

Unterwegs zur Mobilität der Zukunft – Herausforderungen, Transformationspfade und erforderliche Rahmenbedingungen

Prof. Dr. Konstantinos Boulouchos
SCCER Mobility & Institut für Energietechnik, ETH Zürich

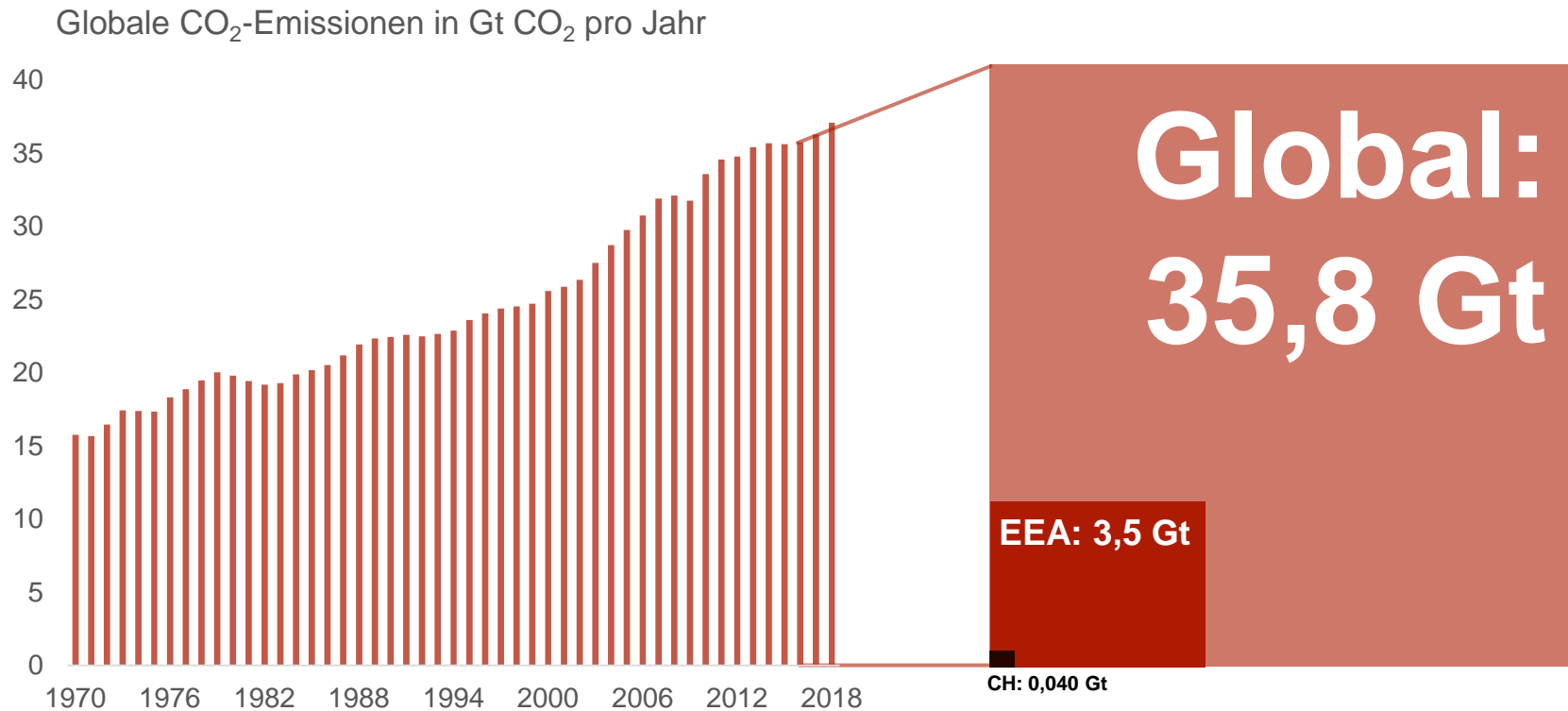
Benzin- und Dieselmotoren – unverzichtbar oder unverantwortlich

Zürich, 7. Februar 2019

Unsere Themen

- Herausforderungen ganz konkret:
die Lücke zwischen IST und SOLL, in der Schweiz und weltweit
- Nicht nur Technologie – jedoch nicht möglich ohne!
- Evolutionäre und disruptive Technologien – es braucht beides über unterschiedliche Zeiträume
- Sektorkopplung – es braucht Zeit, Geld und Wissen
- «Policy»-Massnahmen: es braucht viel mehr Konsistenz und einen Helikopter-Blick über das ganze Energiesystem

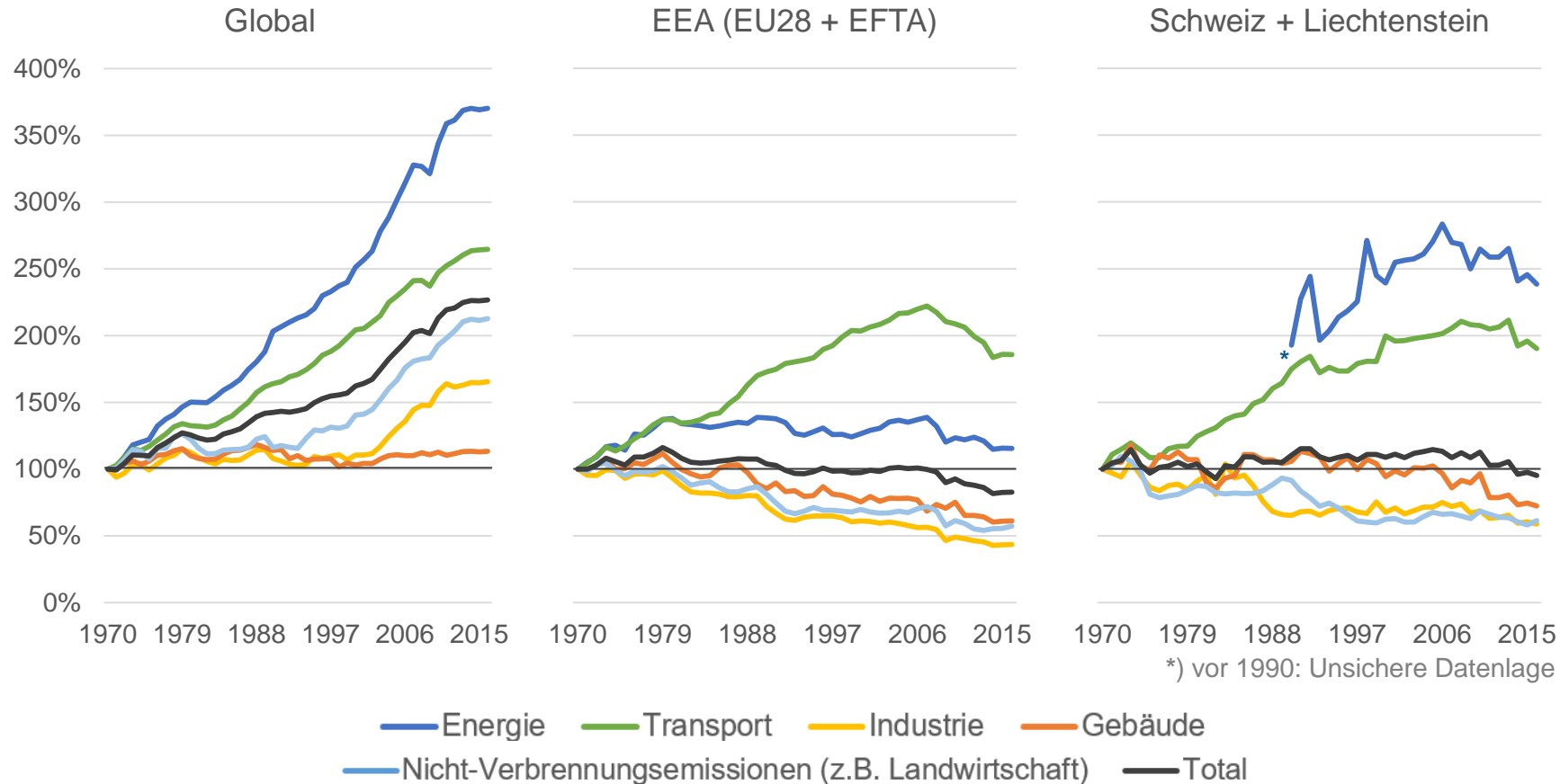
Schweizer Anteil an global steigenden CO₂-Emissionen.



