

---

# Mobilität und Klima – wie kriegen wir die Kurve?

Dr. Peter de Haan

EBP Schweiz, Partner, Leiter Ressourcen, Energie + Klima und Wirtschaft + Gesellschaft

ETH Zürich, Dozent MAS/CAS Mobilität der Zukunft

SVI-Auftaktveranstaltung, 7. November 2024, Bern

# Mobilität und Klima – wie kriegen wir die **vielen** Kurven?

Dr. Peter de Haan

EBP Schweiz, Partner, Leiter Ressourcen, Energie + Klima und Wirtschaft + Gesellschaft

ETH Zürich, Dozent MAS/CAS Mobilität der Zukunft

SVI-Auftaktveranstaltung, 7. November 2024, Bern

# Mobilität und Klima – wie kriegen wir die vielen Kurven?

---

**Mobilität schneller dekarbonisierbar**

**Export unserer Umweltbelastung**

**4x so schnell als bisher**

**Fehlanreize**

**Kostenwahrheit**

**Elektrifizierung**

**H<sub>2</sub> und E-fuels**

**Städte**

**Reboundeffekte**

**Flugverkehr**

**Flugzeug als Hauptverkehrsmittel**

**Klimawirkung**

**It's technically feasible...**

**Fasten your seat belts, and prepare for impact!**

# Mobilität\* schneller dekarbonisierbar als die anderen Sektoren

---

Sektoren: Mobilität, Gebäude, Industrie, Abfall, Land-/Forstwirtschaft, Finanzmarkt

- **Gebäude**: 2.3 Millionen Einzelfälle mit 1.x Millionen Eigentümern, viel Winterenergie, «leben» 25 bis 50 Jahre, oft Teil-Renovation statt Ersatzneubau
- **Fahrzeuge** sind standardisiert, einheitlich reguliert, Sommer- = Winterbetrieb, Lebensdauer 10–15 Jahre (z.B. Feuerwehrwagen 20 Jahre! ← ab sofort nur noch elektrisch...)

→ «Netto null 2050» heisst: **Sektor Mobilität\*** muss

- zum allergrössten Teil bis **2040** dekarbonisiert sein
- **ohne Bioenergie** (wird für Hochtemperaturprozesse + einzelne Gebäude benötigt)
- mit hoher Flexibilität + **Integration neue erneuerbare Energien** im Stromnetz
- keine Restemissionen / **keine Negativemissionen** nötig
- gilt inklusive Baumaschinen, Pistenfahrzeuge, Land- und Forstwirtschaft!

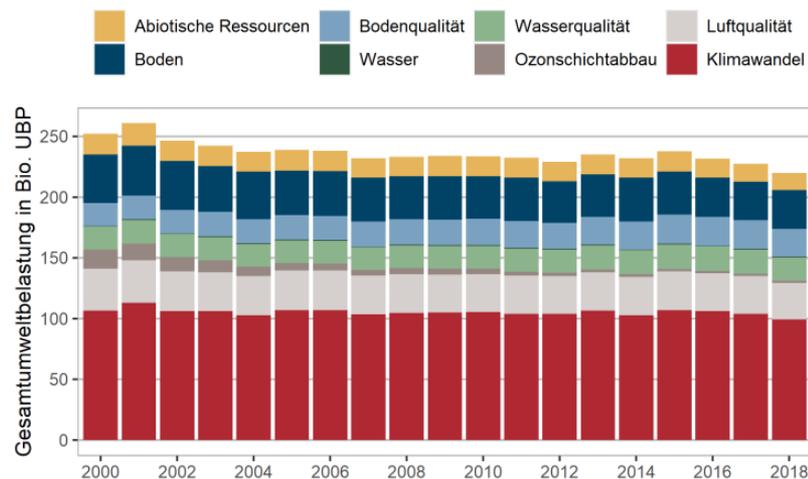
\*hier: ohne Flugzeuge und Schiffe

---

# Export unserer Umweltbelastung – auch in der Mobilität

Klimawirkung macht ca. die Hälfte des Umwelt-Fussabdrucks aus.

