Einführung: Das Projekt „ Verkehrsentwicklung und Umwelt“ (VEU) im Rahmen der Verkehrssystemforschung am DLR

Berlin, 5. Juli 2018

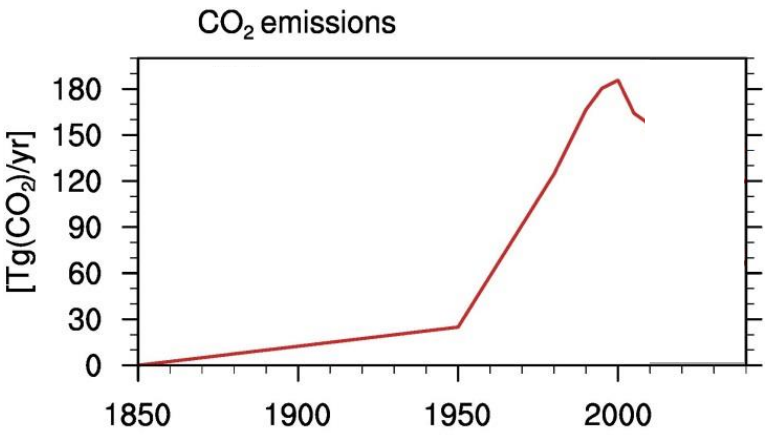
DLR

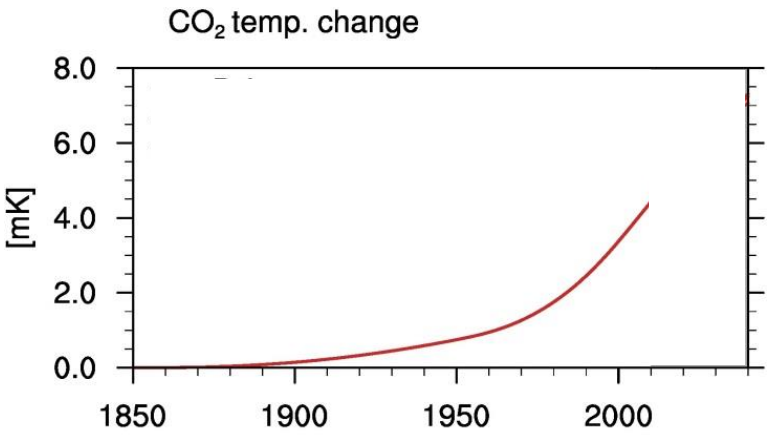
Helmholtz-Zentrum Geesthacht

Welche Rolle spielt der bodengebundene Verkehr in Deutschland für das Weltklima?

Der bodengebundene Verkehr in Deutschland trägt mit knapp 5 mK fast 1% zur globalen Erwärmung bei.

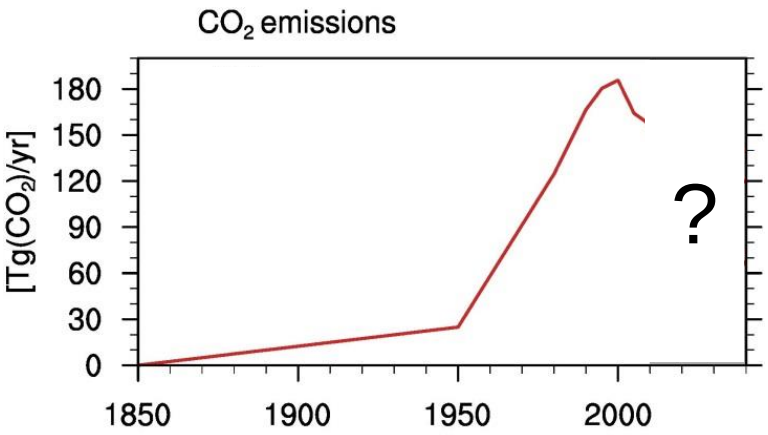
CO_2-Emissionen des deutschen Verkehrs und damit verbundene **globale Temperaturänderung:**

