

TGV Lyria

Ökologischer Verkehrsträgervergleich auf ausgewählten Relationen

Schlussbericht
Zürich, 5. März 2021

Cuno Bieler, Daniel Sutter

Impressum

Ökologischer Verkehrsträgervergleich auf ausgewählten Relationen

Schlussbericht

Zürich, 5. März 2021

Verkehrsträgervergleich_TGVLyria_210305.docx

Auftraggeber

TGV Lyria

Projektleitung

Pascal Sommer, Valentine Achi, TGV Lyria

Autoren

Cuno Bieler, Daniel Sutter

INFRAS, Binzstrasse 23, 8045 Zürich

Tel. +41 44 205 95 95

zuerich@infras.ch

Inhalt

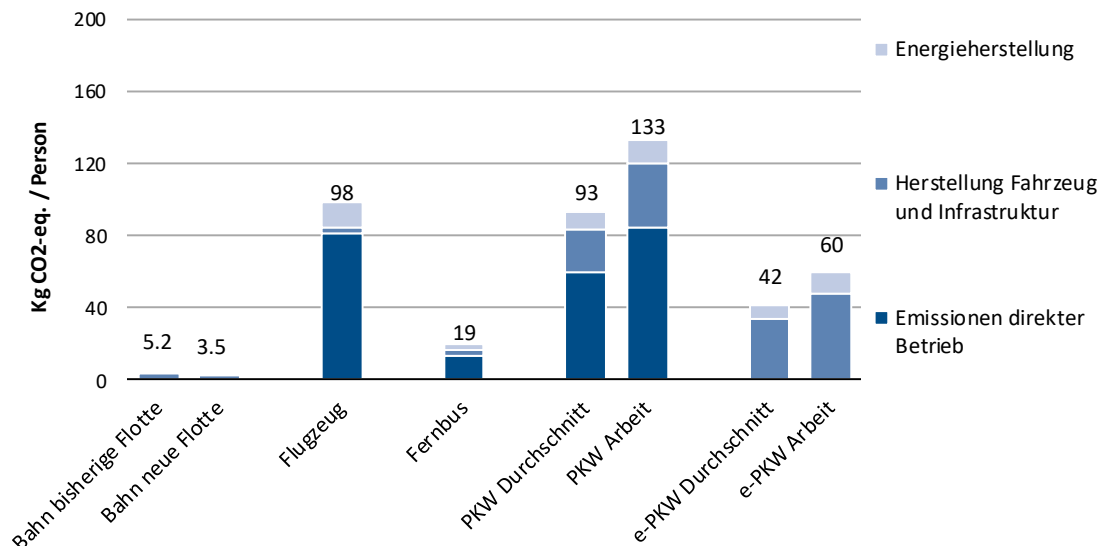
Zusammenfassung	4
1. Ausgangslage und Ziel	8
2. Methodisches Vorgehen	9
2.1. Konzept	9
2.2. Methodisches Vorgehen	9
3. Ergebnisse	19
3.1. Klimabilanz	19
3.2. Endenergiebilanz	27
3.3. Umwelt- und Unfallkosten	32
3.4. Reisezeit und Arbeitszeit	39
4. Schlussfolgerungen	43
Annex	45
Klimabilanzen je Relation nach Quelle der Emissionen	45
Klimabilanzen je Relation mit Vor- und Nachlauf	47
Anteile der vor- und nachgelagerten THG-Emissionen	49
Anteile der einzelnen Kostenkategorien	51
Literatur	53

Zusammenfassung

Die vorliegende Studie beinhaltet einen ökologischen Verkehrsträgervergleich auf fünf länderübergreifenden Relationen zwischen der Schweiz und Frankreich. Im Auftrag der TGV Lyria erstellte INFRAS diesen Verkehrsträgervergleich auf Basis aktueller wissenschaftlicher Grundlagen und kompatibel mit der europäischen Norm SN EN 16258 zur Berechnung der Klimawirkung von Transportdienstleistungen. Sämtliche betrachtete Relationen werden auch von TGV Lyria bedient. Verglichen wird die Bahn bzw. der TGV 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 (1.12 Personen pro Fahrzeug gemäss Statistik für Geschäftsfahrten im Vergleich zur durchschnittlichen Auslastung von 1.6 Personen pro Fahrzeug) mitberechnet.

Abbildung 1 zeigt beispielhaft die **Klimabilanz** der untersuchten Verkehrsträger für die Relation Genf – Paris.

Abbildung 1: Klimabilanz Genf – Paris: CO₂-Äq. pro Person und Fahrt für unterschiedliche Verkehrsträger



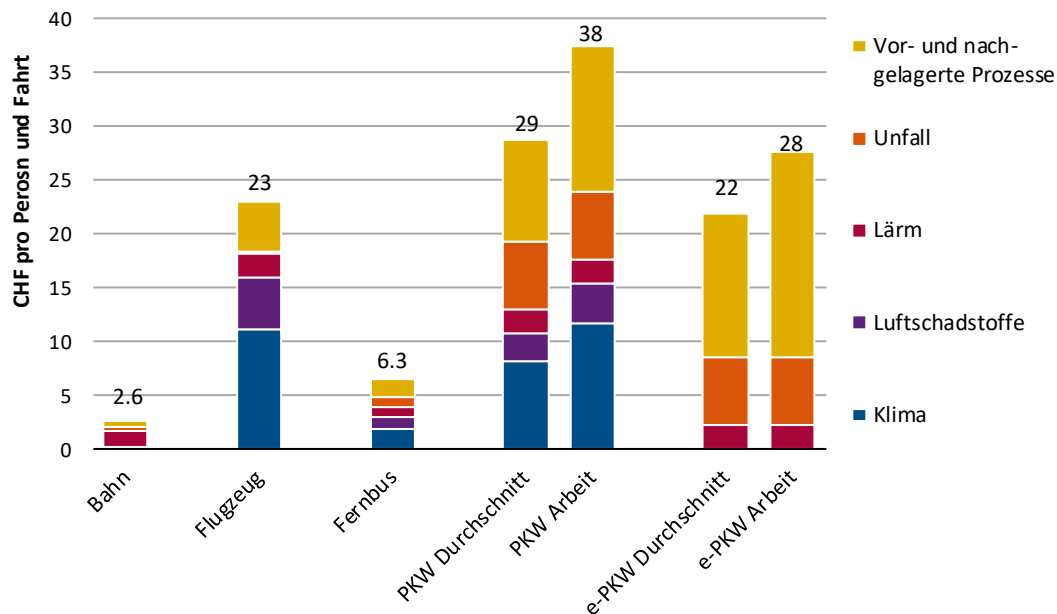
Grafik INFRAS.

Der Vergleich der Klimabilanz der verschiedenen Verkehrsträger zeigt, dass die Bahn (TGV) pro Person und Fahrt die klar geringsten CO₂-Emissionen verursacht. Die pro Person emittierten Treibhausgasemissionen sind bei einer Fahrt mit dem TGV von Genf nach Paris (je nachdem ob alte oder neue Flotte) rund 4 bis 6-mal kleiner als beim Fernbus, rund 8 bis 12-mal kleiner als beim durchschnittlichen Elektro-PKW, etwa 18 bis 28-mal kleiner als beim durchschnittlichen konventionellen PKW und rund 19 bis 28-mal kleiner als beim Flugzeug. Aus Sicht des Klimaschutzes bietet auf den untersuchten Relationen eine Fahrt mit dem TGV den grössten Vorteil. Dabei gilt es zu beachten, dass die elektrisch betriebenen Verkehrsträger TGV 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 Fahrzeuge¹.

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. Beispielhaft zeigt die Abbildung 2 die Ergebnisse für die Relation Genf – Paris.

¹ 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 100mal weniger CO₂-Äq. emittiert als ein Flug auf der gleichen Relation.

Abbildung 2: Umwelt- und Unfallkosten nach Verkehrsträger pro Person und Fahrt auf der Relation Genf – Paris



Grafik 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 zweieinhalb mal so hoch wie diejenigen des TGV, diejenigen der Elektro-PKW knapp 8-mal so hoch, die Kosten der Flugzeuge auch etwa 9-mal so hoch und die Kosten der konventionellen PKW über 11-mal so hoch wie beim TGV.

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 deutlich die Nase vorn. Umweltseitig am nächsten kommen der Bahn 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. 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. Im Vordergrund steht dabei insbesondere die Klimabilanz der Verkehrsmittel. Nebst den Klimawirkungen führt der Verkehr aber auch zu einer Reihe von weiteren negativen Umweltwirkungen (Luftschadstoffemissionen, Lärm, Unfälle etc.). Diese negativen Wirkungen führen zu volkswirtschaftlichen Kosten – so genannten externen Kosten oder Umweltkosten.

In der Schweiz und im Ausland gibt es verschiedene Studien, in denen die Klimawirkung, weitere Umweltwirkungen sowie die externen Umweltkosten verschiedener Verkehrsträger miteinander verglichen werden. Allerdings liegt der Fokus bei den meisten Studien auf der Gesamtwirkung eines Landes (also z.B. die gesamten Klimagasemissionen oder die gesamten Umweltkosten) oder der durchschnittlichen Wirkung für ein ganzes Land (also die Wirkungen eines durchschnittlichen Personenkilometers in der Schweiz). Zahlen für den Verkehrsmittelvergleich für konkrete Relationen (z.B. Zürich – Paris) dagegen liegen bisher kaum vor. Einige Tools ermöglichen solche Vergleiche, wobei z.B. Umweltkosten dort nicht betrachtet werden und die Grundlagen in der Regel nicht für die konkrete Relation abgestimmt sind (also z.B. keine Daten für den TGV).

Im Rahmen der vorliegenden Studie wird deshalb für konkrete Relationen, die von TGV Lyria bedient werden, ein Vergleich verschiedener Verkehrsträger vorgenommen. Der Vergleich umfasst folgende drei Parameter:

- Klimabilanz (Treibhausgasemissionen, «CO₂-Bilanz»)
- Energiebilanz
- Umwelt- und Unfallkosten
- Zeitnutzen (produktiv nutzbare Reisezeit)

Die Studie stützt sich auf die neusten wissenschaftlichen Grundlagen (bzgl. Klimaemissionen, Umweltkosten etc.) ab. Die Ergebnisse stellen eine Basis für die weitere Kommunikation des Vergleichs verschiedener Verkehrsträger für konkrete Relationen von TGV Lyria dar.

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 2019. 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. Tabelle 1 zeigt die fünf verschiedenen Relationen und die jeweiligen Vor- und Nachläufe. 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, Personenwagen (PKW), Linienbussen, Tram und S-Bahnen. Die PKW fahren direkt von Tür zu Tür und haben somit keinen Vor- und Nachlauf.

Tabelle 1: 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
Genf-Marseille	Nyon	Stadtzentrum Marseille	Bahn	Genève Cornavin - Marseille-Saint-Charles
Genf-Marseille	Nyon	Stadtzentrum Marseille	Flugzeug	Genève Aéroport (GVA) - Marseille Provence (MRS)
Genf-Marseille	Nyon	Stadtzentrum Marseille	Fernbus	Genève ZOB - Marseille-Saint-Charles
Genf-Marseille	Nyon	Stadtzentrum Marseille	PKW	von Tür zu Tür mit PW

Tabelle INFRAS.

Berücksichtigte Verkehrsträger

Beim Vergleich der Reisen werden die in Tabelle 2 dargestellten Hauptverkehrsmittel untersucht und miteinander verglichen.

Tabelle 2: 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 Anzahl Passagiere pro Zug wurden für die Züge der neuen Flotte gemäss den betriebswirtschaftlichen Erwartungen eingesetzt und bei gewissen Analysen (und Grafiken) als Vergleich mit der zukünftigen Situation dargestellt (im Hauptteil des Berichts für die Relation Genf – Paris, für die anderen Relationen vgl. Anhang). Die Basis der Berechnungen bilden allerdings die bisherigen Züge, deren Auslastungen bekannt sind.
	Die Flugzeuge wurden durch eine Vielzahl verschiedener Flugzeugtypen und ihrer Kennzahlen abgebildet, die auf den untersuchten Relationen eingesetzt werden. Das Gleiche gilt für die Auslastung der Flugzeuge, die ebenfalls einem Durchschnitt der auf den Relationen getätigten Flügen entspricht (Atmosfair 2019). Den grössten Anteil haben die Flugzeugtypen Airbus 318, 319 und 320.
	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. Die Auslastungen entsprechen einem europäischen Durchschnitt (DG MOVE 2019).
	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 2015 (ARE 2018). 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 natürlich 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 ₂ -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 und die PKW Distanzen von www.googlemaps.com. Bei den Distanzen der Vor- und Nachläufe wurde jeweils auf Googlemaps zurückgegriffen. 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. Wenn als Abfahrts- oder Ankunftsort das Stadtzentrum gilt, dann wurde der Vor- oder Nachlauf vereinfacht mit 2 km berechnet.

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.

Tabelle 3: Distanzen der untersuchten Relationen

Relation	Haupt- verkehrsträger	Hauptlauf	Vorlauf	Nachlauf	Gesamte Strecke	Reisezeit
Kilometer					Minuten	
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
Genf-Marseille	Bahn	476	23	2	501	242
	Flugzeug	370	26	24	459	221
	Fernbus	461	23	2	486	480
	PKW	459	0	0	459	269

Tabelle INFRAS.