References:

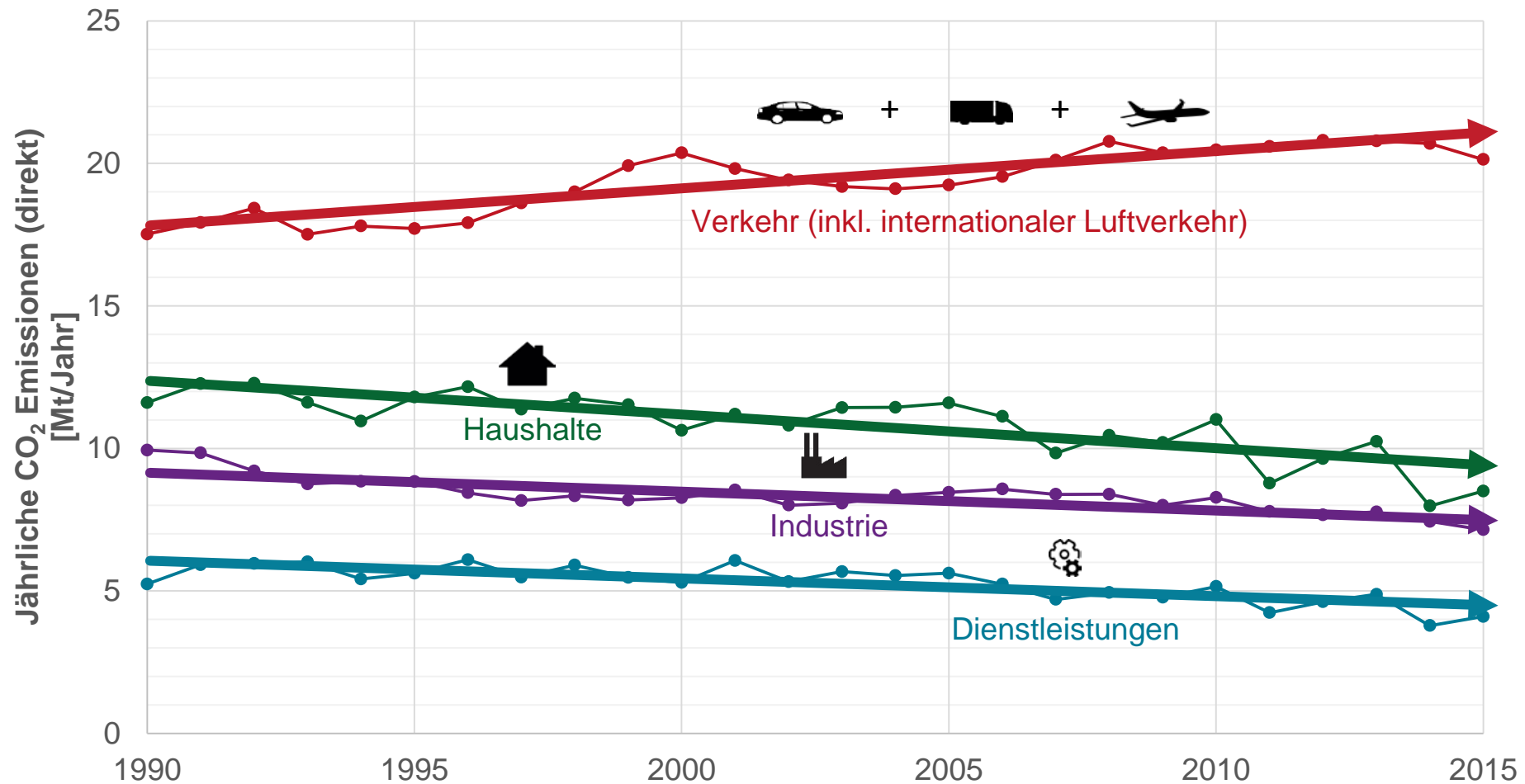
- Janssens-Maenhout et al. (2017): Fossil CO₂ and GHG emissions of all world countries, EUR 28766 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, doi:10.2760/709792 – Daten exklusive LULUCF.
- Global Carbon Project: Le Quéré et al. (2018) in Earth Syst. Sci. Data: Vol. 10, Issue 4, pp. 2141-2194

Entwicklung der sektoralen CO₂-Emissionen je Region seit 1970.



Quelle: Janssens-Maenhout et al. (2017): Fossil CO₂ and GHG emissions of all world countries, EUR 28766 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, doi:10.2760/709792 – Daten exklusive LULUCF.

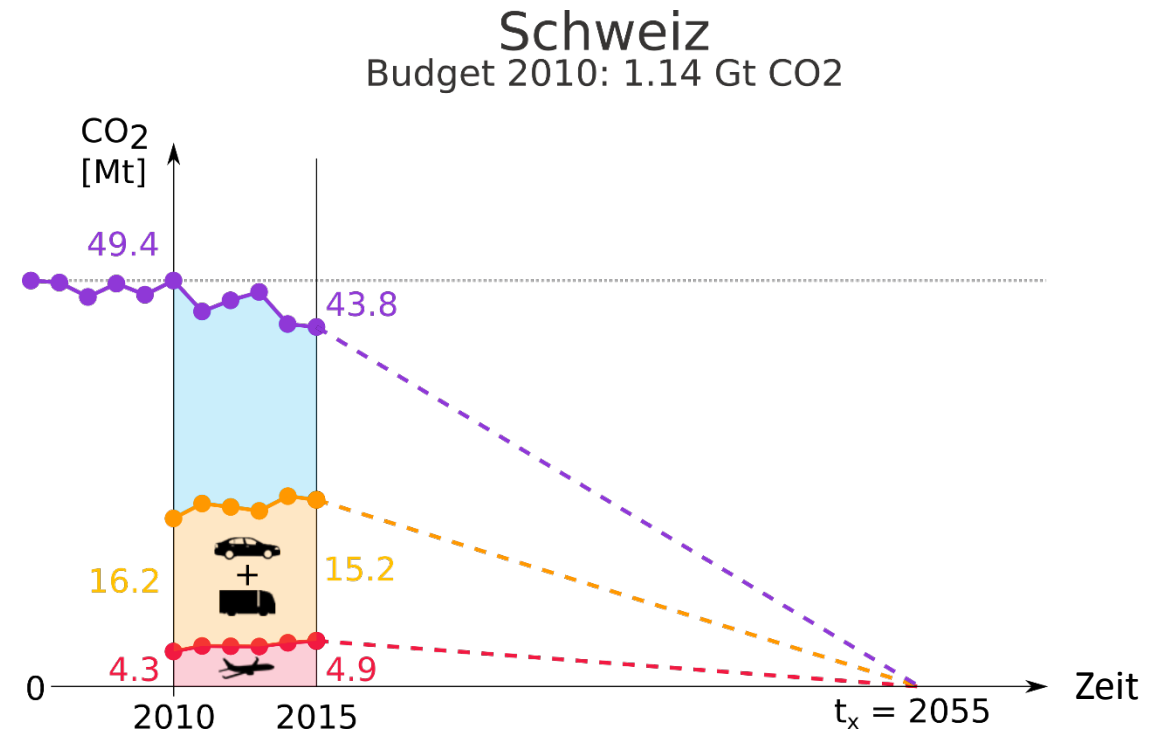
CO₂-Emissionen aus dem Verkehr – Tendenz steigend



