten von rund 3.1 CHF pro Person. Eine Fahrt mit dem Fernbus verursacht rund 5.7 CHF pro Person. Wählt man für die Fahrt einen Elektro-PKW, fallen durchschnittlich (Auslastung von 1.53 Personen pro PKW) 23 CHF pro Person an Umwelt- und Unfallkosten an. Mit der tieferen Auslastung von Geschäftsreisenden erhöhen sich die Kosten auf 29 CHF. Eine Reise mit dem Flugzeug von Genf nach Paris verursacht pro Person Umwelt- und Unfallkosten von rund 31 CHF. Beim konventionellen PKW mit Verbrennungsmotor fallen bei der durchschnittlichen Auslastung rund 31 CHF pro Person an. Mit der tieferen Auslastung von Geschäftsreisenden erhöhen sich die Kosten auf 40 CHF pro Person.

Abbildung 17: Umwelt- und Unfallkosten pro Person und Fahrt nach Verkehrsträger auf der Relation Lausanne – Paris

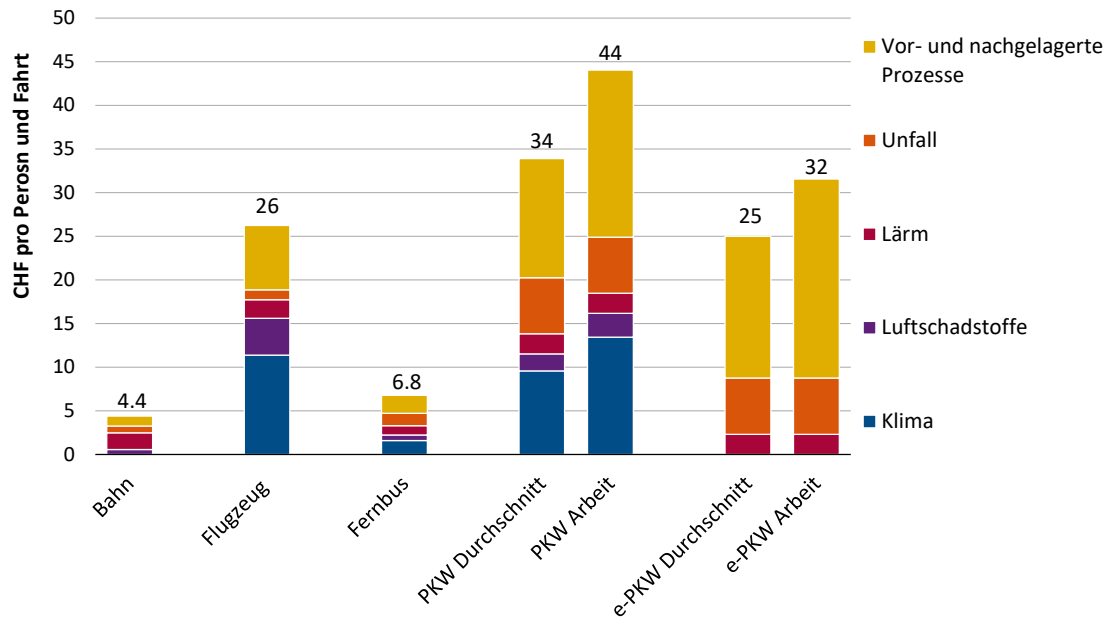


Grafik INFRAS.

### Lausanne – Marseille

Eine Bahnfahrt mit TGV Lyria von Lausanne nach Marseille verursacht Umwelt- und Unfallkosten von 4.4 CHF pro Person. Eine Fahrt mit dem Fernbus verursacht rund 6.8 CHF pro Person. Wählt man für die Fahrt einen Elektro-PKW, fallen durchschnittlich (Auslastung von 1.53 Personen pro PKW) 25 CHF pro Person an Umwelt- und Unfallkosten an. Mit der tieferen Auslastung von Geschäftsreisenden erhöhen sich die Kosten auf 32 CHF. Eine Reise mit dem Flugzeug von Genf nach Marseille verursacht pro Person in der Economy Klasse Umwelt- und Unfallkosten von rund 26 CHF. Beim konventionellen PKW mit Verbrennungsmotor fallen bei der durchschnittlichen Auslastung rund 34 CHF pro Person an. Mit der tieferen Auslastung von Geschäftsreisenden erhöhen sich die Kosten auf 44 CHF pro Person.

Abbildung 18: Umwelt- und Unfallkosten pro Person und Fahrt nach Verkehrsträger auf der Relation Lausanne – Marseille



Grafik INFRAS.

### Veränderung seit 2019

Die Umwelt- und Unfallkosten sind im Vergleich zu 2019 bei allen Verkehrsträgern gestiegen. Die Gesamtkosten sind beim Flugzeug (leicht) höher, gleiches gilt für den konventionellen PKW (sowohl Durchschnitt als auch Arbeit). Die Aktualisierung führte ebenfalls zu leichten Verschiebungen bei den prozentualen Anteilen (Vgl. Abbildung 14 und Anhang): Beim Fernbus und PKW ist der Anteil der Kosten, der durch vor- und nachgelagerte Prozesse verursacht wird, erheblich gestiegen. Hingegen ist insbesondere beim Fernbus der Anteil der durch Luftschadstoffe entstehenden Kosten niedriger.

### 3.4. Reisezeit und Arbeitszeit

Für Geschäftsreisende kann die zur Arbeit nutzbare Reisezeit ein wichtiges Kriterium für die Auswahl des Verkehrsträgers sein. Zudem gilt es zu beachten, dass nutzbare Reisezeit auch aus ökonomischer Sicht einen Nutzen hat. Aus diesem Grund werden in diesem Kapitel die zur Arbeit nutzbare Reisezeit der verschiedenen Verkehrsmittel dargestellt. In den Berechnungen sind auch die Vor- und Nachläufe mitberücksichtigt. Diesen wurden realistischerweise aber keine nutzbare Arbeitszeit angerechnet. Das Arbeiten während dem Reisen ist in diesen Fällen als Arbeiten an einem technischen Gerät (z.B. Notebook) definiert, das über das Telefonieren hinausgeht. Der Fernbus ist ein Spezialfall. Viele Fernbusse fahren über die Nacht. Grundsätzlich kann da auch gearbeitet werden, aber realistischerweise wird diese Reisezeit nicht zum Arbeiten genutzt. Einige Verbindungen gibt es auch tagsüber. Teilweise muss da aber umgestiegen werden. Es ist deshalb nicht einfach, einen durchschnittlichen Wert für Fernbusse zu berechnen. Den folgenden Beispielen liegt der Idealfall zugrunde, dass der Bus tagsüber fährt und höchstens einmal umgestiegen werden muss. Tabelle 13 gibt einen Überblick über die nutzbare Reisezeit der einzelnen Verkehrsträger. Bei Reisen mit dem Fernbus ist die mögliche Arbeitszeit am höchsten, was auch darauf zurückzuführen ist, dass die Gesamtreisezeit vergleichsweise hoch ist. Die Reise mit dem TGV Lyria bietet auf allen Strecken einen sehr hohen Anteil an nutzbarer Reisezeit.