Um Importe und Exporte korrigiert: Grösster Teil der Belastung im Ausland, Tendenz steigend.



*(Flüge+Kreuzfahrten im Ausland durch CH-Bevölkerung [exportierte Mobilität] nur teilweise der CH zugeordnet)*



# Wir müssen 4x so schnell vorwärtsmachen als bisher

Viele parallele Ziele: Energie, CO<sub>2</sub>e, NO<sub>x</sub>/PM<sub>10</sub>, Lärm, Flächeninanspruchnahme, ...

- Erwartete Zunahme Transportleistung gemäss NPVM und NGVM
- Good news: Alle Ziele könnten mit verfügbaren Technologien parallel erreicht werden
- Bad news: Die bisherigen jährlichen Fortschritte reichen nicht.

Es müsste 4x bis 10x schneller gehen



# Fahren mit Handbremse? Energetische Fehlanreize reduzieren!

- Viel «wohlgemeinte» Politikmassnahmen haben bedeutende energetische Fehlanreize (häufig im Bereich Verkehr, wegen hohe Regulierungsdichte)
- Fehlanreize abbauen = alternative Politikmassnahme mit weniger Nebenwirkungen
- Politisch unbeliebt, aber hat volkswirtschaftlich negative Kosten!

Thematische Gruppe	# MeF	Betroffene Regulierungen/Mechanismen
Verkehr (Flugverkehr)	3	Befreiung von Steuern und Abgaben, Subventionierung Infrastruktur und Betrieb
Verkehr (Güterverkehr)	2	Bevorteilung leichte Nutzfahrzeuge (Lenk-/Ruhezeiten, LSWA)
Verkehr (MIV)	4	Fahrleistungsunabhängige Autobahnvignette und Motorfahrzeugsteuer, fehlende Ladeinfrastruktur, übermässiger Parkraum
Verkehr (ÖV)	3	Subventionierung, Pauschalangebote, Bestellmechanismus



## Kostenwahrheit für die Mobilität (wenn's sein muss in vielen Schritten)

---

- Externe Kosten des Verkehrs: Bisher 140 CHF/t CO<sub>2e</sub>, neu aber 430 CHF/t CO<sub>2e</sub>
- Damit haben sich die Externen Kosten des Verkehrs ca. verdoppelt
- Dieser Wert steigt mit zunehmenden Klimaschäden... bis ca. 1'000 CHF im 2040
- Angebracht wären schon heute (Berücksichtigung Vorsorgeprinzip) 1'370 CHF/t CO<sub>2e</sub>

Wo sollte das zur Anwendung kommen?

- Wirtschaftlichkeit von CO<sub>2e</sub>-Reduktionsmassnahmen, z.B. Kauf Elektrobusse
- Klima-UVP von Verkehrsinfrastrukturen
- Firmen-interne CO<sub>2</sub>-Pricing-Mechanismen
- Mineralölsteuer



# Elektrifizierung von allem, was einen Motor hat

Für Personenwagen und Lieferwagen: TCO für Elektroautos bereits niedriger!

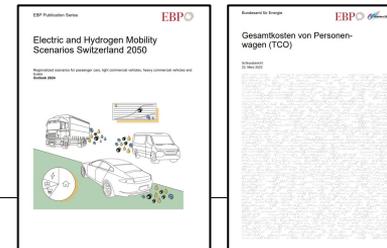
Für Busse, Lastwagen, Baumaschinen, Nonroadsektor:

Falls externe Kosten nicht internalisiert, braucht es Massnahmen!:

- > Verbot Neuzulassung Verbrennerfahrzeuge
- > Anpassung Motorfahrzeugsteuern («Outphasing» Verbrennerfahrzeuge)
- > Öffentliche Beschaffung von Transportdienstleistungen
- > Ggf. Subvention von Kern-Ladeinfrastruktur (Huhn-Ei-Effekt)

Elektrofahrzeuge sind infrastrukturegebundener als Verbrennerfahrzeuge

- > Elektrobusse: Aus ÖV-/Planungssicht recht ähnlich zu Trolleybussen
- > Aus Bestellersicht: Enorme Änderung der Rollen der Akteure  
(Gesamtplan ÖV-Angebot > benötigte Infrastruktur > Buslinien bestellen)