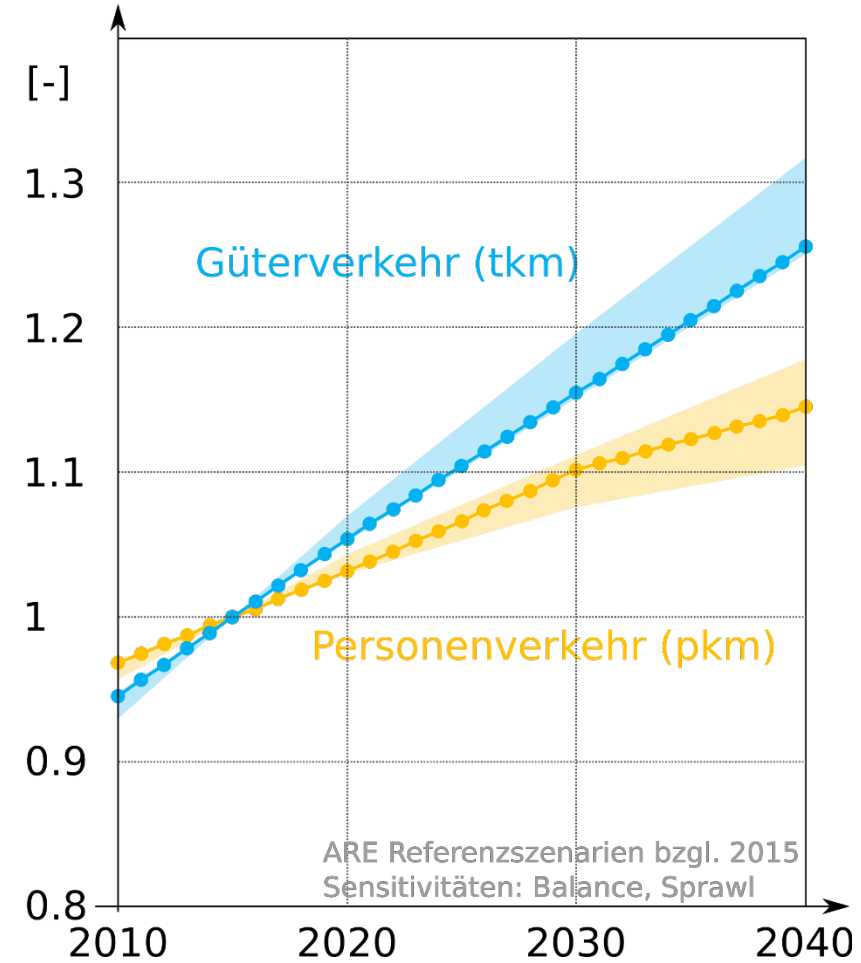
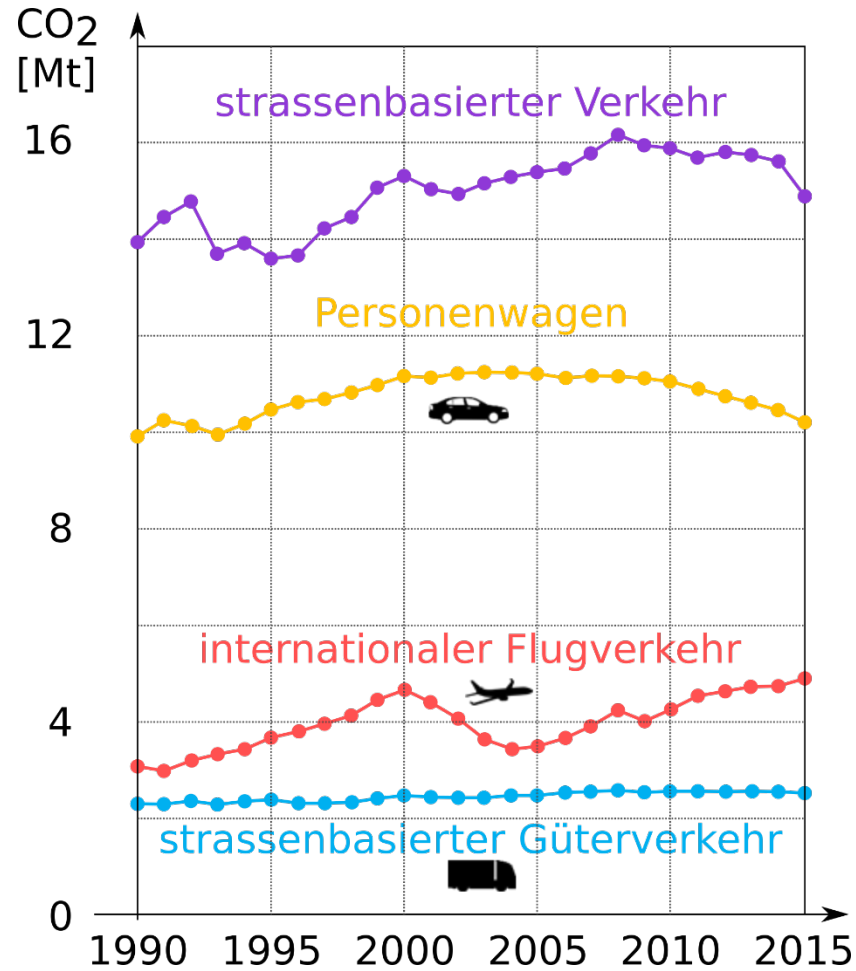
Quelle: BAFU 2017

Zeithorizont der Dekarbonisierung: CO₂-Budget (Schweiz)

- IPCC 2°C (66%) Welt-Kohlenstoffbudget ab 2010: 1000 Gt CO₂
- «Pro Kopf» Verteilung ergibt 1.14 Gt CO₂ für die Schweiz ab 2010
- Mit einer linearen Absenkung ab 2015 und Berücksichtigung des internationalen Transports (Schiff- und Flugverkehr) reicht das Budget bis ungefähr 2055
- Annahme: gleicher Zeithorizont auch für den Transportsektor



CO₂-Trends und zukünftige Verkehrsleistung (Schweiz)