**Tabelle 13: Nutzbare Reisezeit: Stunden pro Person pro Relation**

Relation	Nutzbare Reisezeit (h)			
	Bahn	Flugzeug	Fernbus	PKW Arbeit
Genf-Paris	3.0	0.8	7.3	0.0
Lausanne-Paris	3.5	0.8	7.1	0.0
Basel-Paris	2.9	0.9	7.7	0.0
Zürich-Paris	3.8	0.9	8.9	0.0
Lausanne-Marseille	4.2	1.9	6.8	0.0

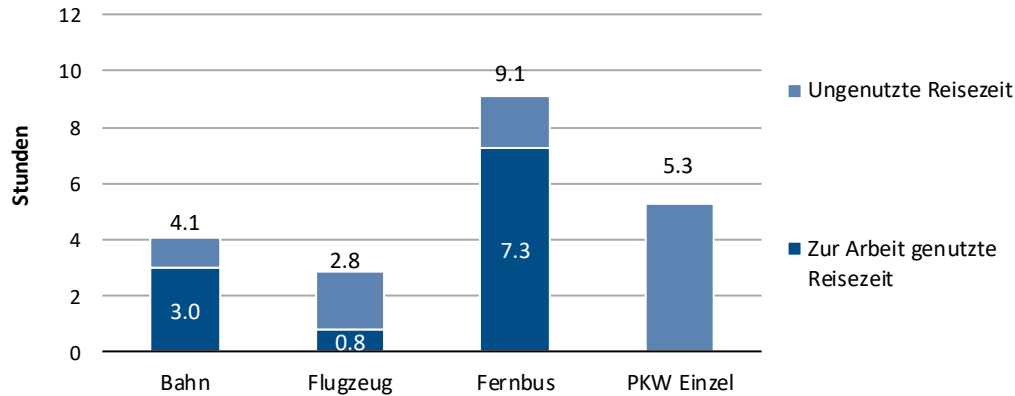
Tabelle INFRAS.

#### Genf – Paris

Drei Stunden der insgesamt rund 4 Stunden Fahrzeit von Genf nach Paris (Annemasse bis Versailles) stehen den TGV Lyria-Reisenden zum Arbeiten zur Verfügung. Im Flugzeug ist nur knapp eine Stunde der rund 3 Stunden Reisezeit produktiv nutzbar. Im Fernbus könnte theoretisch rund 7 Stunden der insgesamt 9 Stunden gearbeitet werden. In der Realität dürfte es weniger sein, da die Fahrten oft über Nacht sind. Die PKW-Fahrten auf dieser Relation dauern rund 5 Stunden. Zum Arbeiten kann davon keine Zeit genutzt werden.



Abbildung 19: Genf – Paris: Anteil der zum Arbeiten nutzbaren Reisezeit

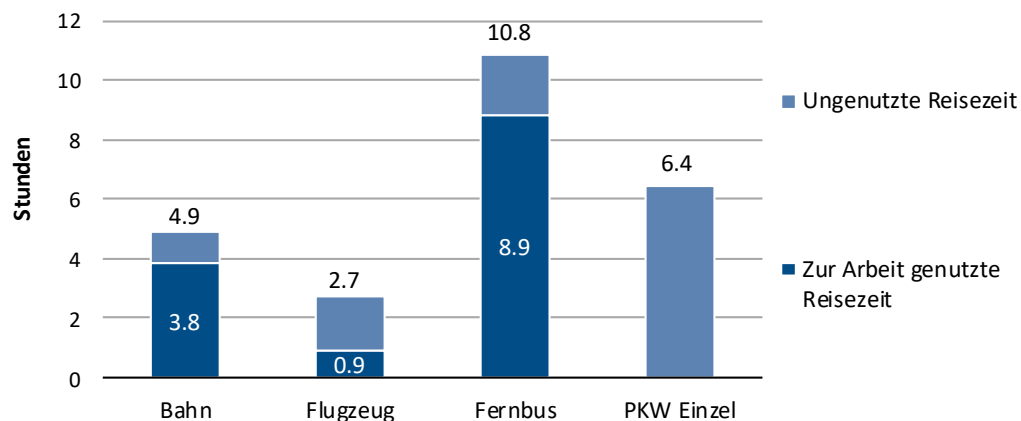


Grafik INFRAS.

### Zürich – Paris

Anteilig am meisten produktive Arbeitszeit hat ein Reisender im TGV Lyria. Fast 4 Stunden der insgesamt 5 Stunden Fahrzeit vom Stadtzentrum Zürich nach Boulogne-Billancourt stehen den Reisenden zum Arbeiten zur Verfügung. Die Reisezeit mit dem Flugzeug ist auf dieser Strecke gesamthaft die kürzeste. Allerdings kann dabei auch nur knapp eine Stunde dafür zum Arbeiten genutzt werden. Im Fernbus könnte theoretisch fast 9 Stunden der insgesamt 11 Stunden gearbeitet werden. In der Realität dürfte es aber weniger sein (Nachtfahrten). Die PKW-Fahrten auf dieser Relation dauern rund 6.4 Stunden. Zum Arbeiten kann davon keine Zeit genutzt werden.