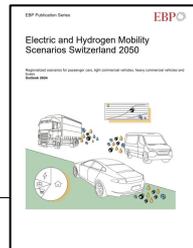


# Keine Rolle für H<sub>2</sub> und E-fuels im Landverkehr

- H<sub>2</sub> braucht 3x, E-fuels 5x soviel Strom wie direkte Verwendung in Batteriefahrzeug → Batterie-Antrieb setzt sich aus Kostengründen durch, sobald technisch machbar (Autos > Lieferwagen > Busse > Lastwagen > Baumaschinen > ...)
- H<sub>2</sub>-Anlage muss ca. 4000h pro Jahr produzieren können, dafür gibt's kein Gratis-Strom (>2000h pro Jahr negative Residuallast können auftreten, falls >50% Wind+PV, ab 2050)
- Innerhalb Europa: H<sub>2</sub>-Herstellung nicht sinnvoll, Strom direkt verwenden viel günstiger
- Falls H<sub>2</sub> als «Global Commodity» per Schiff importierbar: Verwendung in der Nähe von Häfen und H<sub>2</sub>-Pipelines (Stromerzeugung, Hochtemperatur-Industrie, ggf. Flughäfen)
- Mobilität: Wenn schon, dann Einsatz in Aviation + Maritime (Für E-fuels ist es noch deutlicher)

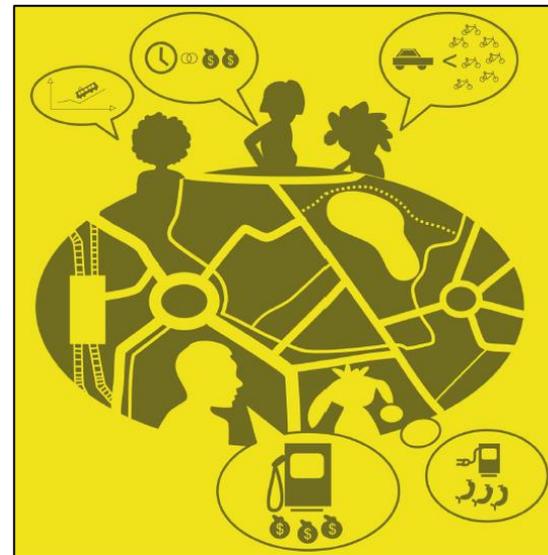


Bundesregierung schliesst Wasserstoff-Bündnis mit Trudeau



# All mobility is local... Handlungsspielräume der Städte

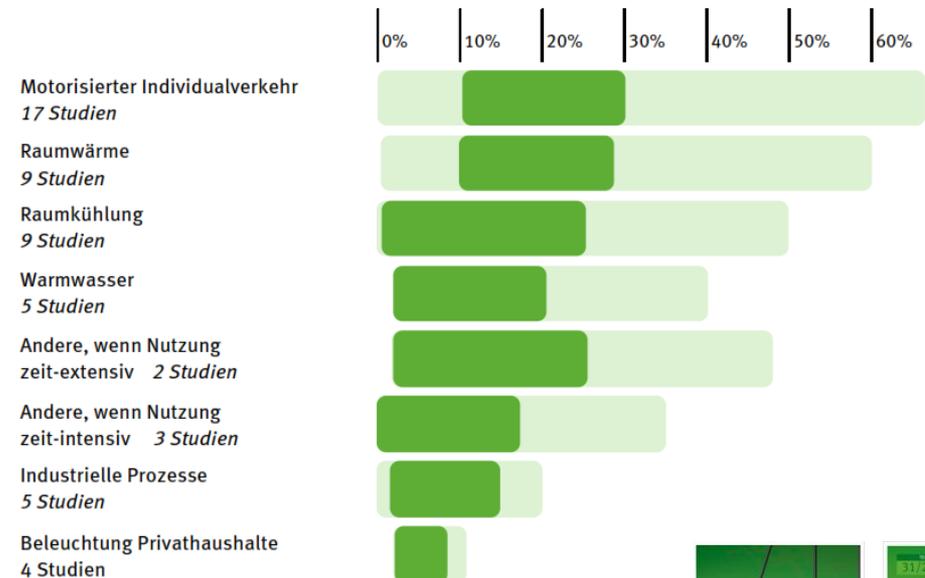
- Dekarbonisierung bis 2040; keine Bio-Treibstoffe, keine Negativ-Emissionen
- Baumaschinen und Spezialfahrzeuge gehören dazu, inkl. eingekaufte Dienstleistungen
- Für ambitionierte Ziele braucht es starke Massnahmen («4x schneller als bisher»)
- Starke Massnahmen müssen umfassend bewertet werden:
  - > Ziele in Umwelt, Ressourcen, Raum und Verkehr
  - > Jährliche Überprüfung der Zielkonformität