Emissions- und Energieberechnungen

In der Klimabilanz werden sowohl der direkte Betrieb als auch die vor- und nachgelagerten Prozesse berücksichtigt. 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 CO₂-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 Busstationen 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 CO₂-Äquivalente wurde ein RFI² berücksichtigt, welcher den erhöhten Treibhauseffekt von Flugzeugemissionen in grossen Flughöhen beschreibt (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 4 zeigt die Quellen der Emissionsfaktoren, die für die Berechnungen der Klima- und Energiebilanz genutzt wurden.

Die in Tabelle 4 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.

² RFI = Radiative Forcing Index, beschreibt den erhöhten Treibhauseffekt von Flugzeugemissionen (insbesondere von CO₂, H₂O (gasförmig) und Stickoxiden) in grossen Flughöhen. Die Erwärmungswirkung aller Flugemissionen ist rund 2 mal so hoch, wie wenn nur CO₂ betrachtet wird. Dieser Effekt spielt bei Flügen ab einer Höhe von 9000 Metern und wurde in den Berechnungen ab dieser Höhe berücksichtigt.

Tabelle 4: Datengrundlage der genutzten Emissionsfaktoren

Haupt- Verkehrsträger	Quellen der Emissionsfaktoren	
	Direkter Betrieb	Vor- und nachgelagerte Prozesse
Bahn	- PM10 non-exhaust: Ecoinvent 3.5 - Energieverbrauch: Betriebsangaben TGV Lyria	- CO₂-eq: Betriebsangaben TGV Lyria - Luftschadstoffe: EcotransitWorld und Mobitool 2.2 - Energieverbrauch: Mobitool v2.2
Flugzeug	- CO₂-eq: Atmosfair GmbH 2019 - Luftschadstoffe: Ecoinvent 3.5 - Energieverbrauch: Atmosfair GmbH 2019	- CO₂-eq: Atmosfair GmbH 2019 - Luftschadstoffe: Ecoinvent 3.5 - Energieverbrauch: Mobitool v2.2
Fernbus	- CO₂-eq: HBEFA 4.1 - Luftschadstoffe: HBEFA 4.1 - Energieverbrauch: HBEFA 4.1	- CO₂-eq: Ecoinvent 3.5 - Luftschadstoffe: Ecoinvent 3.5 - Energieverbrauch: Mobitool v2.2
PKW konventionell	- CO₂-eq: HBEFA 4.1 - Luftschadstoffe: HBEFA 4.1 - Energieverbrauch: HBEFA 4.1	- CO₂-eq: Ecoinvent 3.5 - Luftschadstoffe: Ecoinvent 3.5 - Energieverbrauch: Mobitool v2.2
PKW BEV	- CO₂-eq: INFRAS, Quantis 2020 - Luftschadstoffe: INFRAS, Quantis 2020 - Energieverbrauch: INFRAS, Quantis 2020	- CO₂-eq: INFRAS, Quantis 2020 - Luftschadstoffe: INFRAS, Quantis 2020 - Energieverbrauch: INFRAS, Quantis 2020

Tabelle INFRAS.

Grundlagen der Umwelt- und Unfallkosten

Die gesamten Umweltkosten setzen sich aus fünf unterschiedliche Kostenkategorien zusammen. Tabelle 5 zeigt diese Kostenkategorien und beschreibt, was sie beinhalten.

Tabelle 5: Berücksichtigte Kostenkategorien

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, Ernteaufschläge, Gebäude- und Materialschäden sowie Biodiver- sitätsverluste
Kosten vor- und nachgela- gerter Prozesse	Folgekosten durch Emission von Treibhausgasen und Luftschadstoffen aus Herstel- lung, Unterhalt und Entsorgung von: ▪ Energieträgern (Treibstoffe, Strom) ▪ Fahrzeugen ▪ Verkehrsinfrastruktur Monetarisierung analog zu Luftverschmutzungs- und Klimakosten (vgl. oben)
Unfallkosten	Verkehrsunfälle (Schadenskostenansatz)
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 Klimakostenansatz stammt aus dem jährlich aktuali-
sierten Bericht des Bundesamts für Raumentwicklung „Kosten und Nutzen des Verkehrs in der
Schweiz 2016“ (ARE 2019). Der Kostenansatz wurde auf das Jahr 2019 fortgeschrieben und be-
trägt somit 137.- CHF pro Tonne CO₂. Die Kostensätze der Luftschadstoffe stammen aus der
Publikation „Handbook of the external cost of transport“ der Europäischen Kommission (DG
MOVE 2019). Das Handbuch enthält für alle europäischen Länder eigene Kostensätze zu allen
wichtigen Luftschadstoffen. Auch diese wurden auf das Jahr 2019 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 be-
rechnet. Diese stammen ebenfalls aus dem „Handbook of the external cost of transport“ der
Europäischen Kommission (DG MOVE 2019). Dabei handelt es sich um länderspezifische Kos-
tensätze 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

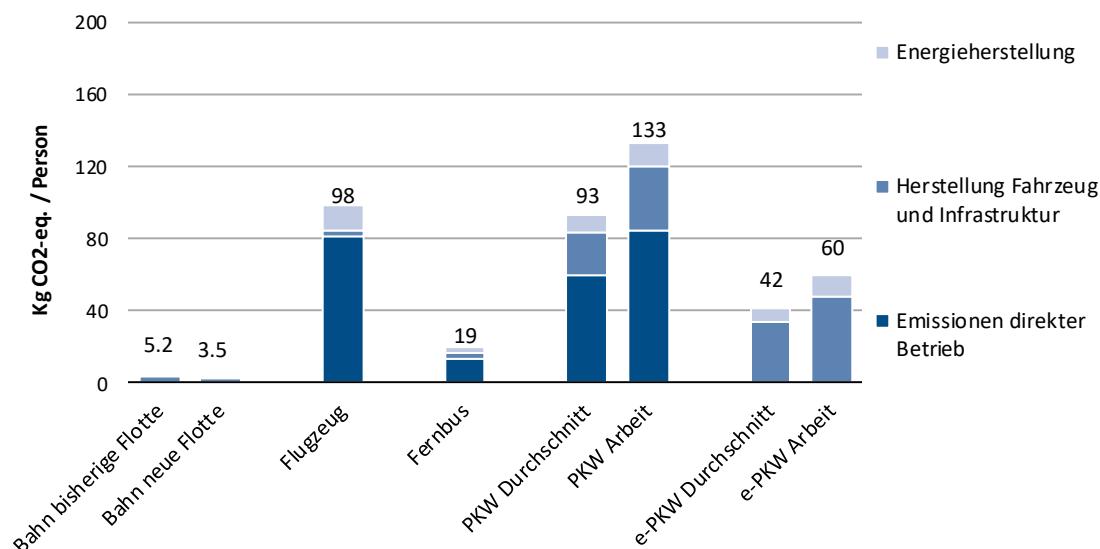
In diesem Abschnitt werden die Klimabilanzen der betrachteten Verkehrsträger für alle fünf Relationen aufgezeigt. Die Resultate werden die Treibhausgasemissionen in CO₂-Äquivalente pro Person und Fahrt dargestellt. Die Treibhausgasemissionen werden in den Grafiken aufgeschlüsselt nach Energiebereitstellung, Herstellung der Fahrzeuge und Infrastruktur und nach den Emissionen des direkten Betriebs. Gemäss der Norm SN EN 16258³ 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 das wird noch der Vor- und Nachlauf einer Reise auf der Relation Genf - Paris berücksichtigt. Bei den darauffolgenden Relationen sind diese Grafiken zwecks Übersichtlichkeit im Annex abgelegt.

Genf – Paris

Die Abbildung 3 zeigt die Ergebnisse der Klimabilanz der Relation Genf – Paris für die betrachteten Verkehrsträger. Dargestellt sind die Kilogramm CO₂-Äquivalente pro Person und Fahrt, aufgeschlüsselt nach Energiebereitstellung, Herstellung der Fahrzeuge und Infrastruktur und nach den Emissionen des direkten Betriebs. Bei den PKW sind zusätzlich noch zwei verschiedenen Auslastungen angegeben. «Arbeit» bedeutet das eine tiefere Auslastung von 1.12 Person pro Fahrzeug (gemäss Statistik für Geschäftsfahrten), anstelle des Durchschnittswerts von 1.6 Personen pro Fahrzeug (ARE 2018) berechnet wurden.

Für die Reise von Genf nach Paris (Stadtzentrum bis Stadtzentrum) verursachte der TGV mit der bisherigen Flotte pro Person und Fahrt 5.2 Kg CO₂-Äq. die niedrigsten THG-Emissionen. Wenn die Erwartungen an die Auslastung der neuen Flotte sich erfüllen wird dieser Wert noch weiter sinken auf rund 3.5 Kg CO₂-Äq. pro Person und Fahrt. Das Verkehrsmittel mit den nächst höheren Emissionen pro Person und Fahrt ist der Fernbus mit rund 19 Kg CO₂-Äq., gefolgt vom elektrischen PKW mit rund 42 Kg CO₂-Äq. Die höchsten Treibhausgasemissionen pro Person und Fahrt emittieren der konventionelle PKW (93 Kg CO₂-Äq.) und das Flugzeug (98 Kg CO₂-Äq.).

³ 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)

Abbildung 3: Klimabilanz Genf - Paris: CO₂-Äq. pro Person und Fahrt für unterschiedliche Verkehrsträger

Grafik INFRAS.

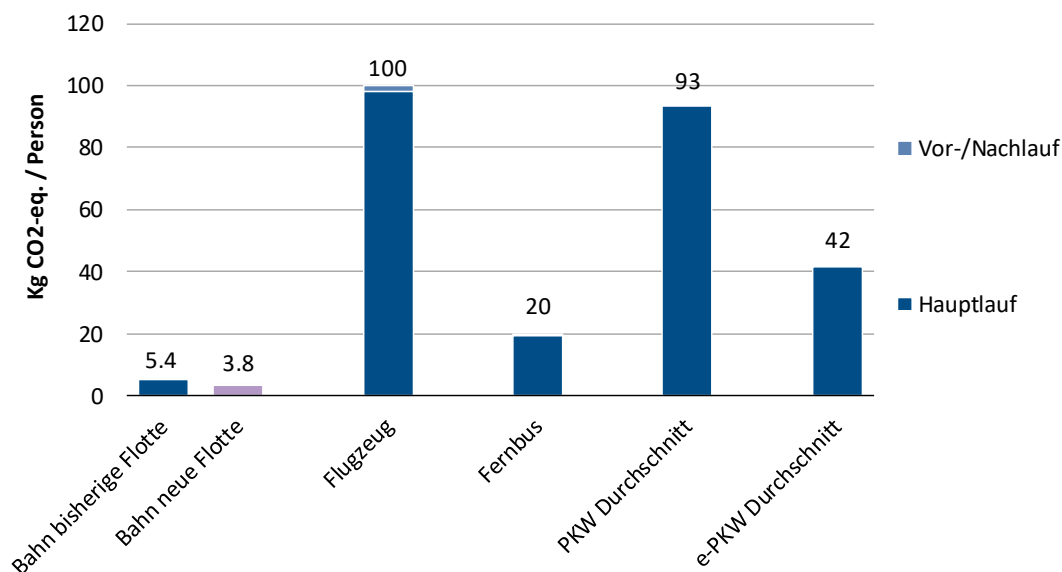
Tabelle 6 zeigt die Emissionen aufgeschlüsselt nach ihrem Ursprung. Dabei wird ersichtlich, dass die elektrisch betriebenen Verkehrsträger Bahn und e-PKW keine direkten Emissionen emittieren.

Gemäss der Norm SN EN 16258 müssten nur die Emissionen des direkten Betriebs und diejenigen der Energiebereitstellung ausgewiesen werden. Bei der Bahn macht die Traktion mit 1.4 Kg CO₂-Äq. pro Person (alte Flotte) resp. 0.9 Kg CO₂-Äq. (neue Flotte) rund ein Viertel der gesamten Emissionen aus. Der Rest stammt von der Herstellung der Fahrzeuge und der Infrastruktur. Dieses Verhältnis ist zum Beispiel bei den Flugzeugen umgekehrt. Da machen direkten Emissionen und die Energiebereitstellung zusammen, mit rund 95 Kg CO₂-Äq. pro Person rund 97% der gesamten Emissionen aus. Häufig werden in ökologischen Verkehrsträgervergleichen nur die von der Norm geforderten Parameter berücksichtigt, weshalb eine Fahrt mit der Bahn dann rund 70 bis 100mal weniger CO₂-Äq. emittiert 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 6: Treibhausgasemissionen Genf – Paris nach Quelle der Emissionen

kg CO ₂ -eq / Person	Bahn bisherige Flotte	Bahn neue Flotte	Flugzeug	Fernbus	PKW Durchschnitt	PKW Arbeit	e-PKW Durchschnitt	e-PKW Arbeit
Emissionen direkter Betrieb	0	0	81	13	59	85	0	0
Energiebereitstellung	1.4	0.9	14	2.5	9.6	14	8	12
Herstellung Fahrzeug und Infrastruktur	3.8	2.6	3.1	4.0	24	35	33	48
Total	5.2	3.5	98	19	93	133	42	60
<i>Total gemäss Norm SN EN 16258</i>	<i>1.4</i>	<i>0.9</i>	<i>95</i>	<i>15</i>	<i>69</i>	<i>98</i>	<i>8</i>	<i>12</i>

Die Abbildung 4 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 3). 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 rund 15% bei der Bahn (in der Grafik fast nicht ersichtlich aufgrund der tiefen absoluten Werte der Bahn). Beim Flugzeug sind es rund 2% und beim Fernbus rund 3.5%.