Abbildung 20: Zürich – Paris: Anteil der zum Arbeiten nutzbaren Reisezeit

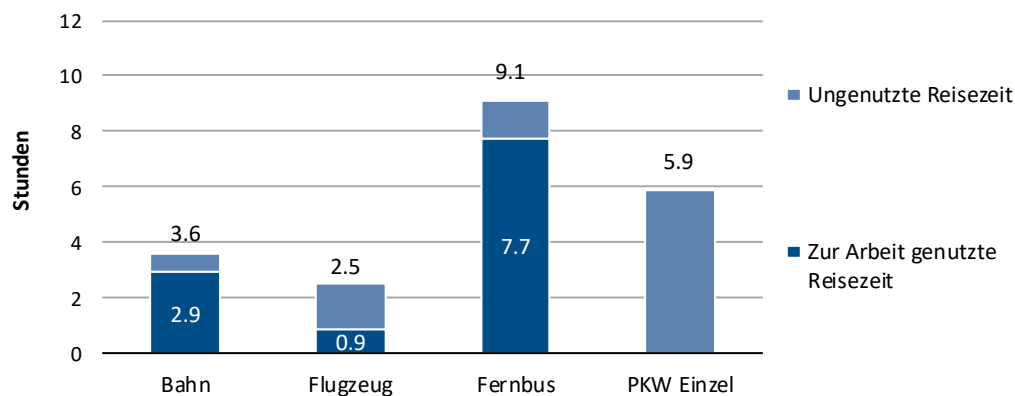


Grafik INFRAS.

### Basel – Paris

Fast 3 Stunden der insgesamt 3.6 Stunden Fahrzeit von Reinach BL ins Stadtzentrum Paris stehen den TGV Lyria-Reisenden zum Arbeiten zur Verfügung. Im Flugzeug ist nur knapp eine Stunde der insgesamt 2.5 Stunden Reisezeit produktiv nutzbar. Im Fernbus könnte theoretisch fast 8 Stunden der insgesamt 9 Stunden gearbeitet werden, in der Praxis dürfte es weniger sein (Nachtfahrten). Die PKW-Fahrten auf dieser Relation dauern rund 6 Stunden. Zum Arbeiten kann davon keine Zeit genutzt werden.

Abbildung 21: Basel – Paris: Anteil der zum Arbeiten nutzbaren Reisezeit

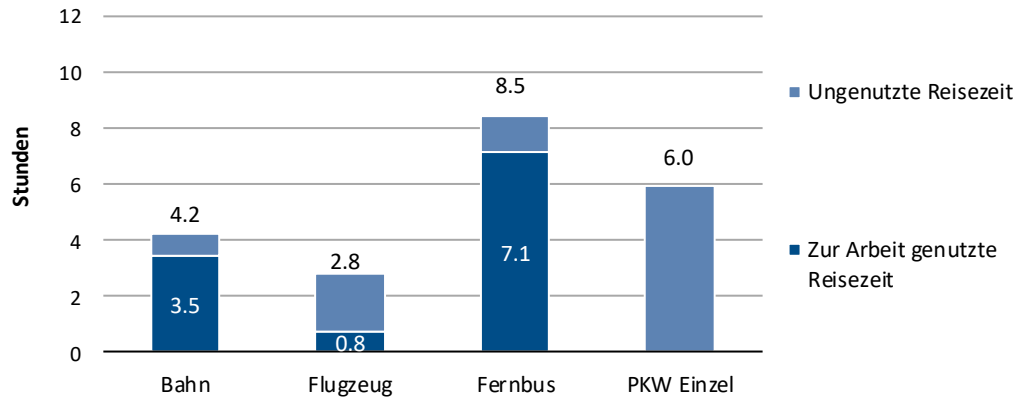


Grafik INFRAS.

### Lausanne – Paris

Rund 3.5 Stunden der über 4 Stunden Fahrzeit von Lausanne nach Paris (Montreux bis ins Stadtzentrum Paris) stehen den TGV Lyria-Reisenden zum Arbeiten zur Verfügung. Im Flugzeug ist nur knapp eine Stunde der rund 3 Stunden Reisezeit produktiv nutzbar. Im Fernbus könnte theoretisch rund 7 Stunden der insgesamt 8.5 Stunden gearbeitet werden. In der Realität dürfte es weniger sein (Nachtfahrten). Die PKW-Fahrten auf dieser Relation dauern rund 6 Stunden. Zum Arbeiten kann davon keine Zeit genutzt werden.

Abbildung 22: Lausanne – Paris: Anteil der zum Arbeiten nutzbaren Reisezeit

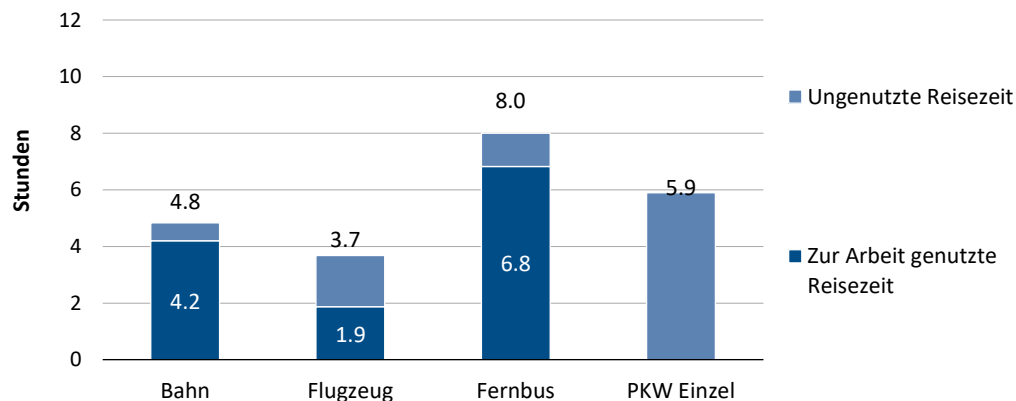


Grafik INFRAS.

### Lausanne– Marseille

Rund 4 Stunden der knapp 5 Stunden Fahrzeit von Lausanne nach Marseille (Lausanne bis ins Stadtzentrum Marseille) stehen den TGV Lyria-Reisenden zum Arbeiten zur Verfügung. Im Flugzeug sind rund 2 Stunden von der fast 4 Stunden Reisezeit produktiv nutzbar. Im Fernbus könnte theoretisch rund 7 Stunden der insgesamt 8 Stunden gearbeitet werden. In der Realität dürfte es weniger sein (Nachtfahrten). Die PKW-Fahrten auf dieser Relation dauern knapp 6 Stunden. Zum Arbeiten kann davon keine Zeit genutzt werden.

Abbildung 23: Lausanne – Marseille: Anteil der zum Arbeiten nutzbaren Reisezeit



Grafik INFRAS.