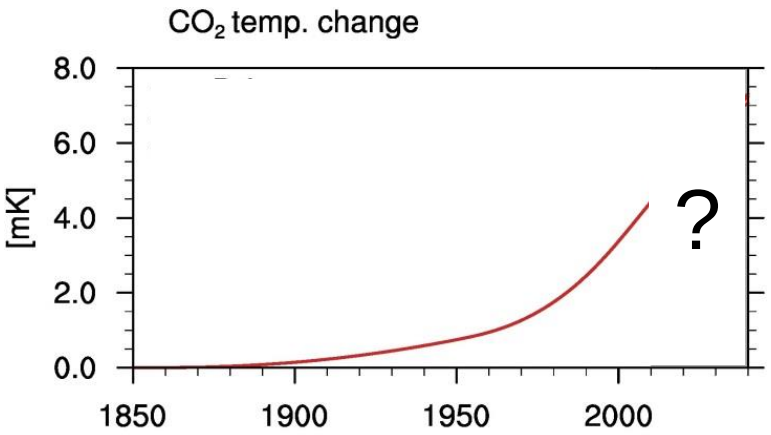




Kernfragestellung von VEU: *Welche Verkehrsentwicklungen sind möglich? Welche Folgen haben sie für Umwelt und Klima?*

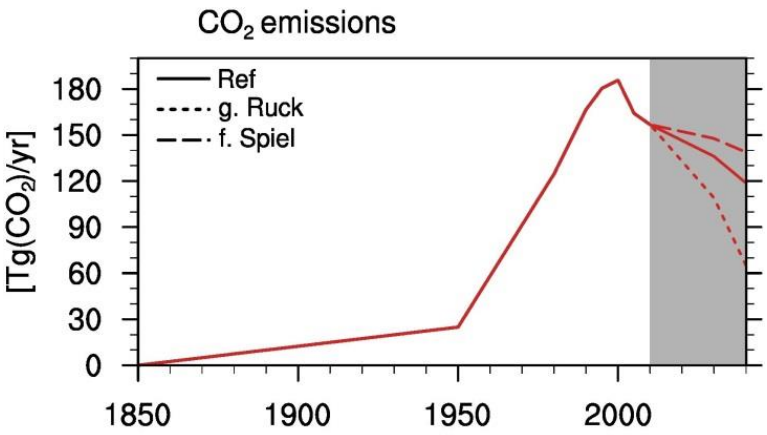
CO_2-Emissionen des deutschen Verkehrs und damit verbundene **globale Temperaturänderung:**

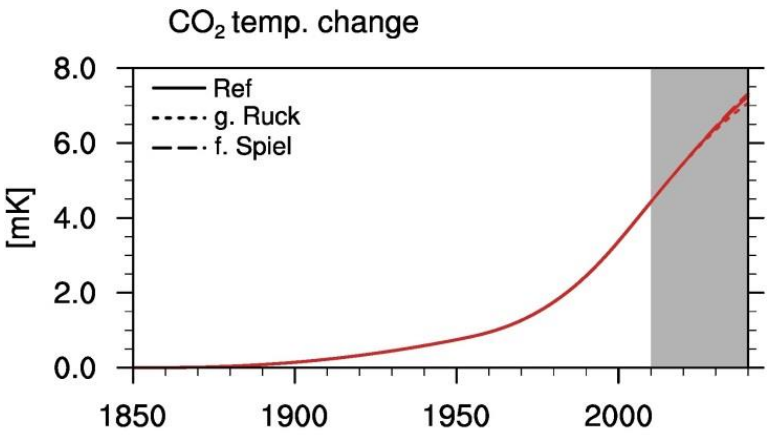




VEU-Ergebnisse zeigen, wie die Klimaziele 2030 des deutschen Verkehrs erreicht werden können – aber erst 2040.

CO_2-Emissionen des deutschen Verkehrs und damit verbundene **globale Temperaturänderung:**





VEU Ansatz: von qualitativen Szenarien zu quantitativen Prognosen.