# Rebound-Effekte: Minimieren, akzeptieren, einkalkulieren

- Höhere Effizienz, finanziell oder mental (geringere Umweltbelastung)  
→ höhere Nachfrage
- Mobilität verteuern!  
Und Info zu Umweltbelastungen!
- Verbleibende Rebound-Effekte:  
unvermeidlich, aber gut abschätzbar  
(Massnahmenpaket = 120% der angestrebten Einsparungen...)

Tabelle 2: Wertebereiche für den langfristigen direkten Rebound-Effekt



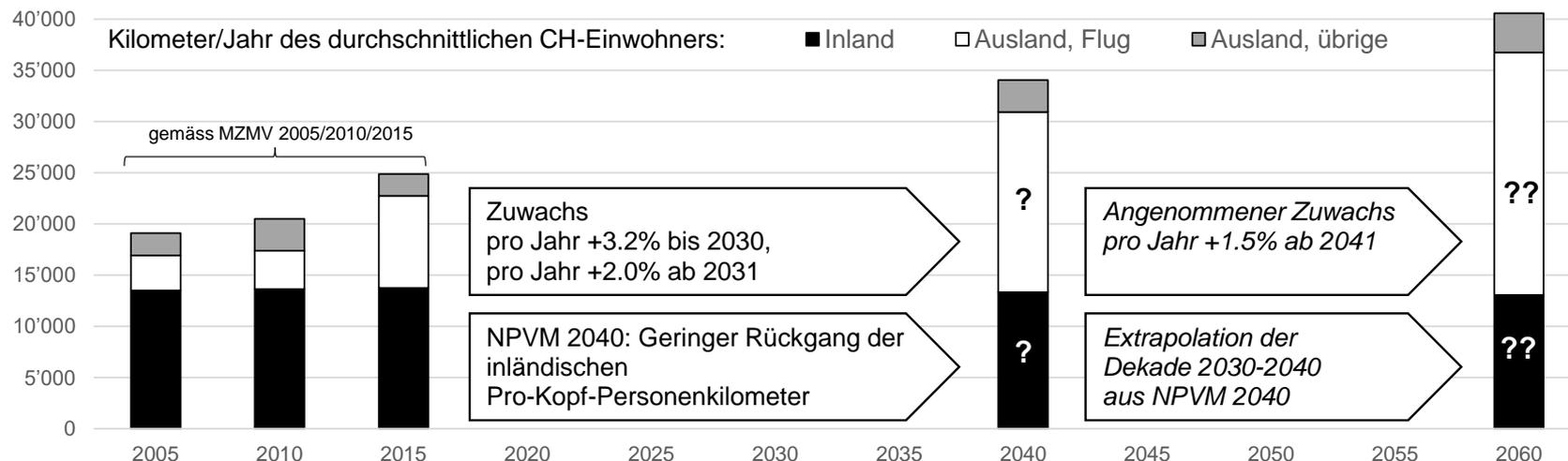
# Mobilitätsverhalten ändern? Immer den Flugverkehr mitdenken!