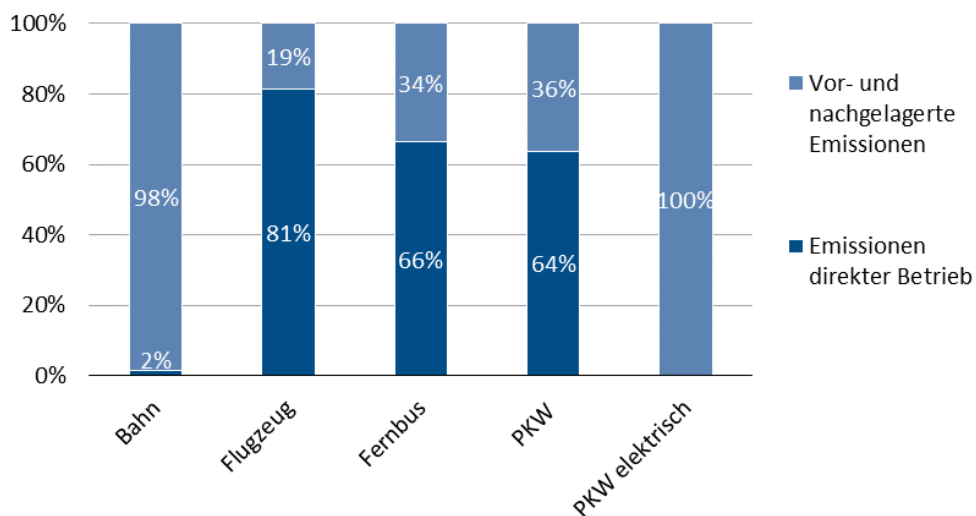
Abbildung 4: Klimabilanz Genf - Paris: CO₂-Äq. pro Person und Fahrt für unterschiedliche Verkehrsträger

Grafik INFRAS.

In Abbildung 5 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. Bei der Bahn 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 36% der THG-Emissionen aus vor- und nachgelagerten Prozessen. Beim Fernbus sind es rund 34% und bei der Reise mit dem Flugzeug etwa 19%.

Abbildung 5: Anteil der vor- und nachgelagerten THG-Emissionen an den gesamten THG-Emissionen



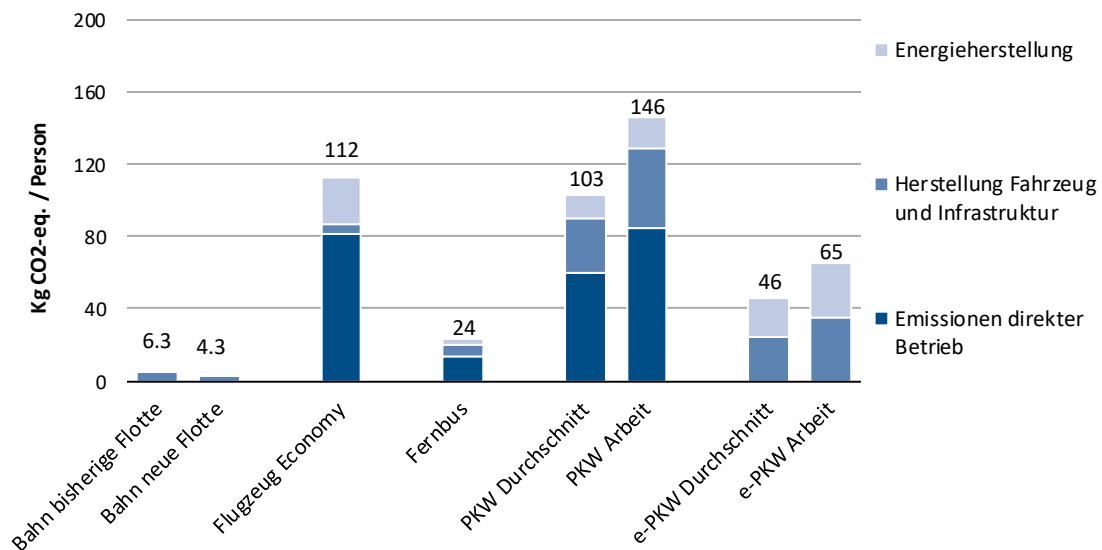
Grafik INFRAS.

Zürich – Paris

Reiste man mit dem TGV von Zürich nach Paris, verursachte das pro Kopf und Fahrt rund 6.3 kg CO₂-Äq. Fährt man heute in der neuen Flotte, führt das zu Treibhausgasemissionen von rund 4.3 kg CO₂-Äq. Etwas höhere Emissionen pro Kopf verursacht mit rund 24 kg CO₂-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 46 kg CO₂-Äq., mit einem konventionellen Verbrennungsmotor rund 103 kg CO₂-Äq. Mit tieferer Auslastung (z.B. Geschäftsreisen) erhöhen sich die Emissionen pro Kopf durchschnittlich auf 65 kg CO₂-Äq. beim elektrischen PW und auf 146 kg CO₂-Äq. beim konventionellen PW. Die höchsten Emissionen verursacht mit 112 kg CO₂-Äq. pro Person die Reise mit dem Flugzeug

Abbildung 6: Klimabilanz Zürich – Paris: CO₂-Äquivalente pro Person und Fahrt für unterschiedliche Verkehrsträger

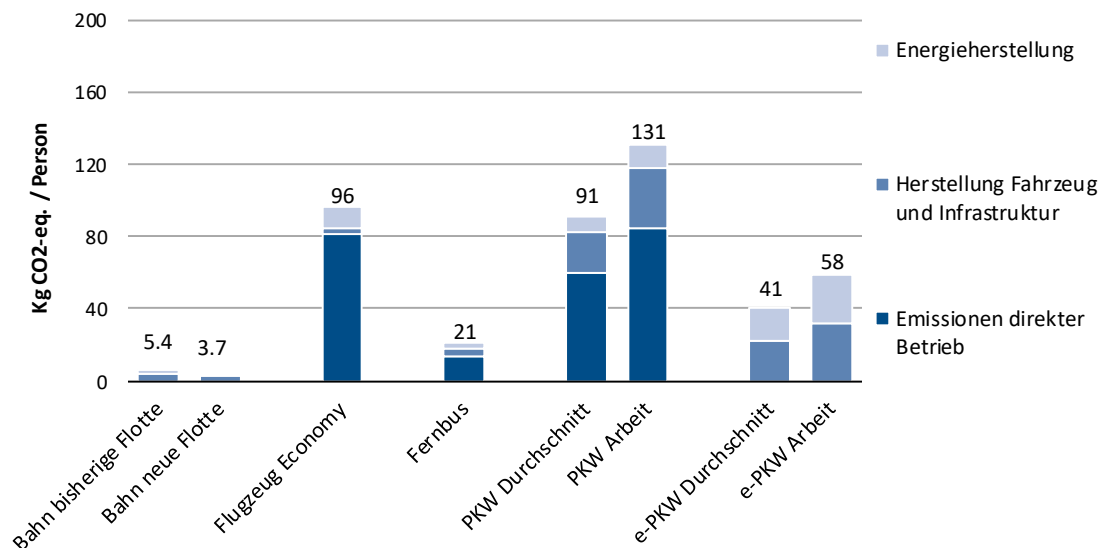


Grafik INFRAS.

Basel – Paris

Vergleicht man für die Reise von Basel nach Paris die THG-Emissionen verschiedener Verkehrsträger, zeigt sich, dass der TGV pro Person und Fahrt mit 5.4 Kg CO₂-Äq. die niedrigsten THG-Emissionen verursacht. Mit der neuen TGV Flotte sinken die THG-Emissionen pro Person und Fahrt auf 3.7 Kg CO₂-Äq. Eine Fahrt mit dem Fernbus verursacht 21 Kg CO₂-Äq. pro Person. Bei den PKW verursacht eine Fahrt mit dem konventionellen PKW pro Person rund 91 Kg CO₂-Äq., eine Fahrt mit dem elektrischen PKW etwas weniger als die Hälfte davon (41 Kg CO₂-Äq.). Mit der PKW Auslastung von Geschäftsreisenden erhöhen sich die THG-Emissionen auf 131 Kg CO₂-Äq. (fossil betriebene PKW) resp. 58 Kg CO₂-Äq. (e-PKW). Die höchsten THG-Emissionen pro Person verursacht mit 96 Kg CO₂-Äq. das Flugzeug.

Abbildung 7: Klimabilanz Basel - Paris: CO₂-Äquivalente pro Person und Fahrt für unterschiedliche Verkehrsträger

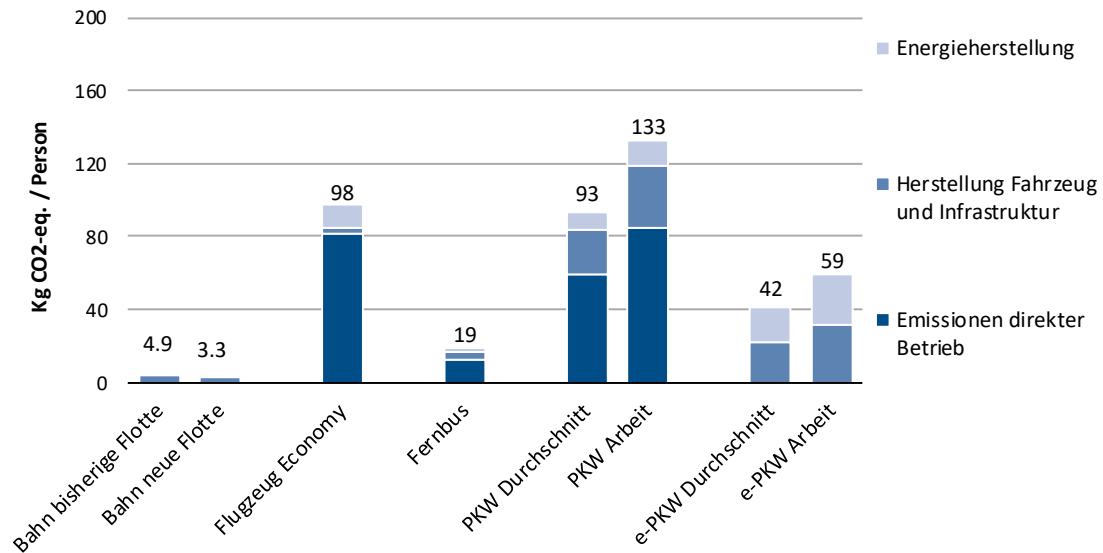


Grafik INFRAS.

Lausanne – Paris

Für die Reise von Lausanne nach Paris verursacht ebenfalls der TGV pro Person und Fahrt mit 4.9 Kg CO₂-Äq. die niedrigsten THG-Emissionen. Mit der neuen TGV Flotte sinken die THG-Emissionen pro Person und Fahrt auf 3.3 Kg CO₂-Äq. Eine Fahrt mit dem Fernbus verursacht 19 Kg CO₂-Äq. pro Person. Bei den PKW verursacht eine Fahrt mit dem konventionellen PKW pro Person rund 93 Kg CO₂-Äq., eine Fahrt mit dem elektrischen PKW etwas weniger als die Hälfte davon (42 Kg CO₂-Äq.). Mit der PKW Auslastung von Geschäftsreisenden erhöhen sich die THG-Emissionen auf 133 Kg CO₂-Äq. (fossil betriebene PKW) resp. 59 Kg CO₂-Äq (e-PKW). Die höchsten THG-Emissionen pro Person verursacht mit 98 Kg CO₂-Äq. das Flugzeug.

Abbildung 8: Klimabilanz Lausanne - Paris: CO₂-Äquivalente pro Person und Fahrt für unterschiedliche Verkehrsträger

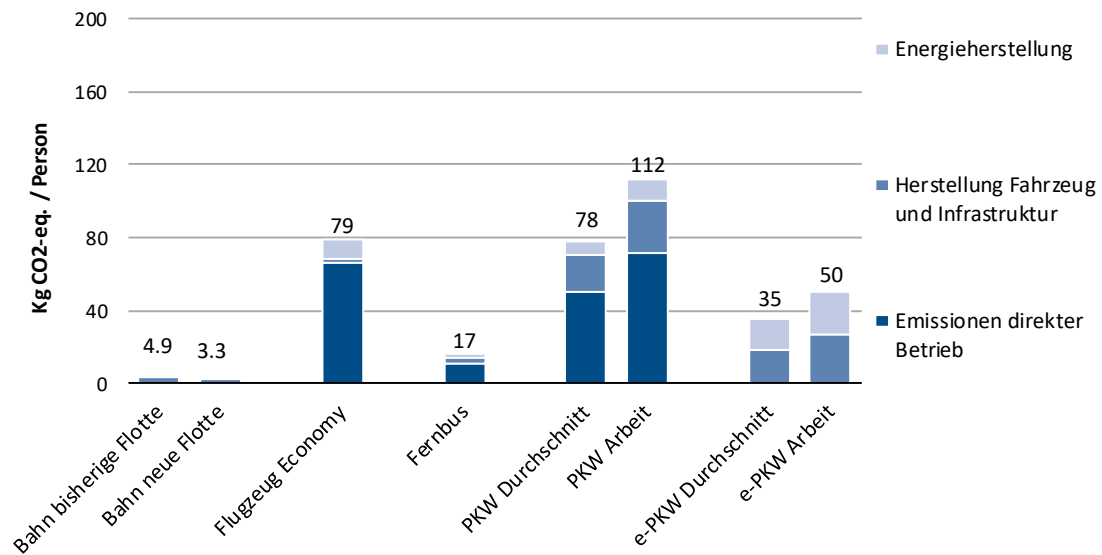


Grafik INFRAS.