Zukünftige Mobilität weltweit

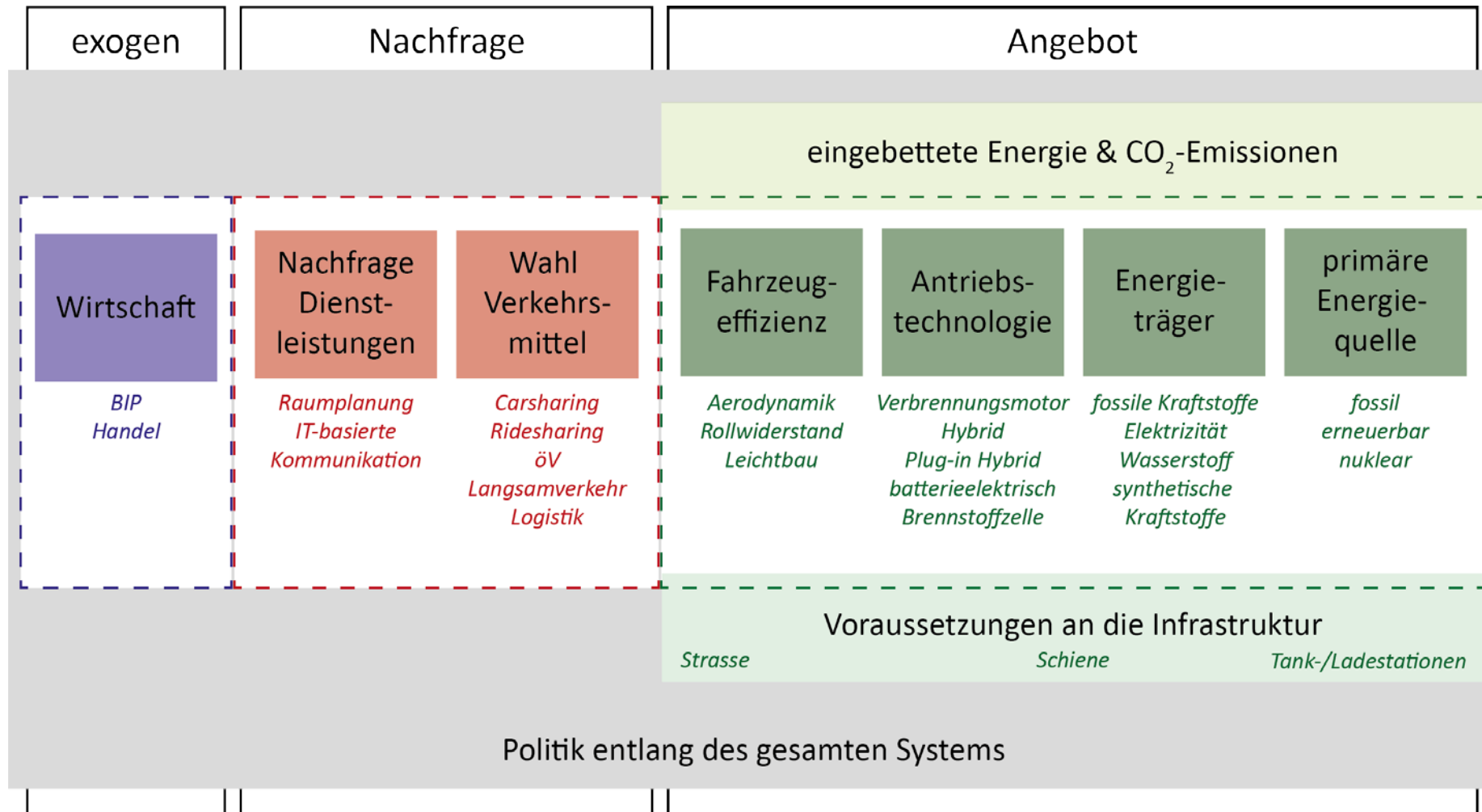
Schlüsselergebnisse International Transport Forum 2015

Zunahme bis 2050 in % im Vergleich zu 2010

	Welt	OECD Länder	Nicht-OECD Länder
Landverkehr (Personen & Güter) CO ₂ -Emissionen	↑ 34 - 106	↓ 0 - 31	↑ 162 - 314
Nachfrage Landgüterverkehr [tkm]	↑ 232 - 423	↑ 77 - 97	↑ 329 - 628
CO ₂ -Emissionen Landgüterverkehr	↑ 136 - 347	↑ 0 - 31	↑ 239 - 608

Quelle: International Transport Forum 2015

Rahmenstruktur für die Analyse und Optimierung des Verkehrssystems

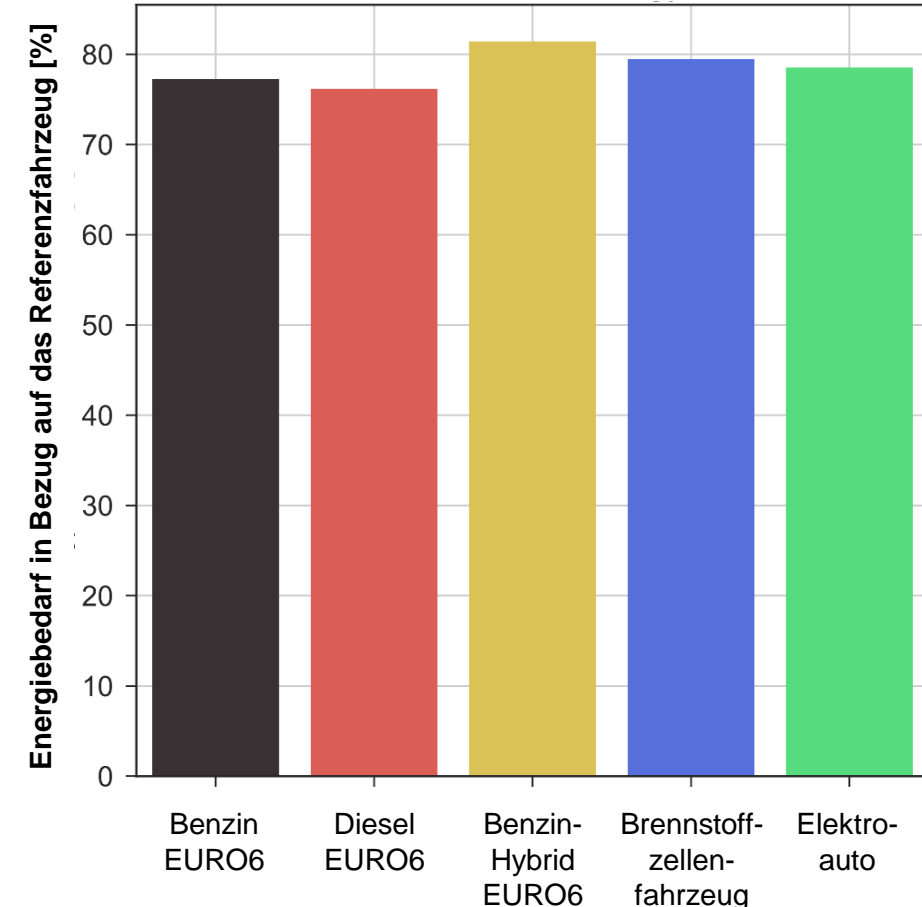


Technologiepotentiale Fahrzeugdesign – Kombination von Strategien

→ Basis: Mittelklasse PKW

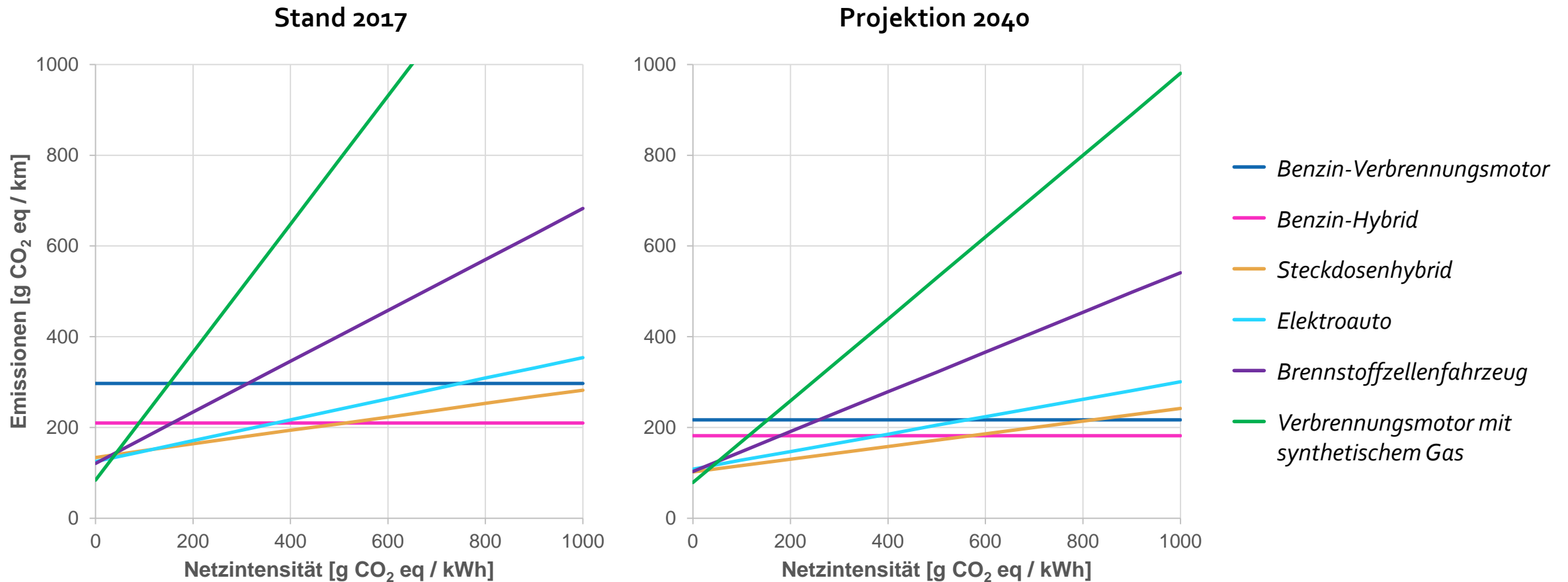
Reduktion des Karosseriegewichts	15%
Verbesserung der Aerodynamik	20%
Reduktion des Rollwiderstands	15%
Reduktion der Motorleistung	20%