- Mobilität = „Teil-Budgets“ für Geld, Zeit, Stress
- Zwangsmobilität schöpft Stress-Teilbudget fast aus → Mobilität ist nicht geld-limitiert!
- Für Individuen: Wunschemobilität muss vor allem wenig Stress-Kosten haben...
- Für Mobilitätsforschende: Massgebend ist Gesamt-Mobilitätsverhalten eines Haushalts über das ganze Jahr, inklusive allen Ferienreisen im Ausland (Teil-Budgets bleiben erhalten!)
- Für Klimaforschende: Vermeidung und Verlagerung im Landverkehr mit «Leakage» zu Flugverkehr (und Kreuzfahrten)



# Das Flugzeug als Hauptverkehrsmittel der Schweiz

- MZVM2015: Bereits 45% der Personen-Kilometer im Ausland
- MZVM: «undersampling» von Vielreisenden, und «underreporting» der Reisen mit Übernachtung, v.a. rein ausländische Flüge
- 2025 wird Flugzeug das Hauptverkehrsmittel der CH-Bevölkerung sein



# Flugzeug = 75%–85% der Klimawirkung der Mobilität

- CO<sub>2</sub>-Emissionen Flugverkehr: weltweit 2.6% im 2017
- Anstieg Flugverkehr um 300–700% (3.6% pro Jahr) bis 2050 (ICAO)
- Pariser Klima-Abkommen / RCP2.6-Szenario 14'000–15'000 Mio. t  
→ Anteil Flugverkehr wird auf 20% ansteigen
- **Radiative Forcing Index (RFI) von 2.5**  
= Multiplikator der CO<sub>2</sub>-Emissionen für den Gesamt-Treibhauseffekt
- MZVM2015: **Flugzeug = 75% der Klimawirkung Mobilität CH-Bevölkerung**  
(RFI 2.5; 8'986 von 24'849 pkm; 2x höhere CO<sub>2</sub>-Intensität)
- 2025 ca. 85% (45% der pkm; 3x höhere CO<sub>2</sub>-Intensität wg. Elektromobilität)

Vergesst die angebliche Energieeffizienz von Flugzeugen pro Sitzplatzkilometer:

(1) stark geschönt, (2) relevant ist Ausstoss pro Reise, nicht pro pkm, (3) hinfällig mit Elektroautos



# Lernen Batterien fliegen?

- Viel höhere Energieeffizienz von Strom im Vergleich zu H2 und SAF/Drop-in-Fuels
- Falls Batterien 8x höhere Energiedichte erreichen als heute:
  - > Europaflüge rein batterieelektrisch möglich (Typ Airbus 320, Ersatz Tanks durch Batterien)
  - > Interkontinental kommt man von ZRH bis ca. Nashville (Typ Boeing 777-300ER)
  - > H2-Flugzeuge hätten geringere Reichweite als Batterieflyzeuge
- Aviation = enorm lange Lebensdauern, enorme lange Zulassungsverfahren...; hoher Regulierungsdruck = schnellere Elektrifizierung (ca. gleiche Preise wie heute!)

Energiequelle	Energieträger	Energie pro Flug	Anzahl Flüge (ZRH → PMI)
 <p>2 Windkraftwerke produzieren 12 GWh in einem Jahr</p>	Strom	17'739 kWh	676
	Wasserstoff	36'613 kWh	327
	Drop-in-Fuel	186'557 kWh	64

# Mobilität und Klima – wie kriegen wir die vielen Kurven?

1. **Mobilität schneller dekarbonisierbar** als die anderen Sektoren
2. **Export unserer Umweltbelastung** – auch in der Mobilität
3. Wir müssen **4x so schnell als bisher** vorwärtskommen
4. Fahren mit angezogener Handbremse? **Fehlanreize** reduzieren!
5. **Kostenwahrheit** für die Mobilität – wenn's sein muss in vielen Schritten
6. **Elektrifizierung** von allem, was einen Motor hat
7. Rolle von **H<sub>2</sub> und E-fuels** im Landverkehr
8. All mobility is local... Handlungsspielräume der **Städte**
9. **Reboundeffekte**: Minimieren, akzeptieren, einkalkulieren
10. **Mobilitätsverhalten** ändern? Immer den **Flugverkehr mitdenken!**
11. **Flugzeug als Hauptverkehrsmittel** der CH-Bevölkerung
12. Flugzeug = 75%–85% der **Klimawirkung** der Mobilität
13. Lernen Batterien fliegen?