Genf – Marseille

Für die Reise von Genf nach Marseille verursacht der TGV pro Person und Fahrt mit 4.9 Kg CO₂-Äq. die niedrigsten THG-Emissionen. Mit der neuen TGV Flotte sinken die THG-Emissionen pro Person und Fahrt auf 3.3 Kg CO₂-Äq. Eine Fahrt mit dem Fernbus verursacht 17 Kg CO₂-Äq. pro Person. Bei den PKW verursacht eine Fahrt mit dem konventionellen PKW pro Person rund 78 Kg CO₂-Äq., eine Fahrt mit dem elektrischen PKW etwas weniger als die Hälfte davon (35 Kg CO₂-Äq.). Mit der PKW Auslastung von Geschäftsreisenden erhöhen sich die THG-Emissionen auf 112 Kg CO₂-Äq. (fossil betriebene PKW) resp. 50 Kg CO₂-Äq (e-PKW). Die höchsten THG-Emissionen pro Person verursacht mit 79 Kg CO₂-Äq. das Flugzeug.

Abbildung 9: Klimabilanz Genf - Marseille: CO₂-Äquivalente pro Person und Fahrt für unterschiedliche Verkehrsträger



Grafik INFRAS.

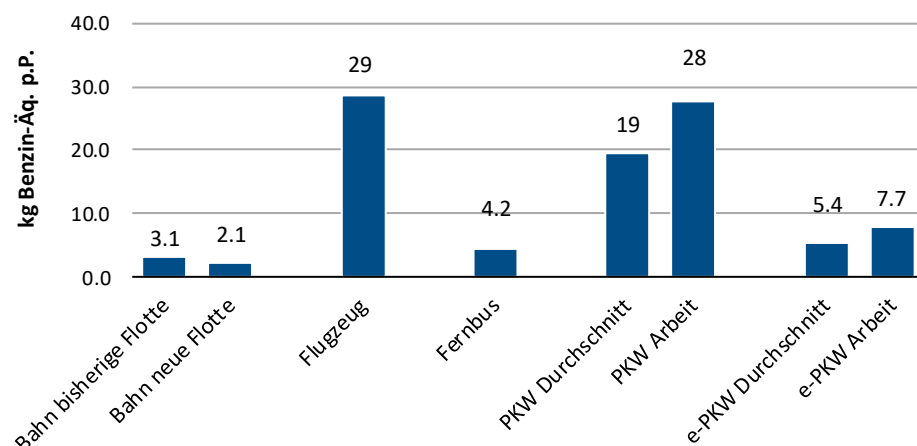
3.2. Endenergiebilanz

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 nachgelieferten 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.

Genf – Paris

Im Vergleich der untersuchten Verkehrsträger zeigt die bisherige TGV Lyria Flotte auf der Relation Genf – Paris mit rund 3.1 Kg Benzin-Äq. pro Person und Fahrt den niedrigsten Endenergieverbrauch. Mit der seit Ende 2019 im Einsatz stehenden neuen Flotte ist ein noch tieferer Endenergieverbrauch von rund 2.1 Kg Benzin-Äq. zu erwarten. Der Fernbus verbraucht rund 4.2 Kg Benzin-Äq. pro Person und Fahrt und der elektrische PKW rund 5.4 Kg Benzin-Äq. Bei den PKWs erhöht sich der Energieverbrauch im Fall einer tieferen Auslastung bei Geschäftsreisen auf 7.7 (e-PKW) resp. 28 Kg Benzin-Äq (fossil betriebene PKW). Auch beim Endenergieverbrauch pro Person und Fahrt verbrauchen die Flugzeuge mit 29 Kg Benzin-Äq. am meisten Energie.

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

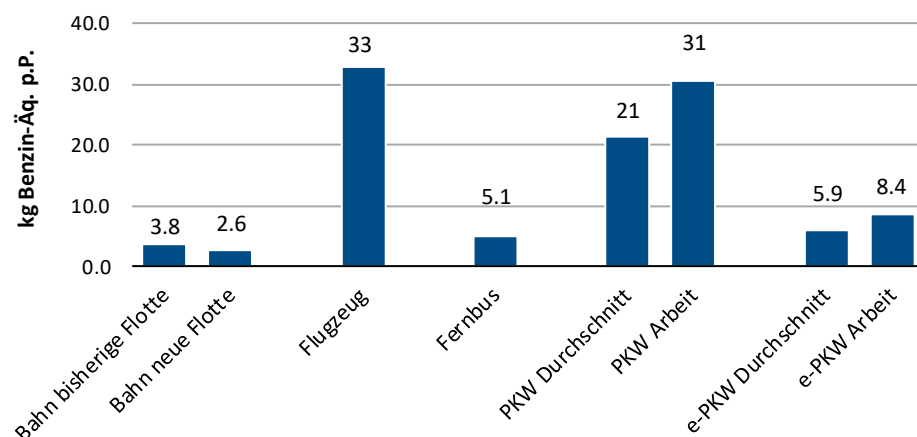


Grafik INFRAS.

Zürich – Paris

Die Abbildung 11 zeigt den Endenergieverbrauch pro Person und Fahrt von Zürich nach Paris. Die Bahnfahrt mit dem TGV (neue Flotte) hat mit rund 2.6 Kg Benzin-Äq. den niedrigsten Energieverbrauch pro Person (bisherige Flotte rund 3.8 kg Benzin-Äq.). Rund doppelt so hoch ist der Energieverbrauch der Fernbusse mit 5.1 Kg Benzin-Äq. und derjenige eines durchschnittlich ausgelasteten Elektro-PKW mit knapp 6 kg Benzin-Äq. Der konventionelle PKW verbraucht rund 21 kg Benzin-Äq., im Flugzeug sind es rund 33 kg Benzin-Äq. . Bei den PKWs erhöht sich der Energieverbrauch im Fall einer tieferen Auslastung bei Geschäftsreisen auf 8.4 (e-PKW) resp. 31 Kg Benzin-Äq (fossil betriebene PKW).

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

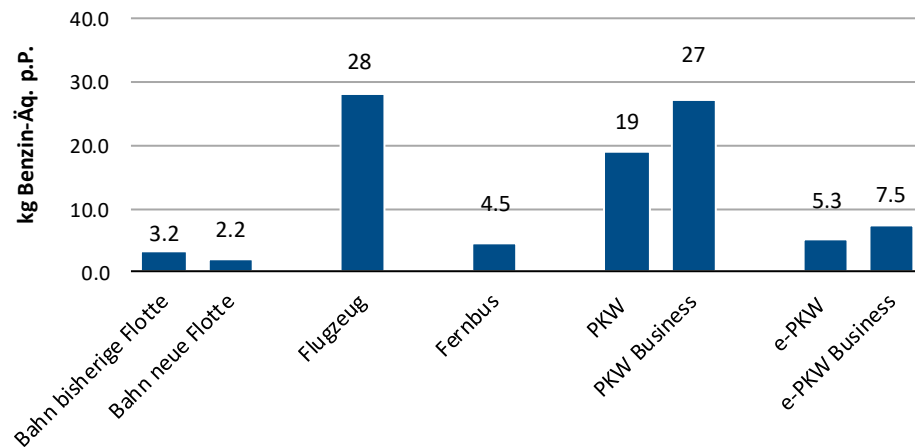


Grafik INFRAS.

Basel – Paris

Die Abbildung 12 zeigt den Endenergieverbrauch pro Person und Fahrt von Basel nach Paris. Die Bahnfahrt (neue Flotte) hat mit rund 2.2 Kg Benzin-Äq. den niedrigsten Energieverbrauch pro Person (bisherige Flotte rund 3.2 kg Benzin-Äq.). Rund doppelt so hoch ist der Energieverbrauch der Fernbusse mit 4.5 Kg Benzin-Äq. und derjenige eines durchschnittlich ausgelasteten Elektro-PKW mit rund 5.3 kg Benzin-Äq. Der konventionelle PKW verbraucht rund 19 kg Benzin-Äq. und im Flugzeug sind es rund 27 kg Benzin-Äq.. Bei den PKWs erhöht sich der Energieverbrauch im Fall einer tieferen Auslastung bei Geschäftsreisen auf 7.5 (e-PKW) resp. 27 Kg Benzin-Äq (fossil betriebene PKW).

Abbildung 12: Endenergieverbrauch pro Person und Fahrt verschiedener Verkehrsträger auf der Relation Basel - Paris

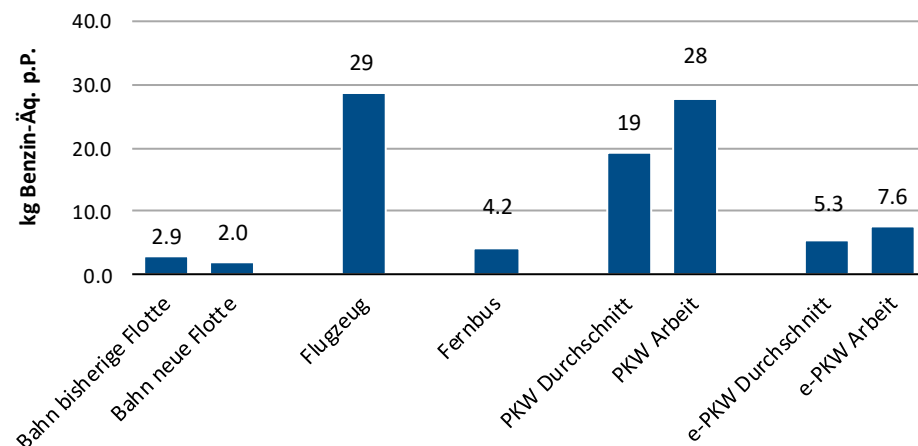


Grafik INFRAS.

Lausanne – Paris

Die Abbildung 13 zeigt den Endenergieverbrauch pro Person und Fahrt von Lausanne nach Paris. Die Bahnfahrt (neue Flotte) hat mit rund 2 Kg Benzin-Äq. den niedrigsten Energieverbrauch pro Person (bisherige Flotte rund 2.9 kg Benzin-Äq.). Rund doppelt so hoch ist der Energieverbrauch der Fernbusse mit 4.2 Kg Benzin-Äq. und derjenige eines durchschnittlich ausgelasteten Elektro-PKW mit rund 5.3 kg Benzin-Äq. Der konventionelle PKW verbraucht rund 19 kg Benzin-Äq. und im Flugzeug sind es rund 29 kg Benzin-Äq. . Bei den PKWs erhöht sich der Energieverbrauch im Fall einer tieferen Auslastung bei Geschäftsreisen auf 7.6 (e-PKW) resp. 28 Kg Benzin-Äq (fossil betriebene PKW).

Abbildung 13: Endenergieverbrauch pro Person und Fahrt verschiedener Verkehrsträger auf der Relation Lausanne- Paris

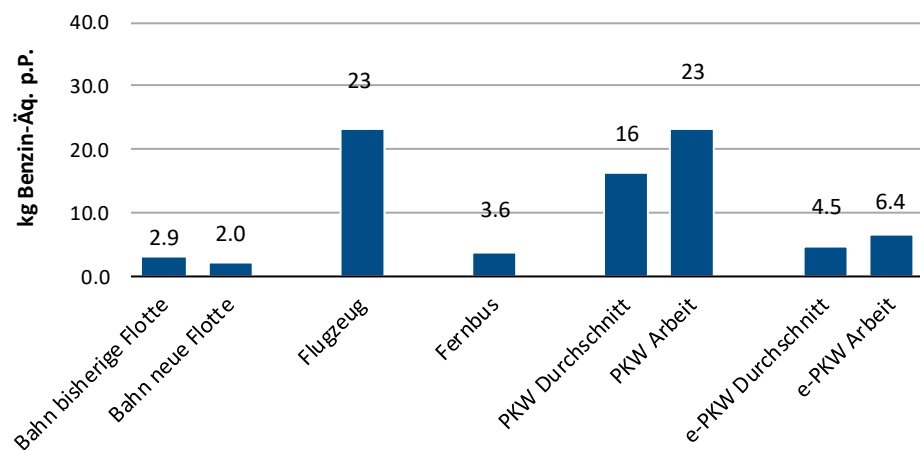


Grafik INFRAS.

Genf – Marseille

Die Abbildung 14 zeigt den Endenergieverbrauch pro Person und Fahrt von Genf nach Marseille. Die Bahnfahrt (neue Flotte) hat mit rund 2 Kg Benzin-Äq. den niedrigsten Energieverbrauch pro Person (bisherige Flotte rund 2.9 kg Benzin-Äq.). Nicht ganz doppelt so hoch ist der Energieverbrauch der Fernbusse mit 3.6 Kg Benzin-Äq. und derjenige eines durchschnittlich ausgelasteten Elektro-PKW mit rund 4.5 kg Benzin-Äq. Der konventionelle PKW verbraucht rund 16 kg Benzin-Äq. und im Flugzeug sind es rund 23 kg Benzin-Äq.. Bei den PKWs erhöht sich der Energieverbrauch im Fall einer tieferen Auslastung bei Geschäftsreisen auf 6.4 (e-PKW) resp. 23 Kg Benzin-Äq (fossil betriebene PKW).

Abbildung 14: Endenergieverbrauch pro Person und Fahrt verschiedener Verkehrsträger auf der Relation Genf - Marseille



Grafik INFRAS.