→ Berechnungen nach WLTR-Zyklus (LAV-ETHZ) auf Basis von Messungen der Antriebswirkungsgrade an der EMPA



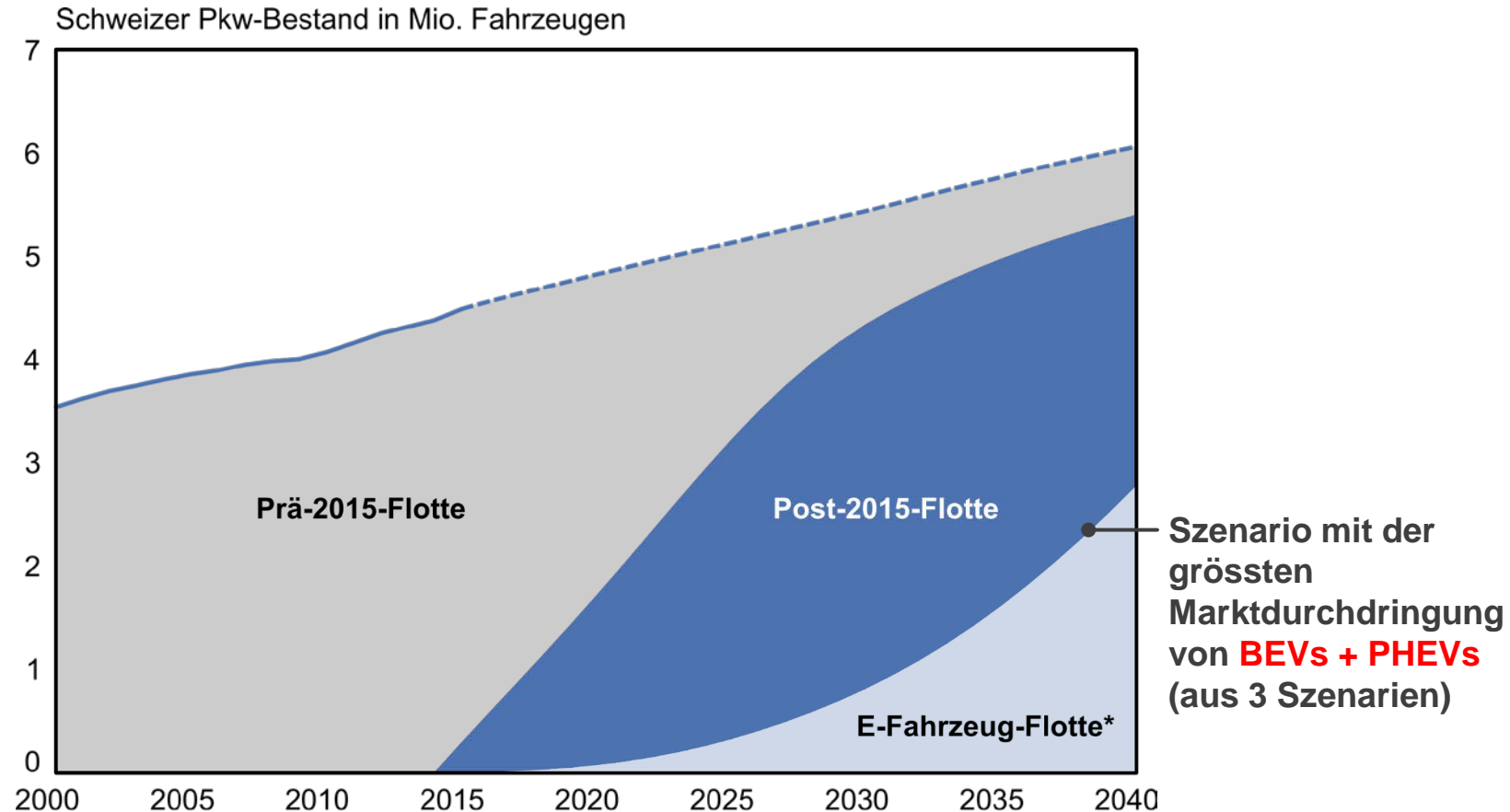
Quelle: Küng 2018, LAV-ETHZ (vorläufige Daten, nicht publiziert)

Lebenszyklusemissionen und Potentiale verschiedener PKW-Technologien



Quelle: B. Cox / PSI/LEA / 2018

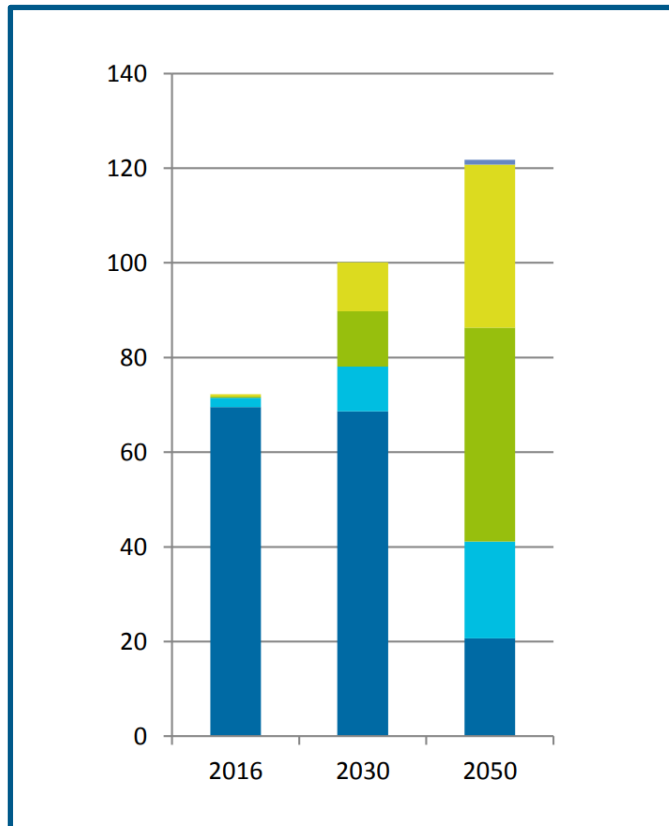
Die Marktdurchdringung von E-Autos alleine ist zu langsam für eine schnelle Dekarbonisierung.