## 4. Schlussfolgerungen

Aus den Analysen zum ökologischen Vergleich der Verkehrsträger Bahn (TGV Lyria), PKW, Fernbus und Flugzeug auf den fünf verschiedenen Relationen zwischen der Schweiz und Frankreich lassen sich folgende Aussagen treffen:

- Bei einem Vergleich pro Person und Reise ist die Auslastung der Fahrzeuge eine zentrale Variable. Die Verkehrsträger TGV Lyria, der Reisebus und das Flugzeug sind im Durchschnitt gut ausgelastet und die Quoten für Reisebusse und Flugzeuge sind in den letzten vier Jahren sogar gestiegen, während der Pkw im Durchschnitt eine geringere Auslastung (1,53 Personen pro Fahrzeug) aufweist.
- Bei den derzeitigen durchschnittlichen Auslastungen der untersuchten Verkehrsträger liegt der Umweltvorteil in Bezug auf die **Klimabilanz** eindeutig bei der Bahn, also dem TGV Lyria. Mit geringen Unterschieden auf den einzelnen Strecken sind die Treibhausgasemissionen pro Person (inkl. Vorprozesse) für eine Reise mit dem TGV Lyria auf der Hauptstrecke rund 6-mal tiefer als beim Fernbus, rund 20-mal tiefer als beim Elektroauto, rund 37-mal tiefer als beim konventionellen, fossil betriebenen Auto und rund 41-mal tiefer als beim Flugzeug. Aus Sicht des Klimaschutzes bietet eine Bahnreise mit dem TGV Lyria auf den untersuchten Strecken den grössten Vorteil. Die Vor- und Nachläufe sind auf allen untersuchten Strecken im Vergleich zum Hauptteil der Reise fast vernachlässigbar klein.
- Bei der **Energiebilanz** wurde bewusst die Endenergie der unterschiedlichen Verkehrsträger bilanziert, weil in der Studie die Energieeffizienz der Verkehrsträger und nicht die Effizienz verschiedener Energiesysteme dahinter verglichen werden sollte. Das heisst, man vergleicht die Effizienz eines Elektromotors mit derjenigen eines Verbrenners und nicht die Stromproduktion mit der Dieselproduktion. Auf dieser Basis zeigt der Vergleich des Endenergieverbrauchs, dass die Bahn (TGV Lyria) die höchste Energieeffizienz aufweist. Die nächsthöheren Werte erreichen der Reisebus und das Elektroauto. Das konventionelle Auto mit Verbrennungsmotor ist pro Person und Fahrt rund 7 bis 14 Mal weniger energieeffizient und das Flugzeug rund 6 bis 10 Mal weniger energieeffizient. Seit 2019 ist der Energieverbrauch der damals eingeführten neuen Flotte gleichgeblieben. Bei anderen Verkehrsträgern kommt es jedoch aufgrund von technologischen Entwicklungen oder Verbrauchertrends zu einer Veränderung der Energieeffizienz: Während das Flugzeug effizienter wurde, entwickelten sich die Fahrten mit dem Auto in die entgegengesetzte Richtung, was darauf zurückzuführen ist, dass die Autos größer und schwerer wurden.
- Um die Umwelt- und Unfallkosten pro Person und Fahrt zu ermitteln, wurden die fünf Kostenkategorien Klima, Luftschadstoffe, Lärm, Unfälle sowie vor- und nachgelagerte Prozesse berücksichtigt. Die Bahnfahrten mit dem TGV Lyria verursachen auf allen untersuchten

Strecken die geringsten Umwelt- und Unfallkosten pro Person und Fahrt. Dies liegt vor allem daran, dass der TGV Lyria fast keine direkten Kosten in den Bereichen Klima, Luftverschmutzung und Unfälle im Betrieb verursacht, während diese bei den anderen Verkehrsträgern zu den höchsten Kostenkategorien gehören. Die Umwelt- und Unfallkosten des Reisebusses sind doppelt so hoch wie jene des TGV Lyria, jene des Elektroautos rund 6 bis 11 Mal so hoch und jene des Flugzeugs rund 6 bis 11 Mal so hoch. Die Kosten für das konventionelle Auto (Benzin/Diesel) sind etwa 8 bis 15 Mal höher als die des TGV Lyria. Vergleicht man die Ergebnisse mit früheren Daten aus dem Jahr 2019, so fällt auf, dass die Umwelt- und Unfallkosten für Flugzeuge und konventionelle Autos insgesamt gestiegen sind. Außerdem haben sich die Anteile bei einigen Verkehrsträgern verschoben, so dass der Anteil, der durch vor- und nachgelagerte Prozesse verursachten Kosten bei Reisebussen und Pkw deutlich gestiegen ist. Umgekehrt ist der Anteil der Kosten, der auf Luftschadstoffe zurückzuführen ist, insbesondere bei Reisebussen geringer.

- Gerade für Unternehmen sollte die **produktive Nutzung der Reisezeit als Arbeitszeit** ein Kriterium bei der Wahl des Verkehrsmittels für Geschäftsreisen sein. In der Studie wurde die gesamte Reisezeit, einschließlich der Vor- und Nachlaufzeit, erhoben. Bei einer Bahnfahrt können rund 80 % der Reisezeit für die Arbeit genutzt werden. Bei Reisebussen ist dies im Wesentlichen ähnlich. Bei Reisebussen ist jedoch zu beachten, dass sie auf den untersuchten Strecken häufig nachts unterwegs sind und so viel Zeit nur theoretisch zum Arbeiten genutzt werden kann; tatsächlich dürfte dieser Wert deutlich niedriger liegen. Bei einer Flugreise können nur etwa 35 % der gesamten Reisezeit für produktives Arbeiten genutzt werden. Die Definition von produktivem Arbeiten ist das Arbeiten mit einem technischen Gerät (Laptop etc.), das über das Telefonieren hinausgeht. Es gibt also keine nutzbare Arbeitszeit, wenn man mit dem Auto unterwegs ist.
- Im **Gesamtvergleich** der untersuchten Fernverkehrsstrecken schneidet die Bahn, d.h. der TGV Lyria, in allen Bereichen und auf allen Strecken am besten ab und hat sich in den letzten vier Jahren sogar verbessert. Sowohl bei der Klimabilanz als auch bei den Umwelt- und Unfallkosten liegt der TGV Lyria klar an der Spitze. Bei der Umweltbilanz liegt der Reisebus hinter der Bahn, verursacht aber immer noch rund 6-mal höhere Treibhausgasemissionen und Umweltkosten. Autos und Flugzeuge weisen eine deutlich schlechtere Klima- und Umweltbilanz auf als die Bahn (TGV Lyria). Das Elektroauto weist eine bessere Klimabilanz und geringere Umweltkosten auf als das Benzin- und Dieselauto. Dennoch sind die Klimabilanz und die Umweltkosten des Elektroautos auf den untersuchten Strecken durchwegs schlechter als diejenigen des TGV Lyria. Die Bahn hat also auch bei fortschreitender Elektrifizierung der Autos im internationalen Fernverkehr, derzeit einen klaren Umweltvorteil gegenüber dem Auto. Ebenso bedeutsam ist der Umweltvorteil der Bahn im Vergleich zum Flugzeug.