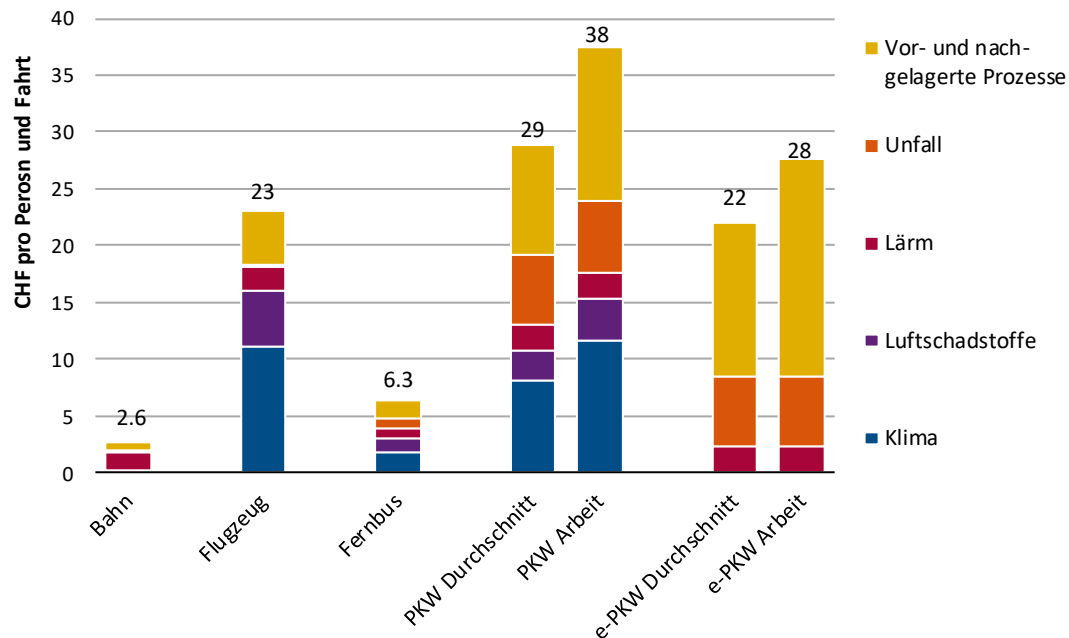
3.3. Umwelt- und Unfallkosten

In diesem Abschnitt werden die Umwelt- und Unfallkosten der betrachteten Verkehrsträger auf allen fünf Relationen aufgezeigt. Die Resultate werden in CHF pro Person und Fahrt dargestellt. In der ersten Relation Genf – Paris wird eine zusätzliche Grafik und Analyse gezeigt, welche die Anteile der einzelnen Kostenkategorien an den gesamten Umwelt- und Unfallkosten zeigt. Bei den folgenden Relationen sind diese Grafiken zwecks Übersichtlichkeit im Annex abgelegt.

Genf – Paris

Die Abbildung 15 zeigt die durchschnittlichen Umwelt- und Unfallkosten (externe Effekte) für eine Fahrt von Genf nach Paris. Die tiefsten Umwelt- und Unfallkosten verursacht die Bahn mit rund 2.6 CHF pro Person und Fahrt, gefolgt von den Fernbussen mit 6.3 CHF pro Person und Fahrt. Wählt man für die Fahrt ein Elektro-PKW, fallen durchschnittlich (Auslastung von 1.6 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. Mit der tieferen Auslastung von Geschäftsreisenden erhöhen sich die Kosten auf 38 CHF pro Person. Eine Reise mit dem Flugzeug von Zürich nach Paris verursacht pro Person Umwelt- und Unfallkosten von rund 23 CHF.

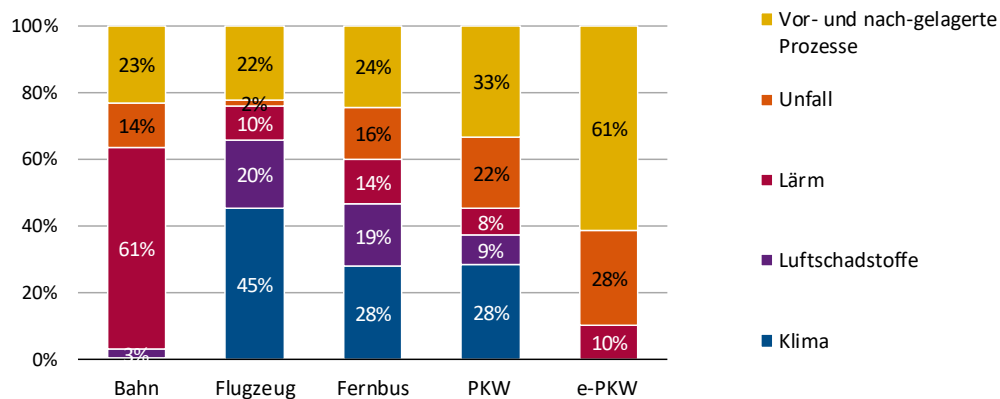
Abbildung 15: Durchschnittl. Umwelt- und Unfallkosten pro Person und Fahrt auf der Relation Genf – Paris



Grafik INFRAS.

Die Abbildung 16 zeigt die Anteile der einzelnen Kostenkategorien an den gesamten Umwelt- und Unfallkosten pro Verkehrsträger. Bei der Bahn machen die Lärmkosten rund 61% aus, gefolgt von den vor- und nachgelagerten Prozessen mit rund 23% (für Stromproduktion, Rollmaterial und Infrastruktur) und den Unfallkosten mit 14%. Die direkten Luftschadstoffkosten und die Klimakosten machen den Rest aus. Beim Luftverkehr machen die Klimakosten mit rund 45% den grössten Anteil an den gesamten Umwelt- und Unfallkosten eines Fluges aus. Die Luftschadstoffkosten verursachen rund 20%, die Kosten der vor- und nachgelagerten Prozesse 22% und die Unfallkosten noch 2%. Beim Fernbus sehen die Anteile wie folgt aus: Den grössten Anteil tragen die Klimakosten mit 28% der Gesamtkosten, die vor- und nachgelagerten Prozesse 24%, die Luftschadstoffe 19%, die Unfallkosten 16% und die Lärmkosten rund 14%. Beim konventionellen, fossil betriebenen PKW sieht das Bild ähnlich aus wie beim Fernbus. Klimakosten machen 28% aus, vor- und nachgelagerte Prozesse 33%, die Unfallkosten rund 22%, die Kosten der Luftschadstoffe rund 9% und die Lärmkosten 8%. Der elektrische PKW verursacht keine Klima- und Luftschadstoffkosten im direkten Betrieb. 61% der Kosten stammen aus den vor- und nachgelagerten Prozessen, weitere 28% aus den Unfällen und 10% sind Lärmkosten.

Abbildung 16: Anteil der einzelnen Kostenkategorien an den gesamten Umwelt- und Unfallkosten (Genf – Paris)

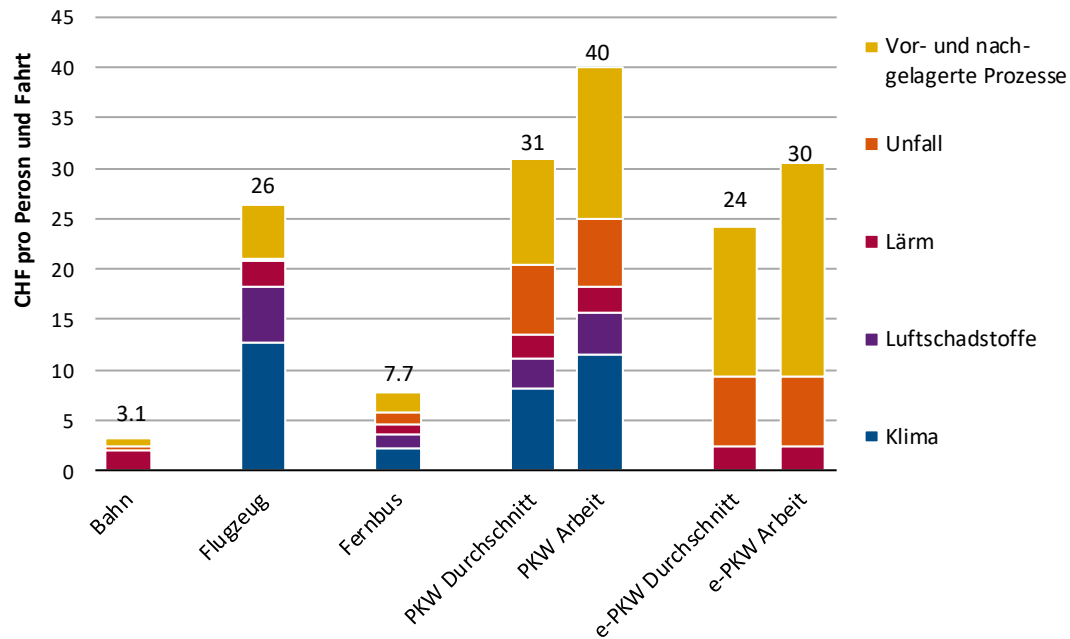


Grafik INFRAS.

Zürich – Paris

Die Abbildung 17 zeigt die Summe der Umwelt- und Unfallkosten der einzelnen Verkehrsträger, differenziert nach den berücksichtigten Kostenkategorien. Eine Fahrt mit dem TGV von Zürich nach Paris verursacht Umwelt- und Unfallkosten von rund 3.1 CHF pro Person. Eine Fahrt mit dem Fernbus verursacht rund 7.7 CHF pro Person. Wählt man für die Fahrt ein Elektro-PKW, fallen durchschnittlich (Auslastung von 1.6 Personen pro PKW) 24 CHF pro Person an Umwelt- und Unfallkosten an. Mit der tieferen Auslastung von Geschäftsreisenden erhöhen sich die Kosten auf 30 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 Umwelt- und Unfallkosten auf 40 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 26 CHF.

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

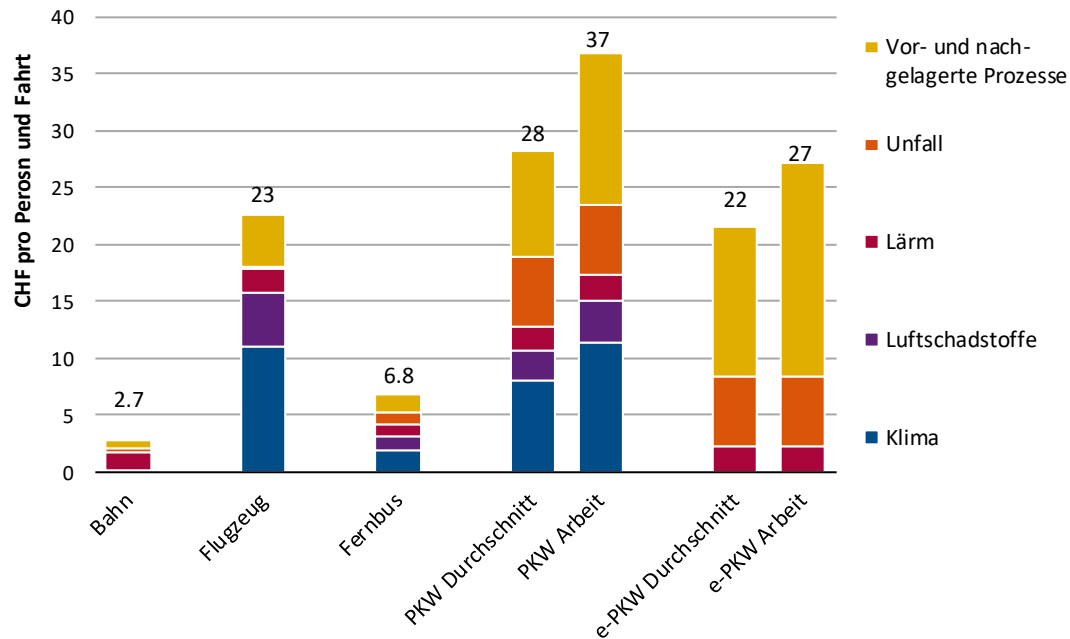


Grafik INFRAS.

Basel – Paris

Eine Bahnfahrt mit dem TGV von Basel nach Paris verursacht Umwelt- und Unfallkosten von rund 2.7 CHF pro Person. Eine Fahrt mit dem Fernbus verursacht rund 6.8 CHF pro Person. Wählt man für die Fahrt ein Elektro-PKW, fallen durchschnittlich (Auslastung von 1.6 Personen pro PKW) 22 CHF pro Person an Umwelt- und Unfallkosten an. Mit der tieferen Auslastung von Geschäftsreisenden erhöhen sich die Kosten auf 27 CHF. Beim konventionellen PKW mit Verbrennungsmotor fallen bei der durchschnittlichen Auslastung rund 28 CHF pro Person an. Mit der tieferen Auslastung von Geschäftsreisenden erhöhen sich die Kosten auf 37 CHF pro Person. Eine Reise mit dem Flugzeug von Zürich nach Paris verursacht pro Person Umwelt- und Unfallkosten von rund 23 CHF.