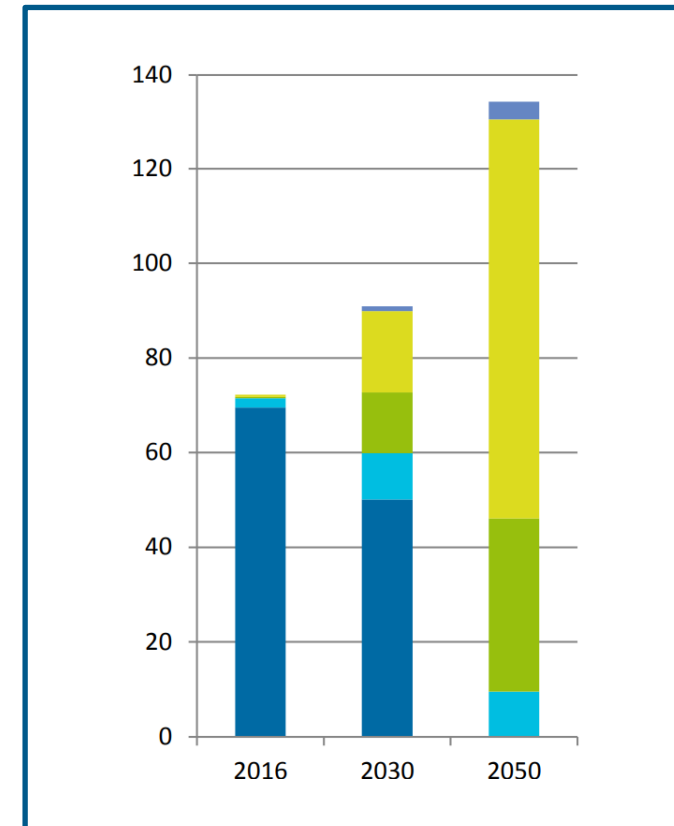
*) EBP (2018): Szenario "Connected Mobility" in "Szenarien der Elektromobilität in der Schweiz – Update 2018"

Pkw-Neuwagenflotte (Verkäufe) in Mio. pro Jahr.

2°C-Szenario der IEA (2DS)



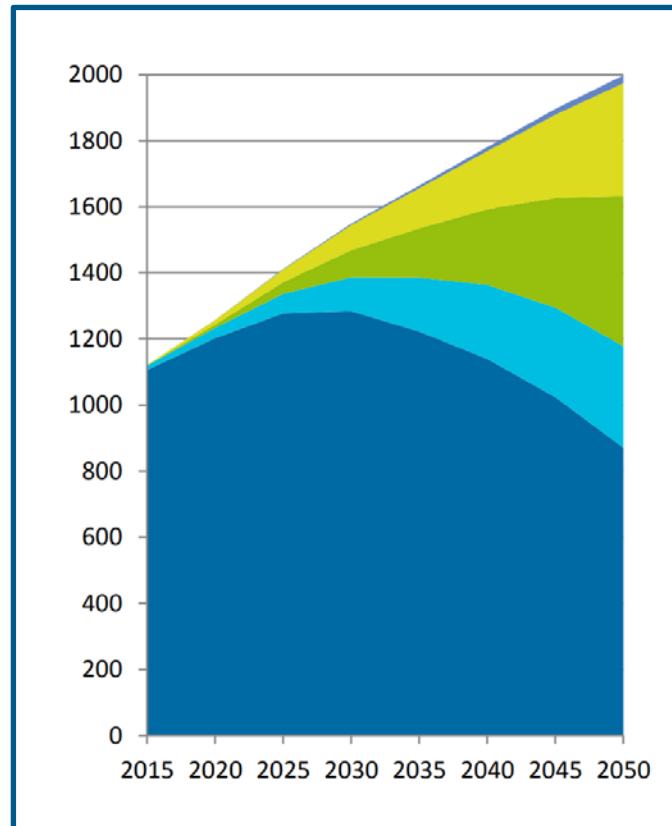
1,75°C-Szenario der IEA (Beyond 2DS)



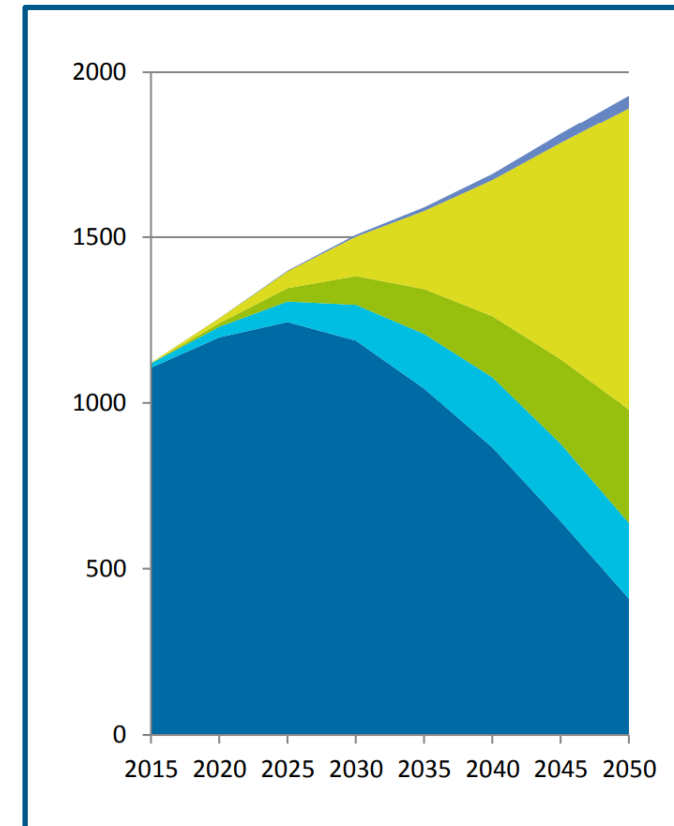
Quelle: Ökoinstitut (2019): "Gigafactories für Lithium-Ionen-Zellen – Rohstoffbedarfe für die globale Elektromobilität bis 2050", Szenarien aus IEA (2017): "Energy Technology Perspectives 2017"

Pkw-Flotte (Bestand) in Mio. pro Jahr.

2°C-Szenario der IEA (2DS)



1,75°C-Szenario der IEA (Beyond 2DS)



Quelle: Ökoinstitut (2019): "Gigafactories für Lithium-Ionen-Zellen – Rohstoffbedarfe für die globale Elektromobilität bis 2050", Szenarien aus IEA (2017): "Energy Technology Perspectives 2017"

CO₂-freie Elektrizität für die Mobilität (Bsp.: Schweiz)