## Annex

### Klimabilanzen je Relation nach Quelle der Emissionen

#### Zürich - Paris

Tabelle 14: Treibhausgasemissionen Zürich – Paris nach Quelle der Emissionen

kg CO <sub>2</sub> -eq / Person	Bahn	Flugzeug	Fernbus	PKW Durchschnitt	PKW Arbeit	e-PKW Durchschnitt	e-PKW Arbeit
Emissionen direkter Betrieb	0	105.0	11.9	62.5	87.8	0	0
Energiebereitstellung	1.4	22	3.2	24.7	35	18	25
Herstellung Fahrzeug und Infrastruktur	1.8	4.7	3.2	21	30	39	54
<b>Total</b>	<b>3.1</b>	<b>132</b>	<b>18</b>	<b>109</b>	<b>153</b>	<b>57</b>	<b>79</b>
<i>Total gemäss Norm SN EN 16258</i>	<i>1.4</i>	<i>127</i>	<i>15</i>	<i>87</i>	<i>122</i>	<i>18</i>	<i>25</i>

#### Basel - Paris

Tabelle 15: Treibhausgasemissionen Basel – Paris nach Quelle der Emissionen

kg CO <sub>2</sub> -eq / Person	Bahn	Flugzeug	Fernbus	PKW Durchschnitt	PKW Arbeit	e-PKW Durchschnitt	e-PKW Arbeit
Emissionen direkter Betrieb	0	90	10	56	78	0	0
Energiebereitstellung	1.2	19	2.8	22.0	31	16	22
Herstellung Fahrzeug und Infrastruktur	1.5	4.0	2.9	19	27	35	48
<b>Total</b>	<b>2.7</b>	<b>113</b>	<b>16</b>	<b>97</b>	<b>136</b>	<b>50</b>	<b>71</b>
<i>Total gemäss Norm SN EN 16258</i>	<i>1.2</i>	<i>109</i>	<i>13</i>	<i>78</i>	<i>109</i>	<i>16</i>	<i>22</i>

## Lausanne - Paris

Tabelle 16: Treibhausgasemissionen Lausanne – Paris nach Quelle der Emissionen

kg CO <sub>2</sub> -eq / Person	Bahn	Flugzeug	Fernbus	PKW Durchschnitt	PKW Arbeit	e-PKW Durchschnitt	e-PKW Arbeit
Emissionen direkter Betrieb	0	91	10	57	79	0	0
Energiebereitstellung	1.1	19	2.6	22.4	31	16	23
Herstellung Fahrzeug und Infrastruktur	1.4	4.0	2.7	19	27	35	49
<b>Total</b>	<b>2.4</b>	<b>115</b>	<b>15</b>	<b>98</b>	<b>138</b>	<b>51</b>	<b>72</b>
<i>Total gemäss Norm SN EN 16258</i>	<i>1.1</i>	<i>111</i>	<i>12</i>	<i>79</i>	<i>111</i>	<i>16</i>	<i>23</i>

## Lausanne - Marseille

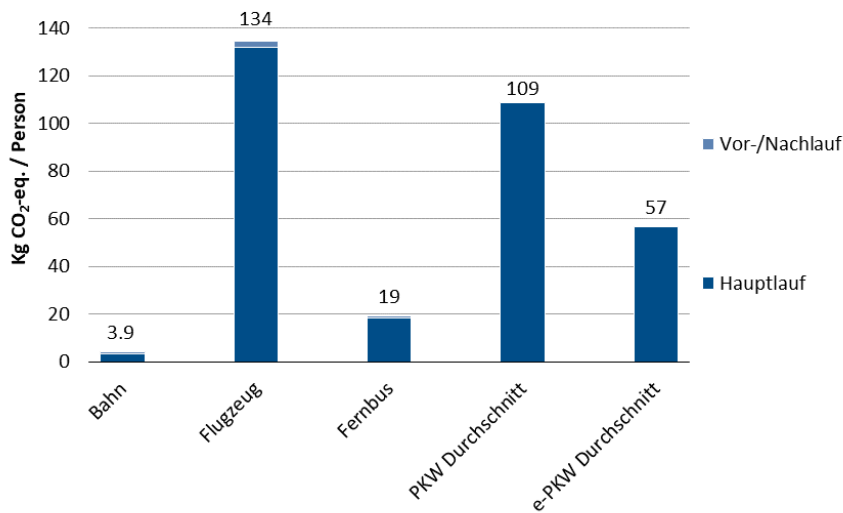
Tabelle 17: Treibhausgasemissionen Lausanne – Paris nach Quelle der Emissionen

kg CO <sub>2</sub> -eq / Person	Bahn	Flugzeug	Fernbus	PKW Durchschnitt	PKW Arbeit	e-PKW Durchschnitt	e-PKW Arbeit
Emissionen direkter Betrieb	0	74	10	62	87	0	0
Energiebereitstellung	1.3	16	2.8	24.5	34	18	25
Herstellung Fahrzeug und Infrastruktur	1.7	3.3	2.8	21	30	38	54
<b>Total</b>	<b>2.9</b>	<b>93</b>	<b>16</b>	<b>108</b>	<b>152</b>	<b>56</b>	<b>79</b>
<i>Total gemäss Norm SN EN 16258</i>	<i>1.3</i>	<i>90</i>	<i>13</i>	<i>87</i>	<i>122</i>	<i>18</i>	<i>25</i>

## Klimabilanzen je Relation mit Vor- und Nachlauf

### Zürich - Paris

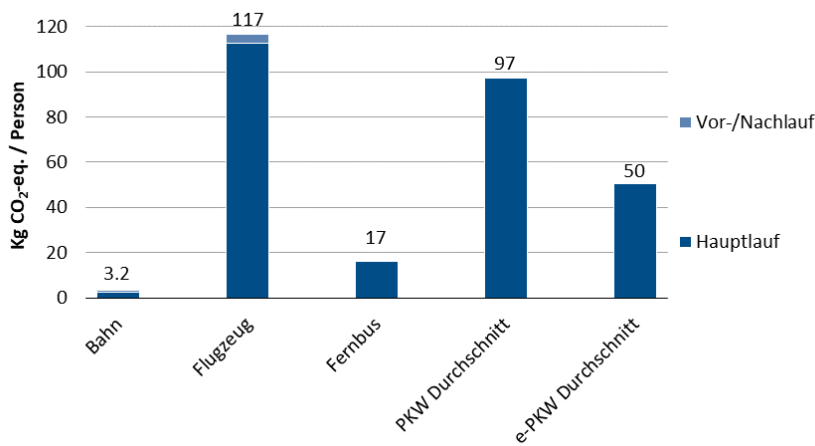
Abbildung 24: Durchschnittliche Werte je Verkehrsträger (Klimabilanz in CO<sub>2</sub>-Äq. pro Person und Fahrt)



Grafik INFRAS.