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

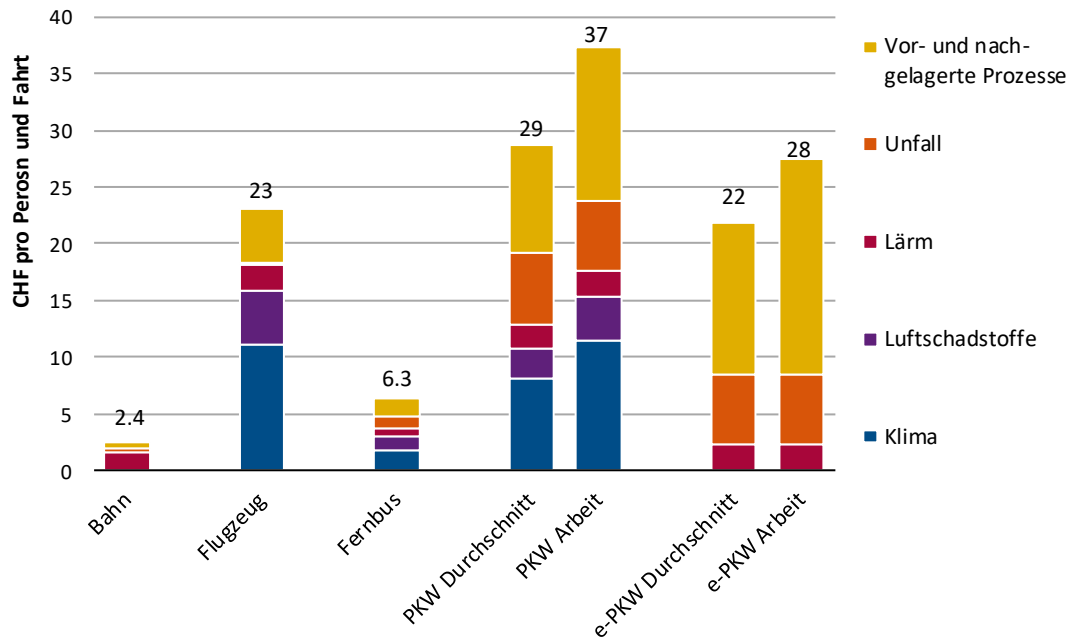


Grafik INFRAS.

Lausanne – Paris

Eine Bahnfahrt mit dem TGV von Lausanne - Paris verursacht Umwelt- und Unfallkosten von rund 2.4 CHF pro Person. Eine Fahrt mit dem Fernbus verursacht rund 6.3 CHF pro Person. Wählt man für die Fahrt ein Elektro-PKW, fallen durchschnittlich (Auslastung von 1.6 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. Mit der tieferen Auslastung von Geschäftsreisenden erhöhen sich die Kosten auf 37 CHF pro Person. Eine Reise mit dem Flugzeug von Zürich nach Paris verursacht pro Person Umwelt- und Unfallkosten von rund 23 CHF.

Abbildung 19: Umwelt- und Unfallkosten pro Person und Fahrt nach Verkehrsträger auf der Relation Lausanne – Paris

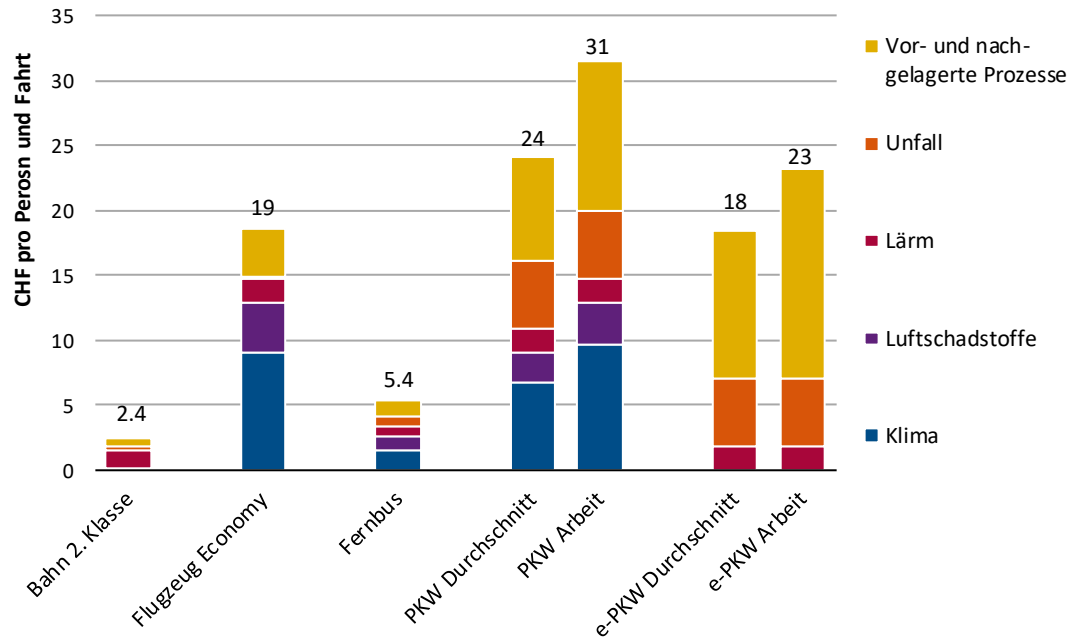


Grafik INFRAS.

Genf – Marseille

Eine Bahnfahrt mit dem TGV von Genf - Marseille verursacht Umwelt- und Unfallkosten von rund 2.4 CHF pro Person. Eine Fahrt mit dem Fernbus verursacht rund 5.4 CHF pro Person. Wählt man für die Fahrt ein Elektro-PKW, fallen durchschnittlich (Auslastung von 1.6 Personen pro PKW) 18 CHF pro Person an Umwelt- und Unfallkosten an. Mit der tieferen Auslastung von Geschäftsreisenden erhöhen sich die Kosten auf 23 CHF. Beim konventionellen PKW mit Verbrennungsmotor fallen bei der durchschnittlichen Auslastung rund 24 CHF pro Person an. Mit der tieferen Auslastung von Geschäftsreisenden erhöhen sich die Kosten auf 31 CHF pro Person. Eine Reise mit dem Flugzeug von Genf nach Marseille verursacht pro Person in der Economy Klasse Umwelt- und Unfallkosten von rund 19 CHF.

Abbildung 20: Umwelt- und Unfallkosten pro Person und Fahrt nach Verkehrsträger auf der Relation Genf – Marseille



Grafik INFRAS.

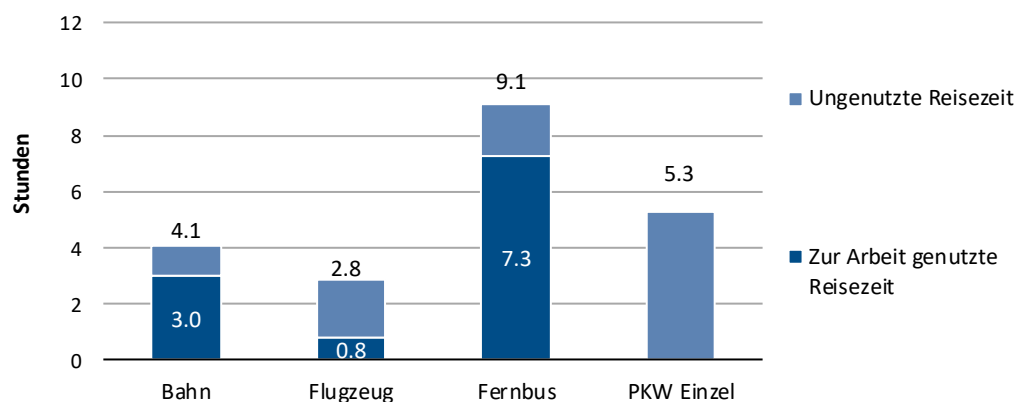
3.4. Reisezeit und Arbeitszeit

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 wurde 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.

Genf – Paris

Drei Stunden der insgesamt rund 4 Stunden Fahrzeit von Genf nach Paris (Annemasse bis Versailles) stehen den TGV-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. Die PKW-Fahrten auf dieser Relation dauern rund 5 Stunden. Zum Arbeiten kann davon keine Zeit genutzt werden.

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

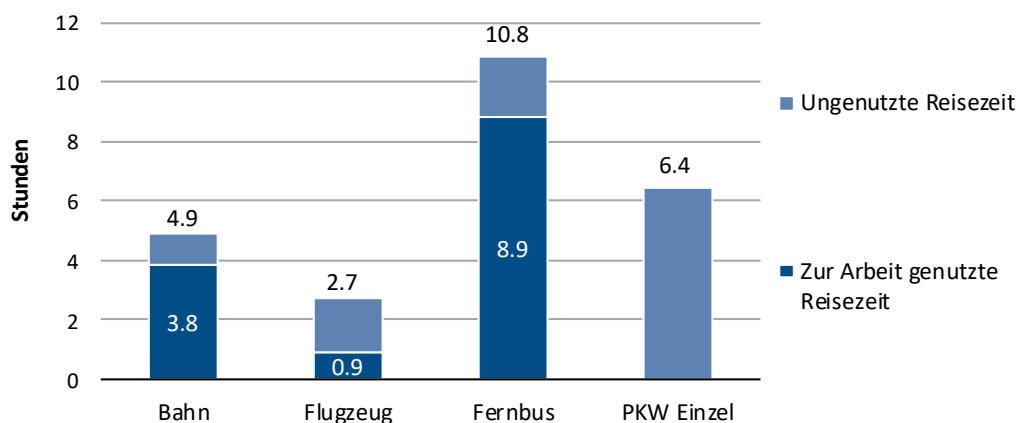


Grafik INFRAS.

Zürich – Paris

Anteilig am meisten produktive Arbeitszeit hat ein Reisender in der Bahn. 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. Die PKW-Fahrten auf dieser Relation dauern rund 6.4 Stunden. Zum Arbeiten kann davon keine Zeit genutzt werden.

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

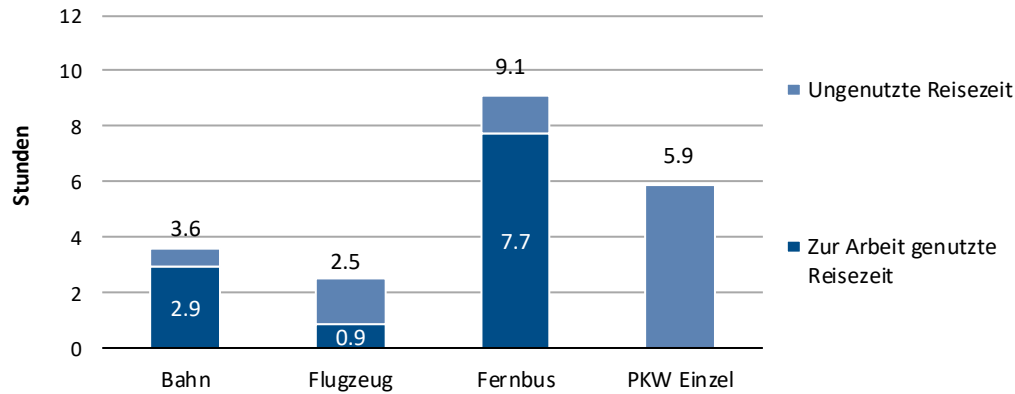


Grafik INFRAS.

Basel – Paris

Fast 3 Stunden der insgesamt 3.6 Stunden Fahrzeit von Reinach BL ins Stadtzentrum Paris stehen den TGV-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. Die PKW-Fahrten auf dieser Relation dauern rund 6 Stunden. Zum Arbeiten kann davon keine Zeit genutzt werden.

Abbildung 23: Basel – Paris: Anteil der zum Arbeiten nutzbaren Reisezeit

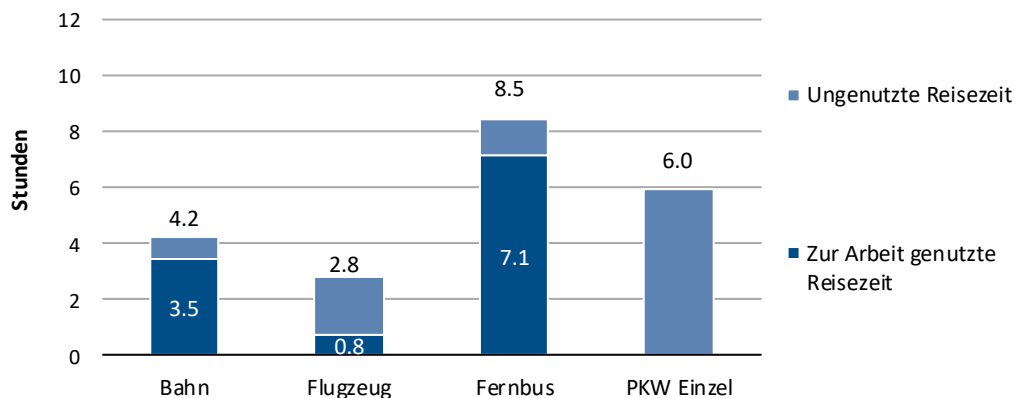


Grafik INFRAS.

Lausanne – Paris

Rund 3.5 Stunden der über 4 Stunden Fahrzeit von Lausanne nach Paris (Montreux bis ins Stadtzentrum Paris) stehen den TGV-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. Die PKW-Fahrten auf dieser Relation dauern rund 6 Stunden. Zum Arbeiten kann davon keine Zeit genutzt werden.