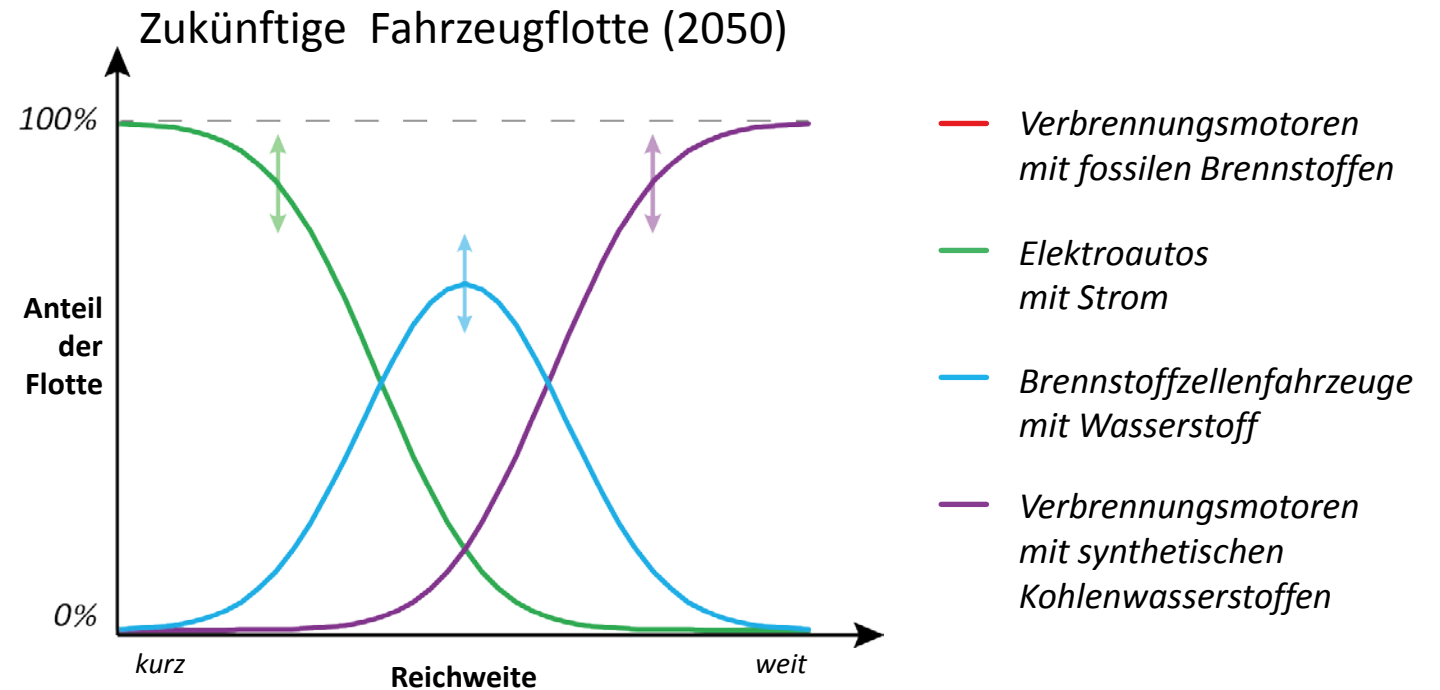
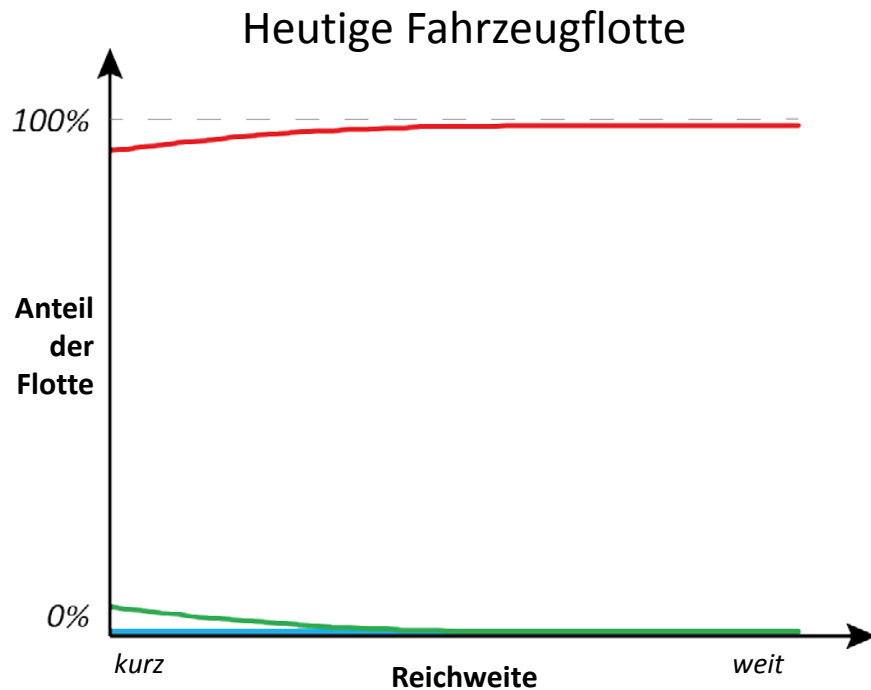
Warum kommt sie nicht einfach aus der Steckdose?

Selbst bei langfristig konstanter Elektrizitätsnachfrage in allen Sektoren ausser der Mobilität (~ **60 TWh**/Jahr):

- Es müssen in 20 Jahren **22 TWh** der auslaufenden Kernkraftwerke ersetzt werden; signifikante Beiträge dazu werden aus Photovoltaik (sommerlastig) und biogener Wärme-Kraft-Kopplung (winterlastig) kommen müssen
- Die vollständige Elektrifizierung allein der PKW-Flotte bei der heutigen Verkehrsleistung bedingt zusätzliche **14 TWh** CO₂-«armer» Elektrizität und des gesamten Strassenverkehrs etwa **20 TWh**
- Zusätzlich müssen wir innerhalb der nächsten etwa 40 Jahre sowohl den Gebäudebereich als auch die Industriewärme weitgehend «entfossilisieren» → CO₂-arme Elektrizität in der Grössenordnung von mindestens **20 TWh** wären dazu erforderlich
- Dies zeigt, dass eine drastische Effizienzerhöhung in allen Energiesektoren unabdingbar ist und die Prioritäten bei der Elektrifizierung sehr sorgfältig gesetzt werden müssen (auch im Hinblick auf die zukünftige Gestaltung des ETS europaweit).

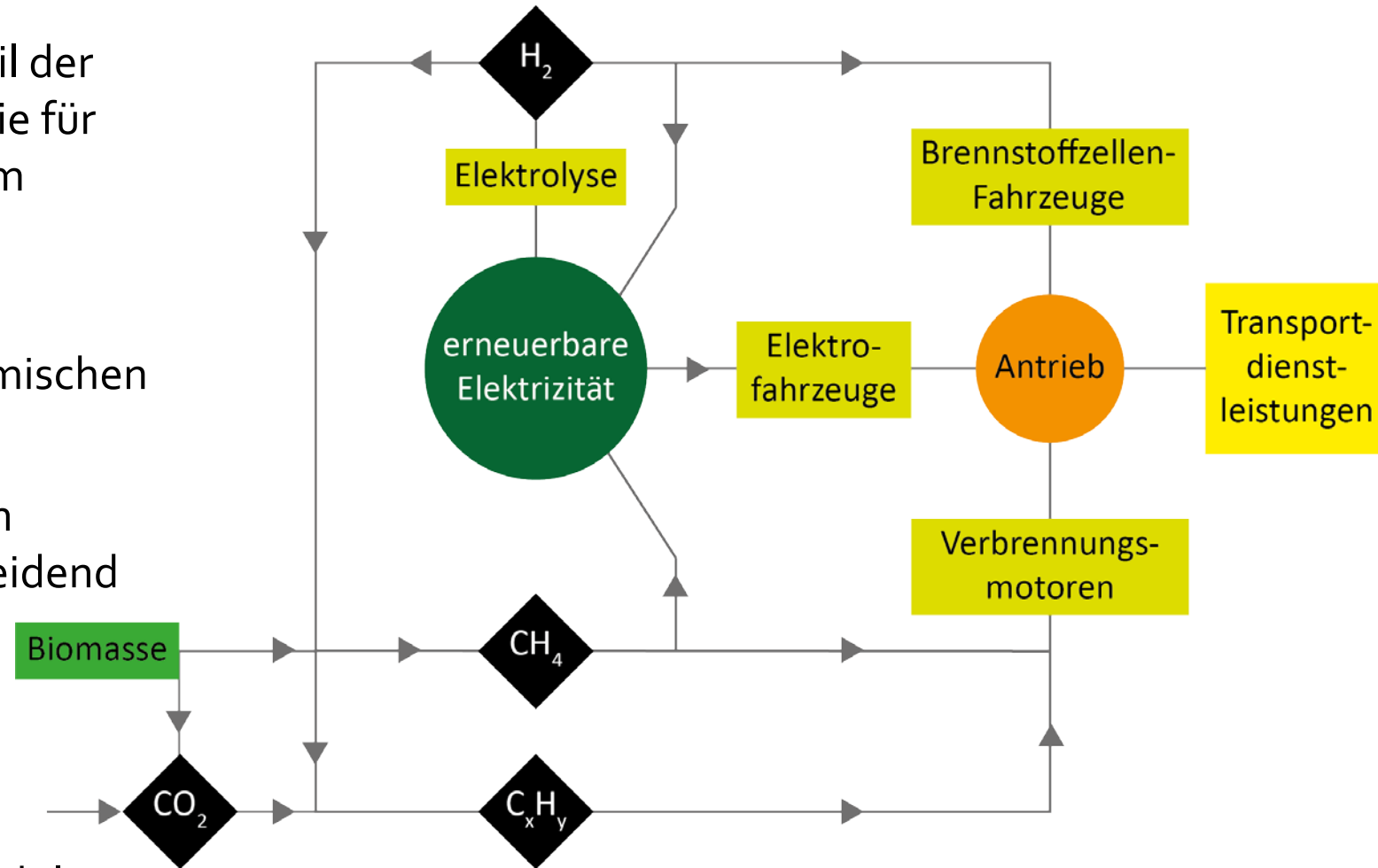
Langfristige Entwicklung – Antriebstechnologien und Energieträger

Marktanteile verschiedener Energieträger und Antriebstechnologien zur Dekarbonisierung der Mobilität → **Qualitative Darstellung**



Sektorkopplung – Was ist damit gemeint?