### Basel - Paris

Abbildung 25: Durchschnittliche Werte je Verkehrsträger (Klimabilanz in CO<sub>2</sub>-Äq. pro Person und Fahrt)

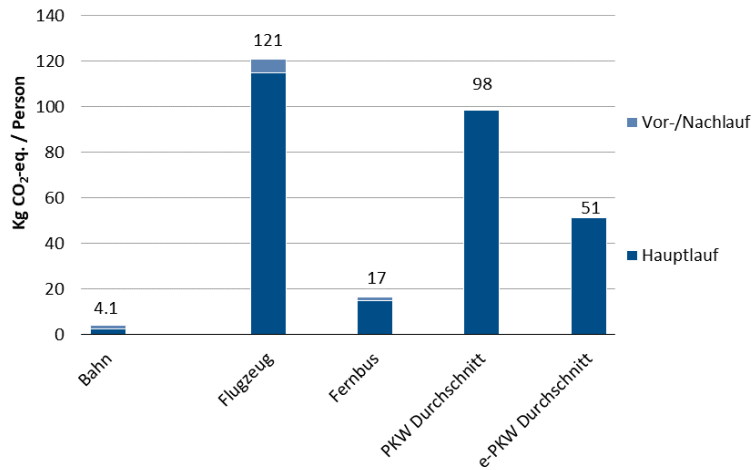


Grafik INFRAS.



## Lausanne - Paris

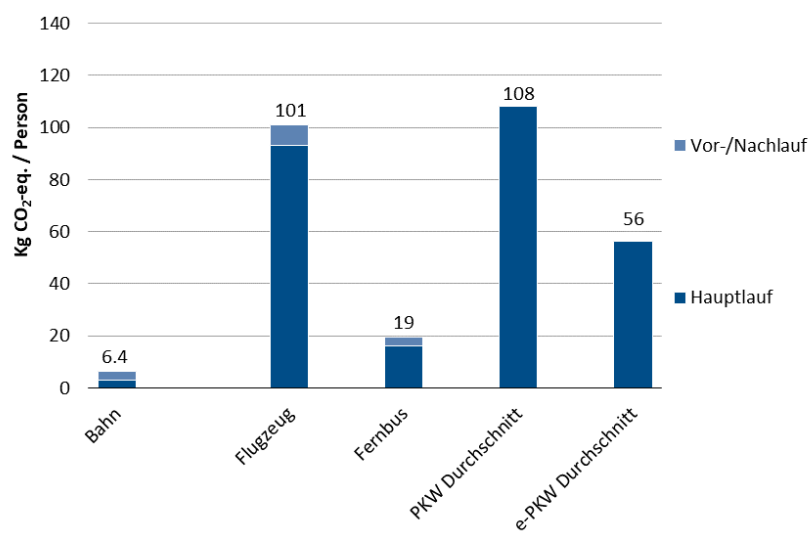
Abbildung 26: Durchschnittliche Werte je Verkehrsträger (Klimabilanz in CO<sub>2</sub>-Äq. pro Person und Fahrt)



Grafik INFRAS.

## Lausanne - Marseille

Abbildung 27: Durchschnittliche Werte je Verkehrsträger (Klimabilanz in CO<sub>2</sub>-Äq. pro Person und Fahrt)

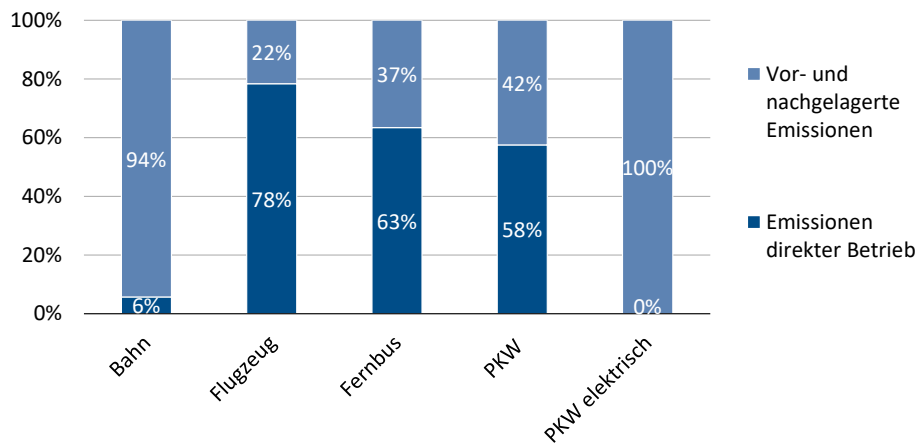


Grafik INFRAS.

## Anteile der vor- und nachgelagerten THG-Emissionen

### Zürich - Paris

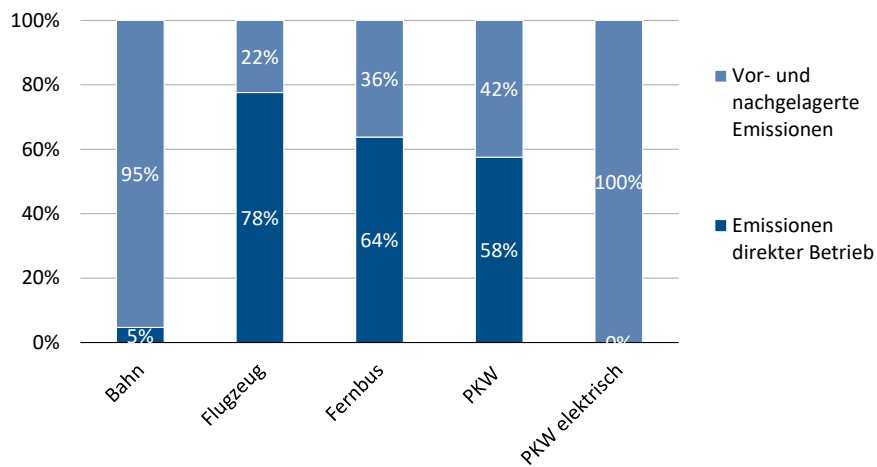
Abbildung 28: Zürich – Paris: Anteil der vor- und nachgelagerten THG-Emissionen an den gesamten THG-Emissionen



Grafik INFRAS.