Abbildung 24: Lausanne – Paris: Anteil der zum Arbeiten nutzbaren Reisezeit

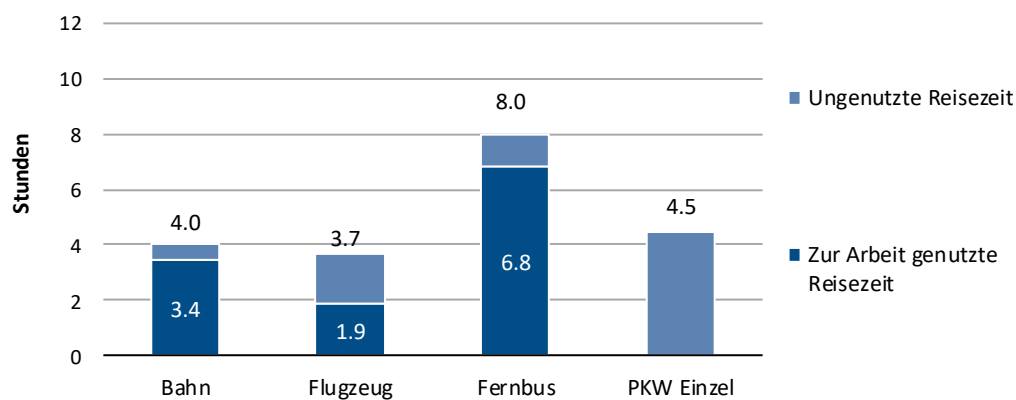


Grafik INFRAS.

Genf – Marseille

Rund 3.5 Stunden der 4 Stunden Fahrzeit von Genf nach Marseille (Nyon bis ins Stadtzentrum Marseille) stehen den TGV-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. Die PKW Fahrten auf dieser Relation dauern rund 4.5 Stunden. Zum Arbeiten kann davon keine Zeit genutzt werden.

Abbildung 25: Genf – 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:

- Beim Vergleich pro Person und Fahrt ist die Auslastung der Fahrzeuge eine zentrale Variable. Die Verkehrsträger TGV, Fernbus und Flugzeug sind im Durchschnitt gut ausgelastet, während die PKW durchschnittlich (1.6 Personen pro Fahrzeug) eine eher tiefe Auslastung aufweisen. Eine signifikante Erhöhung der Auslastung, z.B. der neuen TGV-Doppelstock-Züge wird die Bilanz der Bahn nochmals deutlich verbessern.
- Bei den aktuellen durchschnittlichen Auslastungen der untersuchten Verkehrsträger (alte und neue Flotte beim TGV) liegt der Umweltvorteil bezüglich der **Klimabilanz** klar bei der Bahn bzw. beim TGV. Mit kleinen Unterschieden je Relation, sind die pro Person emittierten Treibhausgasemissionen (inkl. Vorprozesse) bei einer Fahrt mit dem TGV auf dem Hauptlauf rund 4 bis 6-mal kleiner als beim Fernbus, rund 7 bis 12-mal kleiner als beim Elektro-PKW, rund 16 bis 27-mal kleiner als beim konventionellen, fossil angetriebenen PKW und rund 16 bis 28-mal kleiner als beim Flugzeug. Aus Sicht des Klimaschutzes bietet auf den untersuchten Relationen eine Bahnfahrt mit dem TGV den grössten Vorteil. Der Vor- und Nachlauf ist auf allen untersuchten Relationen im Vergleich mit dem Hauptlauf 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) die höchste Energieeffizienz aufweist. Die nächst höheren sind der Fernbus (+30% bis 70%) und der Elektro-PKW (+40% bis 90%). Der konventionelle PKW mit Verbrennungsmotor hat eine rund 4- bis 5-mal schlechtere und das Flugzeug eine rund 7- bis 10-mal schlechtere Energieeffizienz pro Person und Fahrt.
- Um die **Umwelt- und Unfallkosten** pro Person und Fahrt zu bestimmen, wurden die fünf Kostenkategorien Klima, Luftschadstoffe, Lärm, Unfälle und vor- und nachgelagerte Prozesse berücksichtigt. Auch hier verursachen die Bahnreisen per TGV pro Person und Fahrt die geringsten Umwelt- und Unfallkosten auf allen untersuchten Relationen. Dies liegt vor allem daran, weil der TGV fast keine direkten Klima-, Luftschadstoff- und Unfallkosten im Betrieb verursacht, die bei anderen Verkehrsträgern zu den wichtigsten Kostenkategorien gehören.

Die Umwelt- und Unfallkosten der Fernbusse sind etwas mehr als doppelt so hoch wie beim TGV, diejenigen der Elektro-PKW knapp 7-mal so hoch, die der Flugzeuge etwas über 7-mal so hoch und die Kosten der konventionellen PKW (Benzin/Diesel) rund 9-mal so hoch wie diejenigen des TGV.

- Vor allem für Unternehmen sollte die **produktive Nutzung der Reisezeit als Arbeitszeit** ein Kriterium bei der Auswahl des Verkehrsträgers für Geschäftsreisen sein. In der Studie wurde die gesamte Reisezeit inklusive der Vor- und Nachläufe untersucht. Eine Reise mit dem Zug erlaubt es, während rund 80% der Reisezeit zu arbeiten. Bei den Fernbussen sieht das grundsätzlich ähnlich aus. Allerdings muss zu den Fernbussen gesagt werden, dass diese auf den untersuchten Relationen häufig über Nacht fahren und somit nur theoretisch so viel gearbeitet werden kann, faktisch wohl erheblich weniger. Auf einer Flugreise ist nur rund 35% der gesamten Reisezeit zum produktiven Arbeiten nutzbar. Als produktives Arbeiten wurde die Arbeit mit einem technischen Gerät (Notebook etc.) definiert, das über das Telefonieren hinausgeht. Deshalb resultiert beim Auto keine nutzbare Arbeitszeit.
- 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 deutlich die Nase vorn. Umweltseitig am nächsten kommen der Bahn die Fernbusse, die aber immer noch 2- bis 4-mal 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 sind auf den untersuchten Relationen die Klimabilanz und die Umweltkosten des e-PKW immer noch um etwa einen Faktor 7 schlechter als beim TGV. Somit hat die Bahn im internationalen Fernverkehr auch mit der fortschreitenden Elektrifizierung der PKW momentan einen deutlichen Umweltvorteil gegenüber dem PKW. Ebenso deutlich ist der Umweltvorteil der Bahn gegenüber dem Flugzeug.

Annex

Klimabilanzen je Relation nach Quelle der Emissionen

Zürich - Paris

Tabelle 7: Treibhausgasemissionen Zürich – Paris nach Quelle der Emissionen

kg CO2-eq / Person	Bahn bisherige Flotte	Bahn neue Flotte	Flugzeug	Fernbus	PKW Durchschnitt	PKW Arbeit	e-PKW Durchschnitt	e-PKW Arbeit
Emissionen direkter Betrieb	0	0	93.4	15.7	65.3	93.2	0	0
Energiebereitstellung	1.7	1.2	16	3.0	10.5	15	9	13
Herstellung Fahrzeug und Infrastruktur	4.6	3.2	3.5	4.8	27	38	37	53
Total	6.3	4.3	112	24	103	146	46	65
<i>Total gemäss Norm SN EN 16258</i>	<i>1.7</i>	<i>1.2</i>	<i>109</i>	<i>19</i>	<i>76</i>	<i>108</i>	<i>9</i>	<i>13</i>

Basel - Paris

Tabelle 8: Treibhausgasemissionen Basel – Paris nach Quelle der Emissionen

kg CO2-eq / Person	Bahn bisherige Flotte	Bahn neue Flotte	Flugzeug	Fernbus	PKW Durchschnitt	PKW Arbeit	e-PKW Durchschnitt	e-PKW Arbeit
Emissionen direkter Betrieb	0	0	80	14	58	83	0	0
Energiebereitstellung	1.4	1.0	13	2.7	9.4	13	8	11
Herstellung Fahrzeug und Infrastruktur	4.0	2.7	3.0	4.2	24	34	33	47
Total	5.4	3.7	96	21	91	131	41	58
<i>Total gemäss Norm SN EN 16258</i>	<i>1.4</i>	<i>1.0</i>	<i>93</i>	<i>16</i>	<i>68</i>	<i>97</i>	<i>8</i>	<i>11</i>

Lausanne - Paris

Tabelle 9: Treibhausgasemissionen Lausanne – Paris nach Quelle der Emissionen

kg CO2-eq / Person	Bahn bisherige Flotte	Bahn neue Flotte	Flugzeug	Fernbus	PKW Durchschnitt	PKW Arbeit	e-PKW Durchschnitt	e-PKW Arbeit
Emissionen direkter Betrieb	0	0	81	13	59	84	0	0
Energiebereitstellung	1.3	0.9	14	2.5	9.5	14	8	12
Herstellung Fahrzeug und Infrastruktur	3.6	2.5	3.1	3.9	24	35	33	48
Total	4.9	3.3	98	19	93	133	42	59
<i>Total gemäss Norm SN EN 16258</i>	<i>1.3</i>	<i>0.9</i>	<i>95</i>	<i>15</i>	<i>69</i>	<i>98</i>	<i>8</i>	<i>12</i>

Genf - Marseille

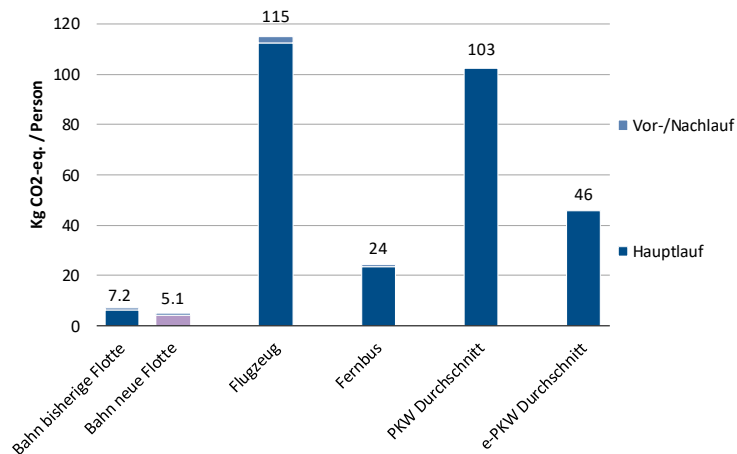
Tabelle 10: Treibhausgasemissionen Lausanne – Paris nach Quelle der Emissionen

kg CO2-eq / Person	Bahn bisherige Flotte	Bahn neue Flotte	Flugzeug	Fernbus	PKW Durchschnitt	PKW Arbeit	e-PKW Durchschnitt	e-PKW Arbeit
Emissionen direkter Betrieb	0	0	66	11	50	71	0	0
Energiebereitstellung	1.3	0.9	11	2.1	8.0	11	7	10
Herstellung Fahrzeug und Infrastruktur	3.6	2.4	2.5	3.4	20	29	28	40
Total	4.9	3.3	79	17	78	112	35	50
<i>Total gemäss Norm SN EN 16258</i>	<i>1.3</i>	<i>0.9</i>	<i>77</i>	<i>13</i>	<i>58</i>	<i>83</i>	<i>7</i>	<i>10</i>

Klimabilanzen je Relation mit Vor- und Nachlauf

Zürich - Paris

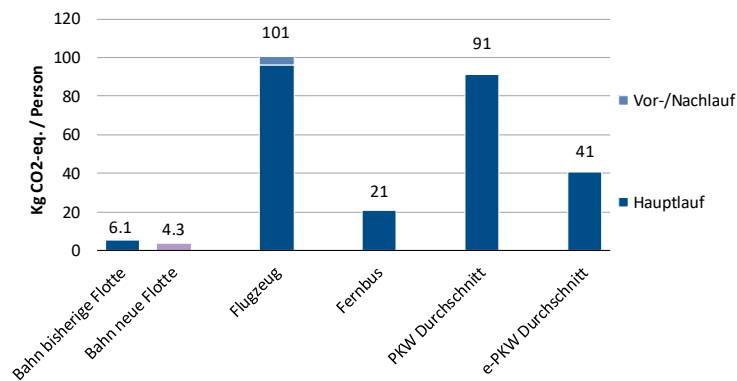
Abbildung 26: Durchschnittliche Werte je Verkehrsträger (Klimabilanz in CO₂-Äq. pro Person und Fahrt)



Grafik INFRAS.

Basel - Paris

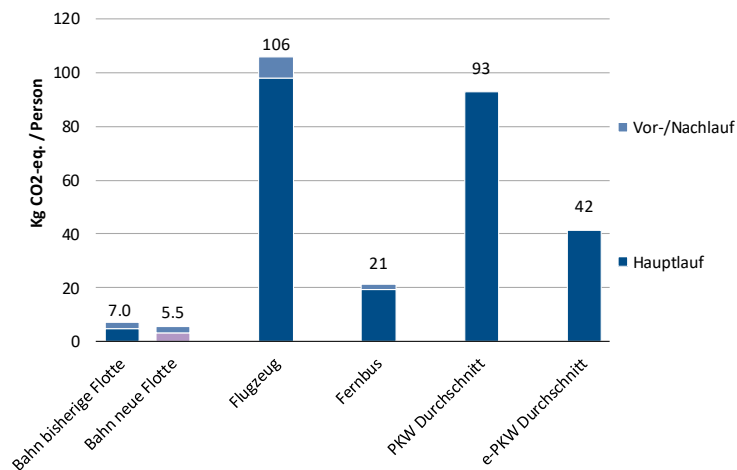
Abbildung 27: Durchschnittliche Werte je Verkehrsträger (Klimabilanz in CO₂-Äq. pro Person und Fahrt)



Grafik INFRAS.