Konsistente Rahmenbedingungen → **Anwendung DLR Modellverbund** → **Quantifizierung der Szenarien 2040**

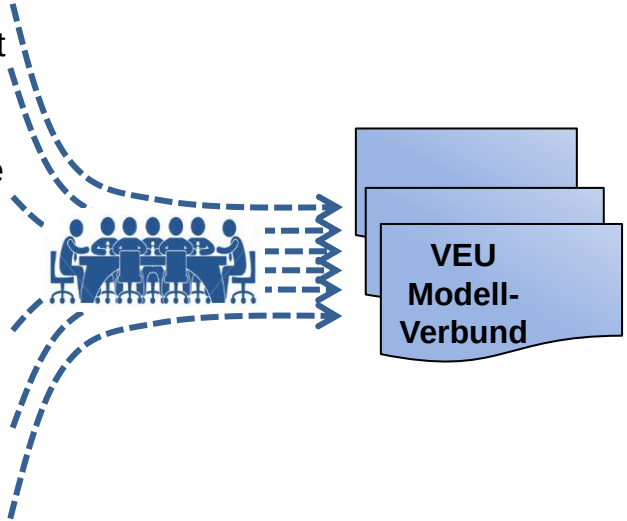
Gesellschaft

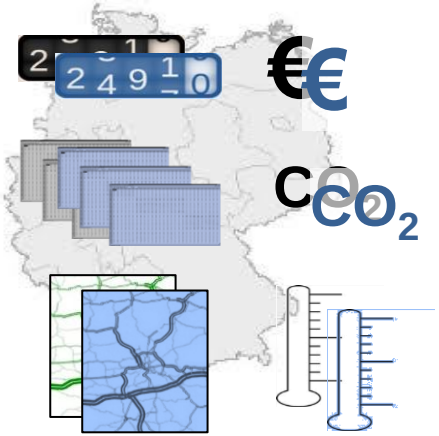
Technologie

Wirtschaft & Energie

Umwelt

Politik





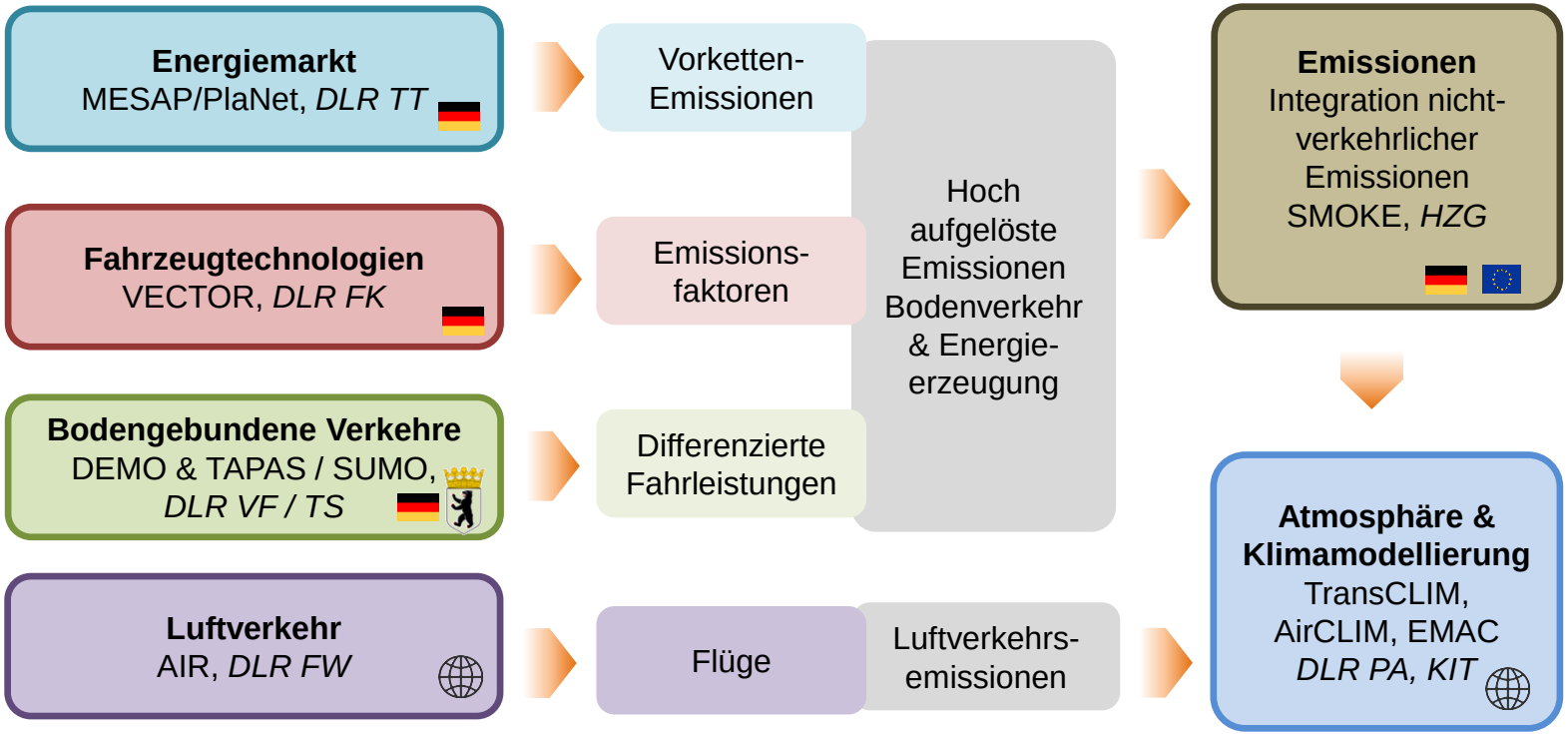
Drei Szenarien der Verkehrsentwicklung bis 2040. Trendszenario „Referenz“.