### Basel - Paris

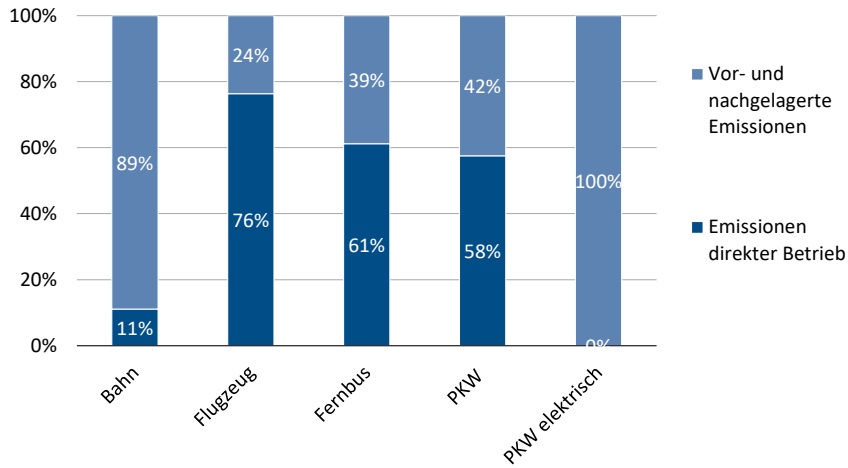
Abbildung 29: Basel – Paris: Anteil der vor- und nachgelagerten THG-Emissionen an den gesamten THG-Emissionen



Grafik INFRAS.

**Lausanne - Paris**

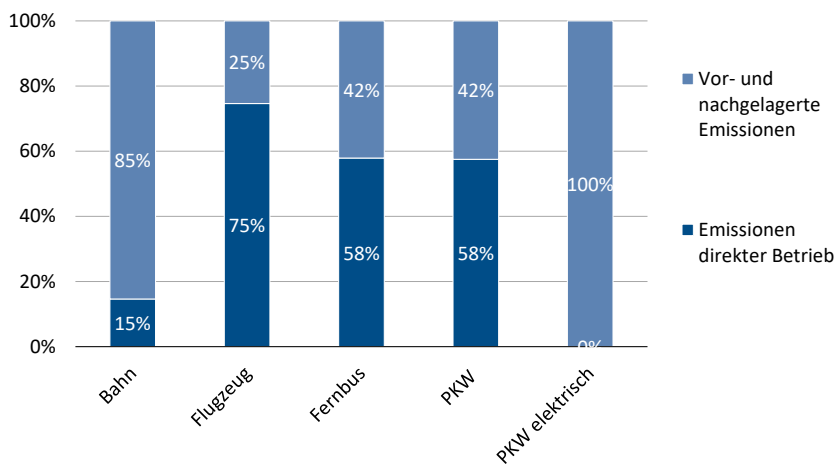
**Abbildung 30: Lausanne – Paris: Anteil der vor- und nachgelagerten THG-Emissionen an den gesamten THG-Emissionen**



Grafik INFRAS.

**Lausanne - Marseille**

**Abbildung 31: Lausanne - Marseille: Anteil der vor- und nachgelagerten THG-Emissionen an den gesamten THG-Emissionen**

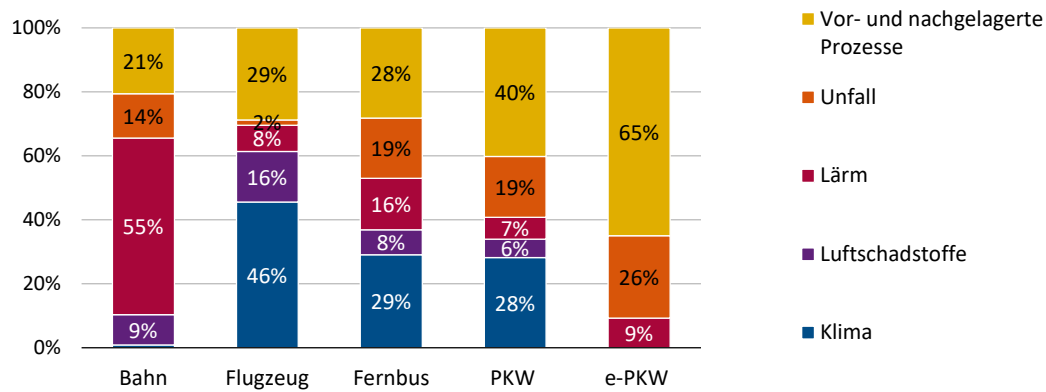


Grafik INFRAS.

## Anteile der einzelnen Kostenkategorien

### Zürich - Paris

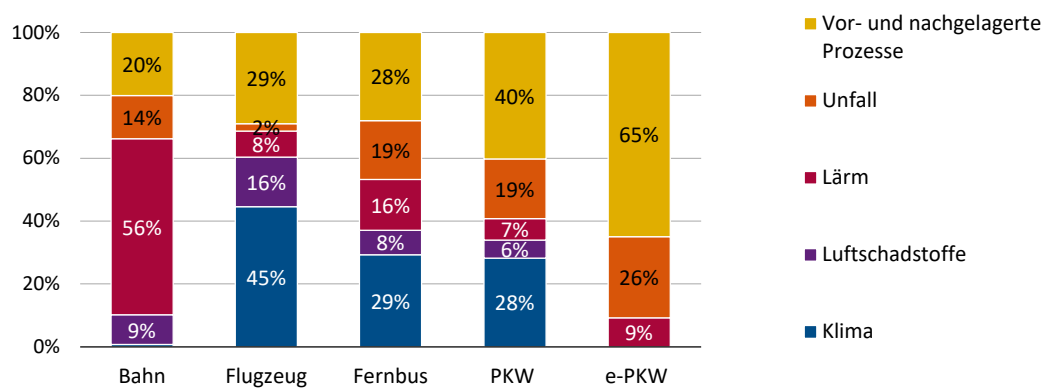
Abbildung 32: Zürich – Paris: Anteil der einzelnen Kostenkategorien an den gesamten Umweltkosten



Grafik INFRAS.