Lausanne - Paris

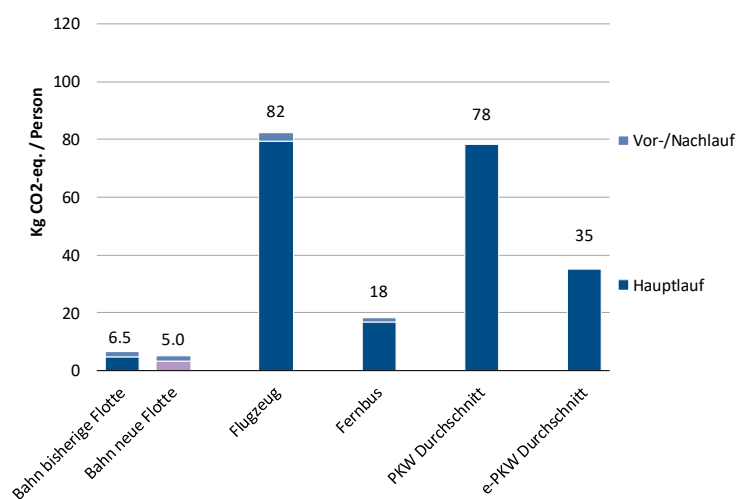
Abbildung 28: Durchschnittliche Werte je Verkehrsträger (Klimabilanz in CO₂-Äq. pro Person und Fahrt)



Grafik INFRAS.

Genf - Marseille

Abbildung 29: Durchschnittliche Werte je Verkehrsträger (Klimabilanz in CO₂-Äq. pro Person und Fahrt)

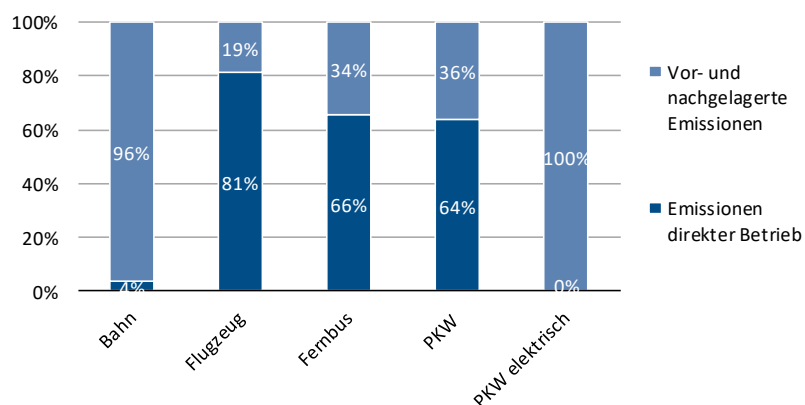


Grafik INFRAS.

Anteile der vor- und nachgelagerten THG-Emissionen

Zürich - Paris

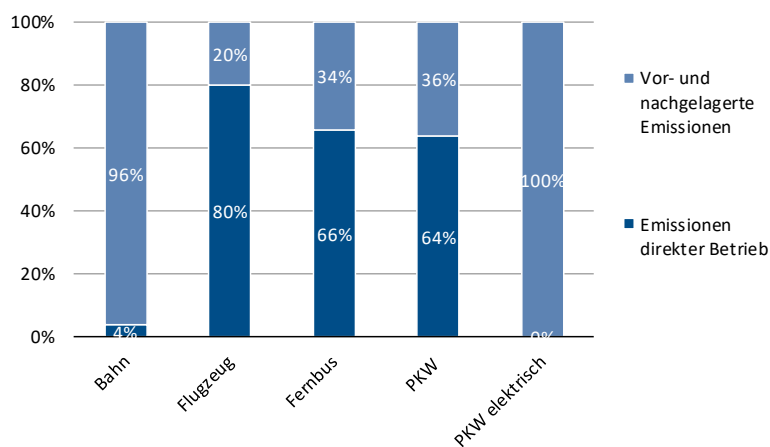
Abbildung 30: Zürich – Paris: Anteil der vor- und nachgelagerten THG-Emissionen an den gesamten THG-Emissionen



Grafik INFRAS.

Basel - Paris

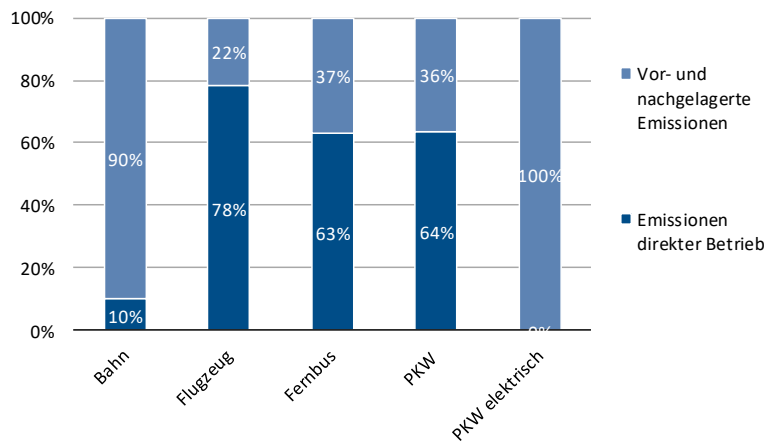
Abbildung 31: Basel – Paris: Anteil der vor- und nachgelagerten THG-Emissionen an den gesamten THG-Emissionen



Grafik INFRAS.

Lausanne - Paris

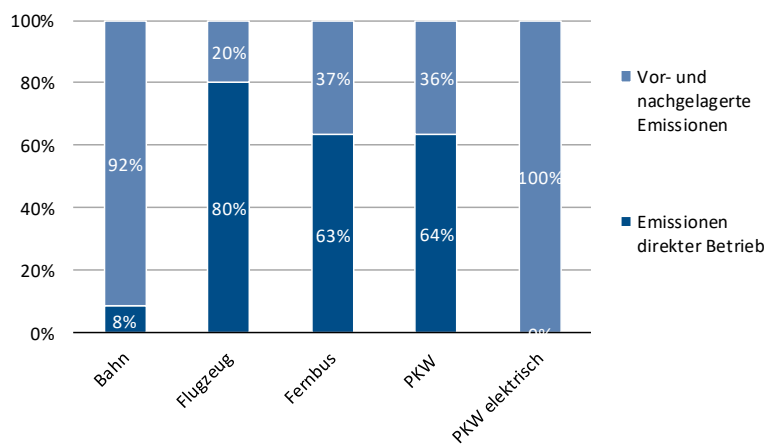
Abbildung 32: Lausanne – Paris: Anteil der vor- und nachgelagerten THG-Emissionen an den gesamten THG-Emissionen



Grafik INFRAS.

Genf - Marseille

Abbildung 33: Genf - Marseille: Anteil der vor- und nachgelagerten THG-Emissionen an den gesamten THG-Emissionen

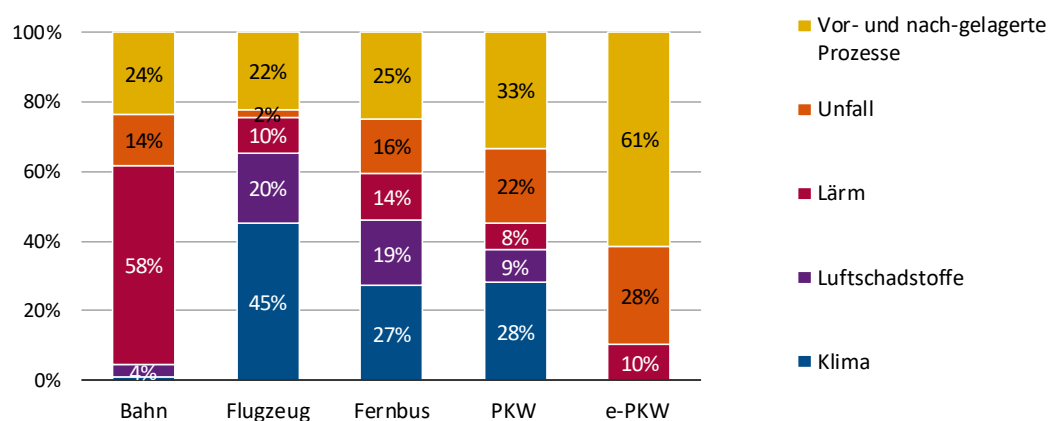


Grafik INFRAS.

Anteile der einzelnen Kostenkategorien

Zürich - Paris

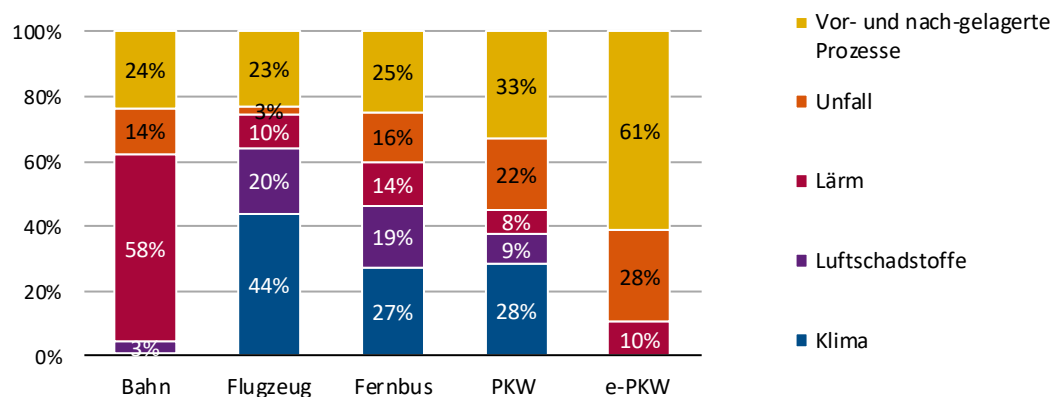
Abbildung 34: Zürich – Paris: Anteil der einzelnen Kostenkategorien an den gesamten Umweltkosten



Grafik INFRAS.

Basel - Paris

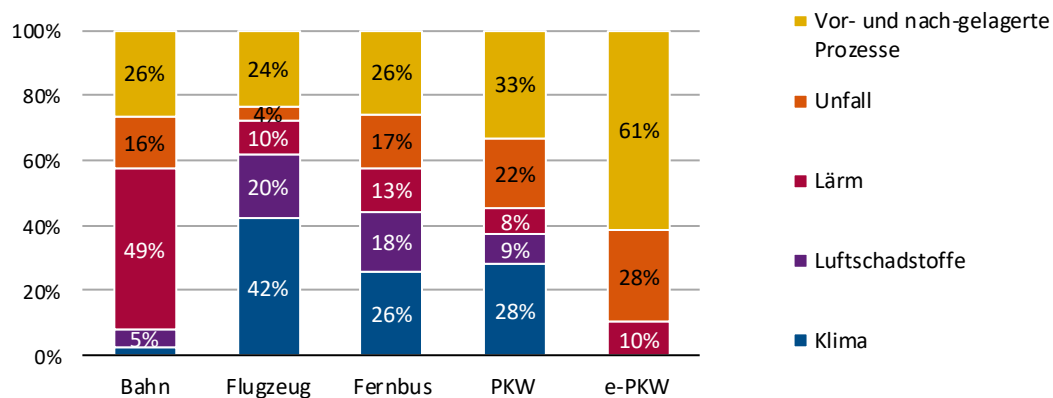
Abbildung 35: Basel – Paris: Anteil der einzelnen Kostenkategorien an den gesamten Umweltkosten



Grafik INFRAS.

Lausanne - Paris

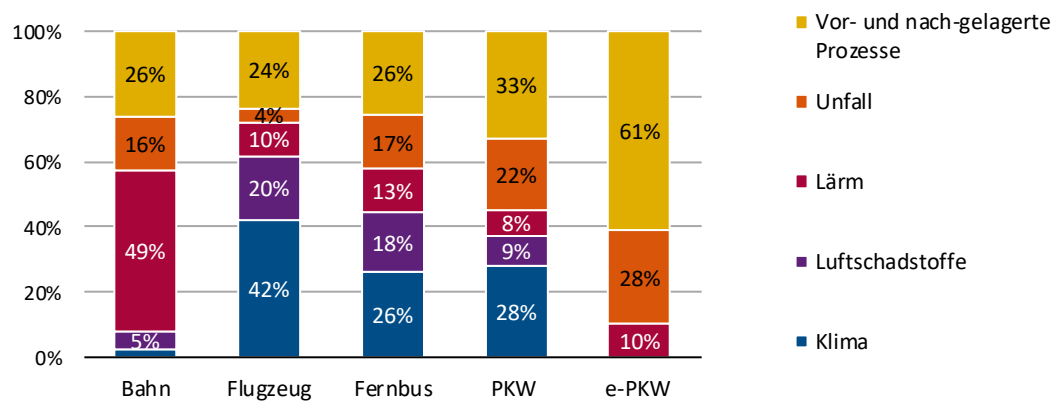
Abbildung 36: Lausanne – Paris: Anteil der einzelnen Kostenkategorien an den gesamten Umweltkosten



Grafik INFRAS.

Genf - Marseille

Abbildung 37: Genf - Marseille: Anteil der einzelnen Kostenkategorien an den gesamten Umweltkosten



Grafik INFRAS.

Literatur

Atmosfair 2019: 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.

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, January 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 2019a: Externe Kosten des Verkehrs in Deutschland, Aufdatierung 2018, im Auftrag der Allianz pro Schiene, Zürich, 2019

INFRAS 2019b: HBEFA 4.1. Handbook of Emission Factors for Road Transport. Infrass, Bern. [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