Leichter Bevölkerungsrückgang in allen Szenarien

Moderates Wirtschaftswachstum in allen Szenarien

Referenz	Geregelter Ruck	Freies Spiel
International uneindeutige Umgebung	*International kooperative Umgebung*	*International kompetitive Umgebung*
BVWP Anlehnung; moderate Lenkung und Anreizsysteme	*Regulierung und Lenkung durch Anreizsysteme und Setzungen*	*Deregulierung und Wettbewerb der Verkehrs- & Energieträger*
Allmähliche Energiewende	*Intensivierung der Energiewende*	*Stockende Energiewende*

Ganzheitliche Analyse im multi-disziplinären Modellverbund des DLR.

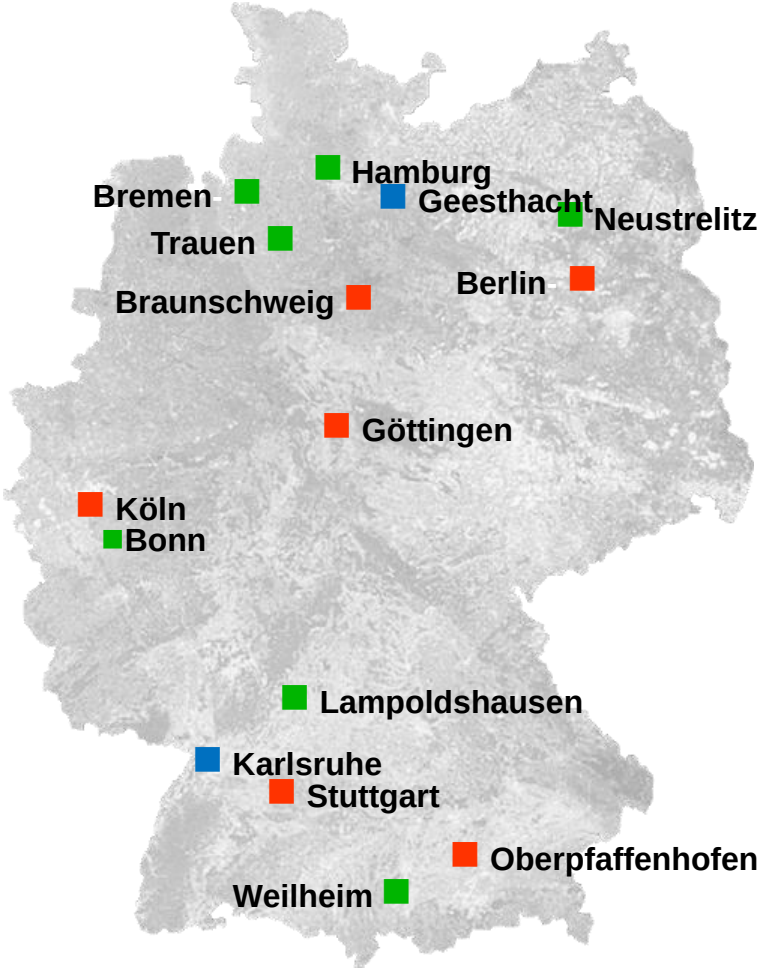


Zwölf beteiligte Institute,
ca. 80 mitarbeitende Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler.