### Basel - Paris

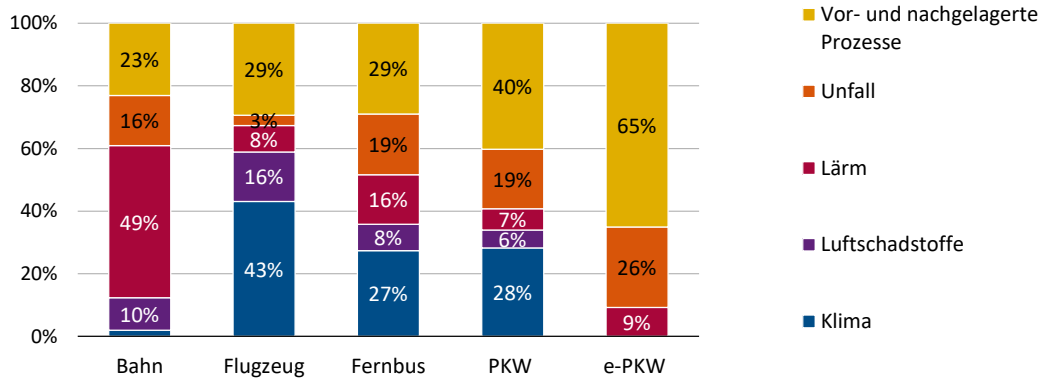
Abbildung 33: Basel – Paris: Anteil der einzelnen Kostenkategorien an den gesamten Umweltkosten



Grafik INFRAS.

**Lausanne - Paris**

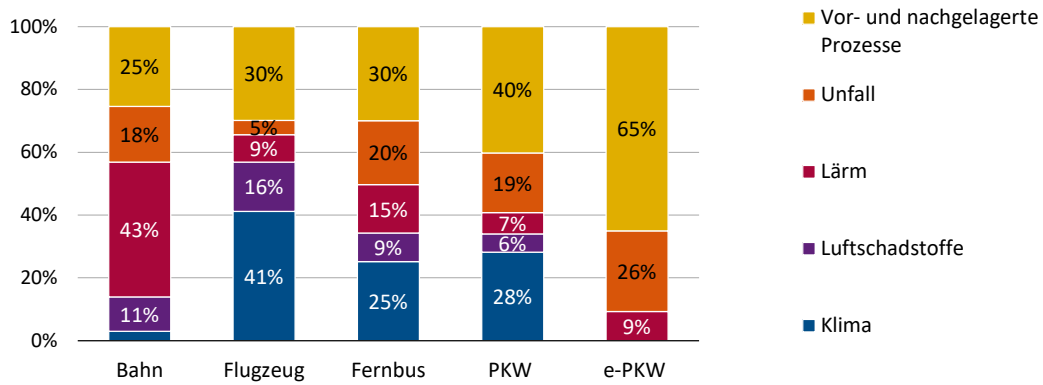
**Abbildung 34: Lausanne – Paris: Anteil der einzelnen Kostenkategorien an den gesamten Umweltkosten**



Grafik INFRAS.

**Lausanne - Marseille**

**Abbildung 35: Lausanne - Marseille: Anteil der einzelnen Kostenkategorien an den gesamten Umweltkosten**



Grafik INFRAS.

## Literatur

- Atmosfair 2019:** atmosfair Flug-Emissionsrechner. Dokumentation der Methode und Daten. Berlin, März 2021.
- Atmosfair 2024a:** CO<sub>2</sub>-Fußabdruck meines Flugs berechnen. Online: <https://www.atmosfair.de/de/kompensieren/flug/>.
- Atmosfair 2024b:** Berechnungen der Dienstreisen per Flugzeug der ETH Zürich, unveröffentlicht.
- ARE 2018:** Externe Effekte des Verkehrs 2015, Monetarisierung von Umwelt-, Unfall- und Gesundheitseffekten, Ecoplan und INFRAS im Auftrag des eidgenössischen Bundesamtes für Raumentwicklung ARE, Bern.
- ARE 2019:** Costs and Benefits of Transport in Switzerland 2016.
- ARE 2023:** Mobilitätsverhalten der Bevölkerung. Ergebnisse des Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2021. Neuchâtel 2023. Online: <https://www.are.admin.ch/dam/are/de/dokumente/verkehr/dokumente/mikrozensus/mzmv-hauptbericht2021.pdf.download.pdf/Hauptbericht%20MZMV%202021%20DE.pdf>.
- Bieler, C., Sutter, D. 2018:** Umweltkosten des Verkehrs in Deutschland, Sachstandspapier zur Methodenkonvention 3.0., Umweltbundesamt, September 2018.
- DG MOVE 2019:** Handbook on the external costs of transport, Version 2019, European Commission, Directorate-General for Mobility and Transport, Delft, Januar 2019.
- Kuik et al. 2009:** Marginal abatement costs of greenhouse gas emissions: A meta-analysis. O. Kuik, L. Brander, R.S.J. Tol. Energy Policy, vol. 37, Iss. 4 (2009), pp. 1395-1403.
- mobitool:** Schweizer Plattform für Mobilitätsmanagementtools und aufbereitete Umweltdaten; gemeinschaftliches Engagement der Trägerschaft aus SBB, Swisscom, EnergieSchweiz, Bundesamt für Umwelt BAFU und öbu. Online: <https://www.mobitool.ch/>.
- INFRAS 2019:** Externe Kosten des Verkehrs in Deutschland, Aufdatierung 2018, im Auftrag der Allianz pro Schiene, Zürich, 2019.
- INFRAS 2022:** HBEFA 4.2. Handbook of Emission Factors for Road Transport. Infrass, Bern. [[www.hbefa.net](http://www.hbefa.net)].
- INFRAS, Quantis 2020:** Umweltauswirkungen von Fahrzeugen im urbanen Kontext, Schlussbericht, Forschungsprojekt, Bern, Villigen, Zürich, noch nicht veröffentlicht.
- UBA 2019:** Methodenkonvention 3.0 zur Ermittlung von Umweltkosten – Kostensätze, Stand Februar 2019, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, Februar 2019.