- Elektrizität wird einen grossen Anteil der Energieträger für die Antriebsenergie für Transportdienstleistungen (oder zum Heizen/Kühlen) einnehmen
- Dies entweder direkt oder durch Umwandlung zu synthetischen chemischen Energieträgern
- Nebst Primärenergieaufwandkosten Upstream und Downstream entscheidend
- CO₂-»Capture and Recycling« sowie Bedarf nach grossskaliger saisonaler Elektrizitätsspeicherung → synergetisch mit erneuerbaren Kraftstoffen für die Langstreckenmobilität



Ist die gegenwärtige CO₂-Gesetzgebung zielführend?

- Es ist zwar sinnvoll, durch CO₂-Vorschriften (g/km) Anreize für eine beschleunigte Technologieentwicklung zu setzen
- Die Zuordnung von NULL-CO₂-Emissionen für elektrifizierte Antriebe ist mit Bezug auf den absehbaren CO₂-Fussabdruck des erforderlichen Zusatzstroms aber massiv marktverzerrend (europaweit wirkt das ETS-System theoretisch, aber mit unerwünschten Nebenwirkungen)
- Sinnvoll wäre zusätzlich ein auf den tatsächlich umgesetzten Energieträger umlegbarer CO₂-Preis, der die Klimaauswirkungen widerspiegelt/internalisiert

Aber

- In Zukunft muss die Infrastruktur für die Strasse und Schiene auch von Elektrofahrzeugen bezahlt werden (heute etwa 5 Mia. CHF/Jahr!)

Zusammenfassung & Ausblick

- Die Mobilität muss weltweit und in der Schweiz in weniger als 50 Jahren grundsätzlich CO₂-«neutral/frei» sein → dabei ist das CO₂-«Budget» über die nächsten 30-40 Jahre entscheidend
- Ohne eine gezielte Eindämmung der Nachfrage nach Verkehrsleistung wird das zulässige CO₂-Budget nicht eingehalten werden können. Dabei ist den Bedürfnissen von Wirtschaft und Gesellschaft Rechnung zu tragen

Aber

- Die Angebotsseite (evolutionäre und radikale Technologiepfade) wird die grösste Last für die Dekarbonisierung schultern müssen – zeitliche Evolution des Bestandes ist relevant
- Unterschiedliche Energieträger/Antriebstechnologien geeignet für die einzelnen Energiesektoren
- Sektorkopplung (direkte bzw. indirekte Elektrifizierung des Verkehrs) bedingt den Aufbau neuer Infrastrukturen über Jahrzehnte. Entsprechende Investitionen müssen sorgfältig geplant und realisiert werden, damit die Kosten nicht aus dem Ruder laufen
- Dabei ist die korrekte Preisberechnung des CO₂ über alle Energiesektoren unabdingbar

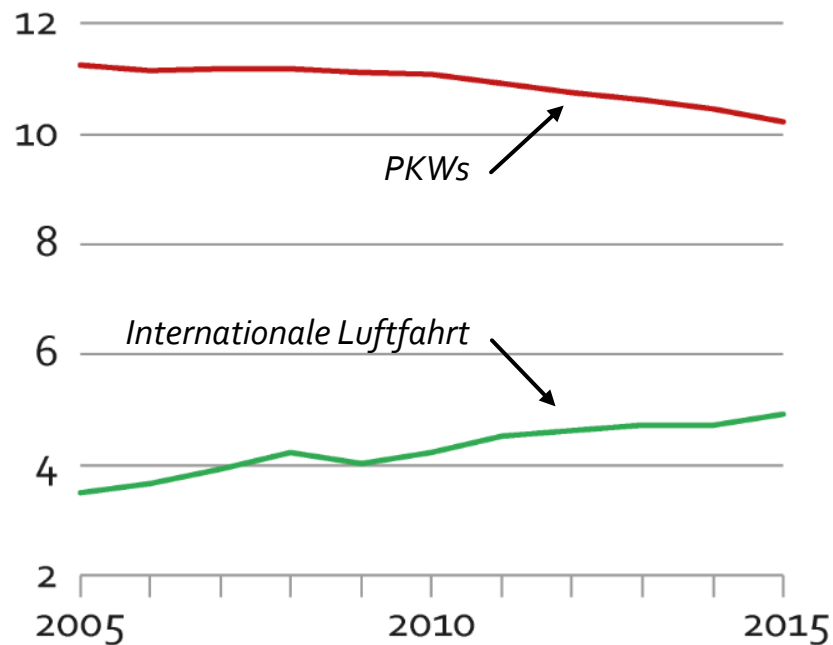
Ich bedanke mich für die Unterstützung von:

- SCCER Mobility, Innosuisse, Bundesamt für Energie und die Akademien der Wissenschaften Schweiz (inkl. Ko-Finanzierung durch das European Academies Science Advisory Council)
- Gil Georges, Lukas Küng, Maximilian Held und Giacomo Pareschi (LAV-ETHZ), Kollegen des LEA/PSI sowie Kirsten Oswald (SCCER Mobility)

CO₂-Emissionen aus der internationalen Luftfahrt

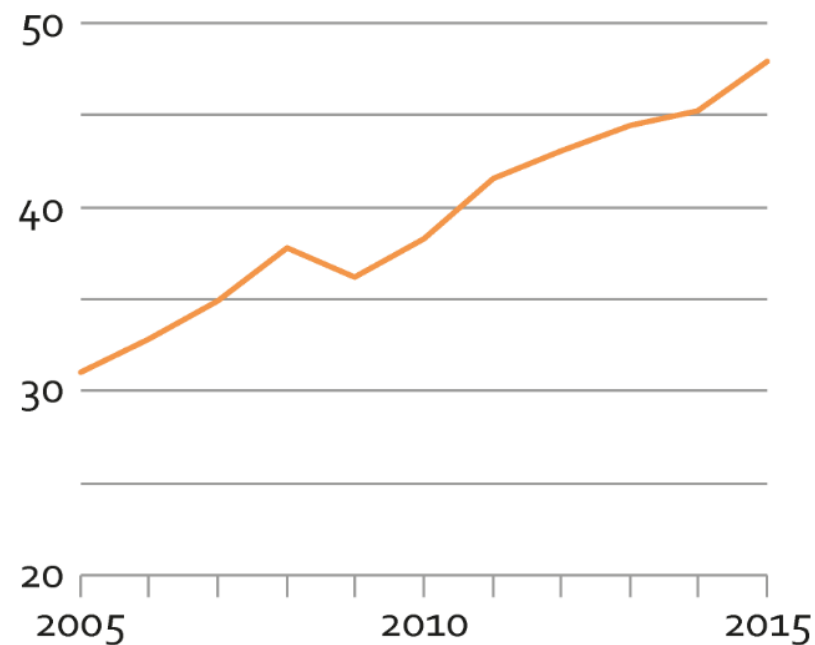
Von der Schweiz ausgehend

CO₂-Emissionen (Mt CO₂/Jahr)



Quelle: BAFU 2017

Verhältnis: Internationale Luftfahrt zu PKWs



- Auch die internationale Schifffahrt wächst sehr schnell (interkontinentaler Güterverkehr)
- Sowohl für Containerschiffe als auch (und insbesondere) für Flugzeuge sind in absehbarer Zeit keine Alternativen zu flüssigen Treibstoffen (inkl. LNG) in Sicht