Der VEU Forschungsverbund

Beteiligte DLR-Institute

- Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik
- Institut für Antriebstechnik
- Institut für Fahrzeugkonzepte
- Institut für Flughafenwesen und Luftverkehr
- Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin
- Institut für Physik der Atmosphäre
- Institut für Technische Thermodynamik
- Institut für Verkehrsforschung
- Institut für Verkehrssystemtechnik
- Simulations- und Softwaretechnik



Assoziierter Partner

Karlsruhe Institute für Technology (KIT), Institut für Meteorologie und Klimaforschung

Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Zentrum für Material- und Küstenforschung

An VEU beteiligte Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter

Daniel Aeschbach, DLR-ME
Michael Behrisch, DLR-TS
Ralf Berghof, DLR-FW
Peter Berster, DLR-FW
Johannes Bieser, HZG
Christian Blank, DLR-TS
Katrin Dahlmann, DLR-PA
Aline Delatte, DLR-VF
Hanjo Ehmer, DLR-FW
Simone Ehrenberger, DLR-FK
Klaus Ehrenfried, DLR-AS
Verena Ehrler, DLR-VF
Eva-Maria Elmenhorst, DLR-ME
Jakob Erdmann, DLR-TS
Veronika Eyring, DLR-PA
Falko Nordenholz, DLR-VF
Ina Frenzel, DLR-VF
Kay Gade, DLR-VF
Laura Gebhardt, DLR-VF
Marc Gelhausen, DLR-FW
Flemming Giesel, DLR-VF
Mirko Goletz, DLR-VF
Volker Grewe, DLR-PA
Johannes Gruber, DLR-VF
Dietrich Heimann, DLR-PA
Marek Heinrich, DLR-TS
Dirk Heinrichs, DLR-VF
Matthias Heinrichs, DLR-VF
Johannes Hendricks, DLR-PA
Arne Henning, DLR-AS
Michael Hepting, DLR-FW
Stefan Huber, DLR-VF
Patrick Jöckel, DLR-PA
Martin Jung, DLR-FW
Hermann Keimel, DLR-FW
Benjamin Kickhöfer, DLR-VF
Jens Klauenberg, DLR-VF
Florian Kleiner, DLR-FK
Matthias Klötzke, DLR-FK
Gunnar Knitschky, DLR-VF
Katja Köhler, DLR-VF
Petra Kokus, DLR-FW
Thomas Kowalski, DLR-AS
Ulrike Kugler, DLR-FK
Tobias Kuhnimhof, DLR-VF
Martin Kurowski, DLR-VF
Alexandra Leipold, DLR-FW
Barbara Lenz, DLR-VF
Gernot Liedtke, DLR-VF
Andreas Lischke, DLR-VF
Sigfried Loose, DLR-AS
Daniela Luft, DLR-VF
Sven Maertens, DLR-FW
Volker Matthias, HZG
Franco Mendolia, DLR-ME
Tudor Mocanu, DLR-VF
Stephan Müller, DLR-VF
Uwe Müller, DLR-ME
Thorsten Neumann, DLR-TS
Claudia Nobis, DLR-VF
Rebekka Oostendorp, DLR-VF
Henry Pak, DLR-FW
Martin Plohr, DLR-AT
Michael Ponater, DLR-PA
Thomas Pregger, DLR-TT
Markus Quante, HZG
Mattia Righi, DLR-PA
Sandra Sanok, DLR-ME
Anke Sauerländer-Biebel, DLR-TS
Robert Sausen, DLR-PA
Arthur Schady, DLR-PA
Hans Schlager, DLR-PA
Stephan Schmid, DLR-FK
Angelika Schulz, DLR-VF
Tilo Schumann, DLR-TS
Oliver Seebach, DLR-SC
Doreen Seider, DLR-SC
Stefan Seum, DLR-VF
Sonja Simon, DLR-TT
Bernhard Vogel, KIT
Heike Vogel, KIT
Sarah Weidenfeld, DLR-ME
Christian Winkler, DLR-VF
Axel Wolfermann, DLR-VF