It's technically feasible...

Fasten your seat belts, and prepare for impact!

# Verfügbare Studien

Download-Link (108 Seiten, 3.4 MB)

Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Föderation des Kantone  
Confederaziun svizra  
Confederaziun svizra

Editerisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK  
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC  
Departament federal d'ambient, de transport, d'energia e de comunicaziun DATIC  
Departament federal d'ambient, de transport, d'energia e de comunicaziun DATIC

Bundesamt für Strassen  
Office fédéral des routes  
Ufficio federale delle Strade

## Verkehr der Zukunft 2060: Technologischer Wandel und seine Folgen für Mobilität und Verkehr

Transports du futur 2060: Le changement technologique et ses conséquences pour mobilité et transport

Transport of the future 2060: Technological change and its consequences for mobility and transport

EBP Schweiz AG  
Dr. Peter de Haan  
Dr. Rajko Straumann  
Roberto Blanchetti  
Adrian Stettler

Raggo Trans AG  
Bernhard Gehry  
Dr. Jörg Jermann

Forschungsprojekt SVI 2017/063 auf Antrag der Schweizerischen Vereinigung der Verkehrsingenieure und Verkehrsexperten (SVI)  
August 2020 1682

Download-Link (78 Seiten, 1.1 MB)

Städtekonferenz Mobilität  
Conférence des villes pour la mobilité  
Conférenza delle città per la mobilità

## Handlungsspielräume der Städte für eine klimaneutrale Mobilität

Schlussbericht – Stand 16.11.20  
23.11.2020

Download-Link (128 Seiten, 4.4 MB)

## Umwelt-Fussabdrücke der Schweiz: Entwicklung zwischen 2000 und 2018

Schlussbericht, Zürich, September 2022  
Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)

# Verfügbare Studien Massnahmen Energie-Verbrauch

[Download-Link](#) (49 Seiten, 1.0 MB)

Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun Svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK  
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DAREC  
Dipartiment federal dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC  
Ufficio federale delle Strade

**Bundesamt für Energie BFE**  
Forschungsprogramm Energie – Wirtschaft – Gesellschaft

Schlussbericht 23. Juni 2016

## Die Effizienzlücke beim Autokauf: Zielgruppenspezifische Gründe und Massnahmen

Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun Svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK  
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DAREC  
Dipartiment federal dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC  
Ufficio federale delle Strade

## Förderinstrumente für effiziente Fahrzeuge: Auswirkungen auf Kauf und Nutzung von Autos

Instruments de promotion des véhicules énergétiquement  
efficaces: Impacts sur l'achat et l'utilisation de voitures

Support Instruments for Efficient Vehicles: Impacts on  
Automobile Purchases and Usage

EBP Schweiz AG  
Peter de Haan  
Nina von Kellen  
Roberto Bianchetti

Ecoplan AG  
André Müller  
Tobias Schöch  
Michael Mätzmann

Fachgesellschaft e'mobile  
Susanne Wiggmann

Forschungsprojekt SVI 2014/02\_ENG auf Antrag der Schweizerischen  
Vereinigung der Verkehrsingenieure und Verkehrsexperten (EVI)

Dezember 2017 1627

BAFU, Sektion Umweltbeobachtung

EBP

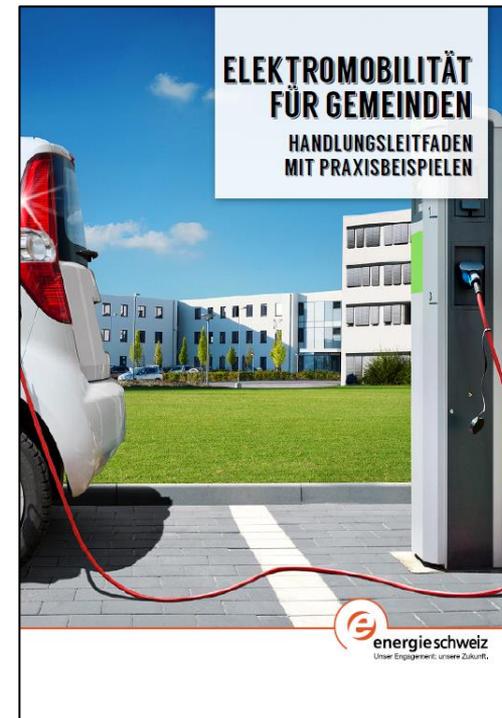
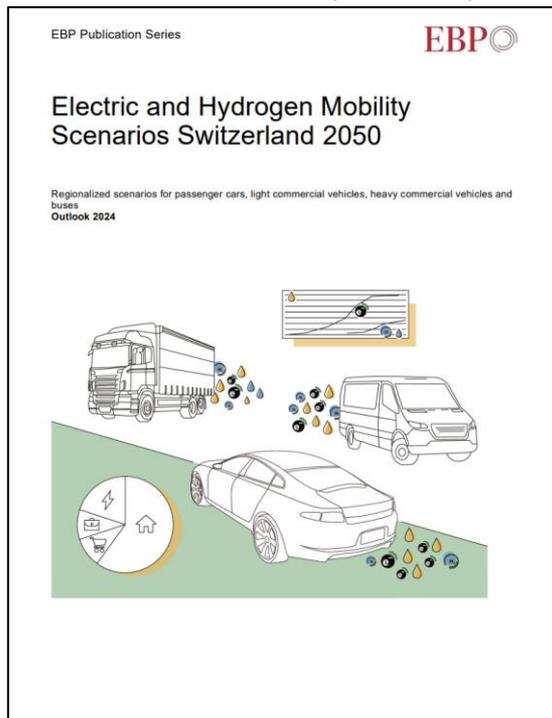
## Relevante Faktoren für ein Mobilitätssystem mit geringen Umweltwirkungen

Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU), 12.10.2016

Modus	ENERGIE [PJ]	CO <sub>2</sub> [t/ha]	PM <sub>10</sub> [t/ha]	NO <sub>x</sub> [t/ha]	LEBEN [Anz. Personen]	FLÄCHE [ha]
PKW	62%	12%	72%	67%	Tag: 1'100'000 Nacht: 1'000'000	88%
Bus	3%	0.1%	24%	1%	Tag: 16'000 Nacht: 87'000	10%
S-Bahn	1%	0.5	1%	2%	k.A.	k.A.
Flugzeug	21%	20%	3%	30%	Tag: 24'000 Nacht: 75'000	2%

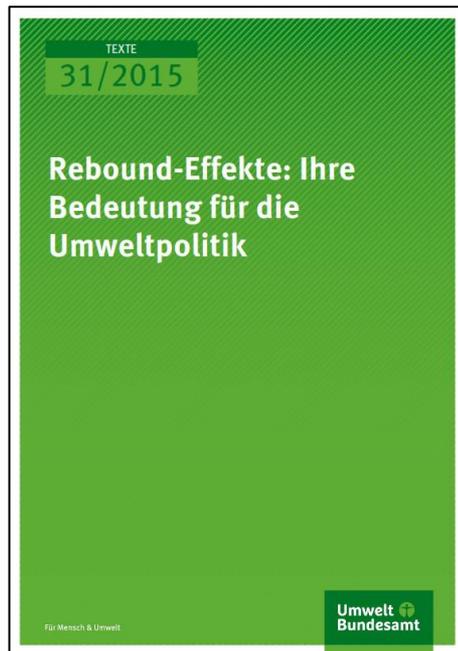
# Verfügbare Studien Elektromobilität

[Download-Link](#) (53 Seiten)



# Verfügbare Studien Rebound-Effekte und Fehlanreize

[Download-Link](#) (112 Seiten)



[Download-Link](#) (43 Seiten)



[Download-Link](#) (39 Seiten)



# Verfügbare Studien



[Download-Link](#) (60 Seiten, 1.6 MB)