Verkehrsentwicklung und Umwelt (VEU)

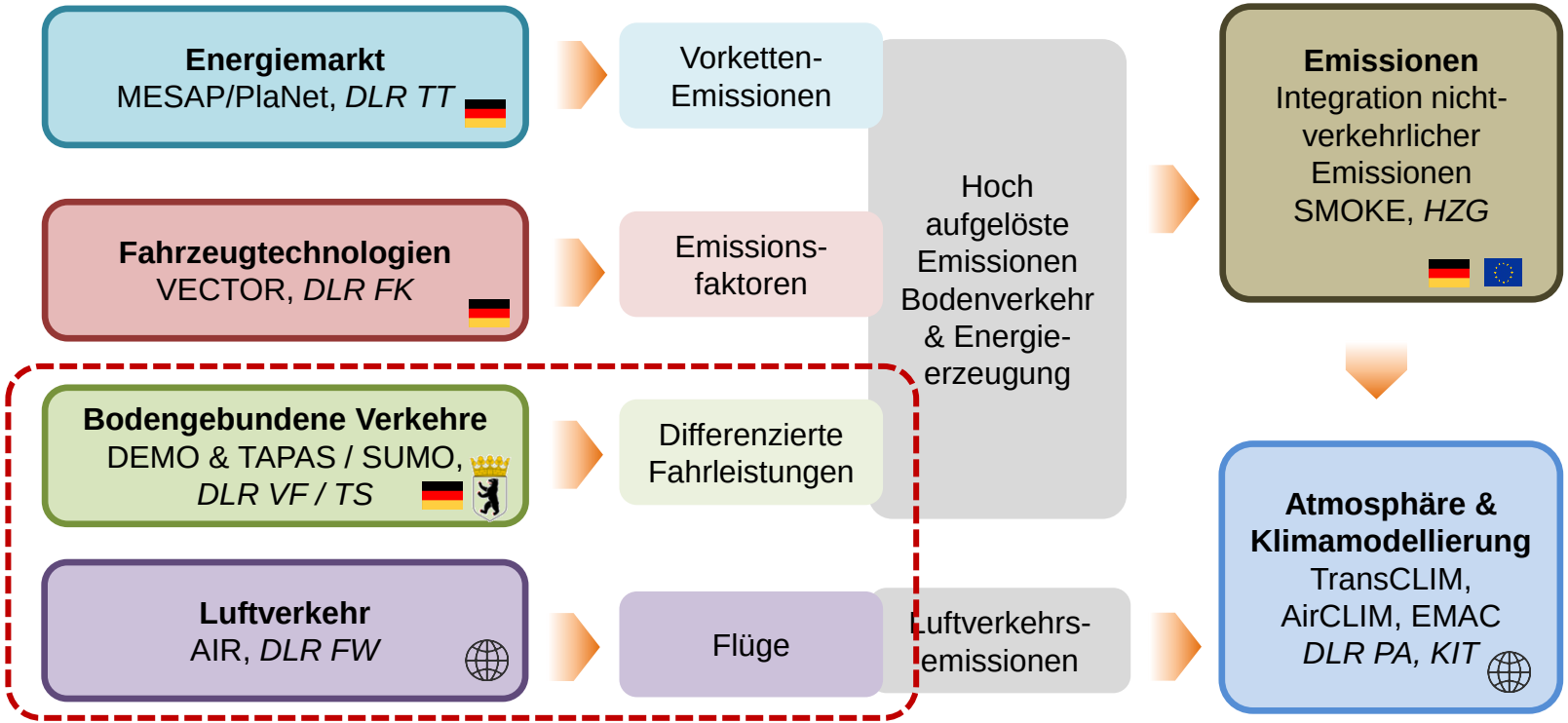
Entwicklung der Verkehrsnachfrage in den VEU Szenarien

Vortrag: Prof. Dirk Heinrichs, Dr. Tobias Kuhnimhof

DLR

Helmholtz-Zentrum Geesthacht

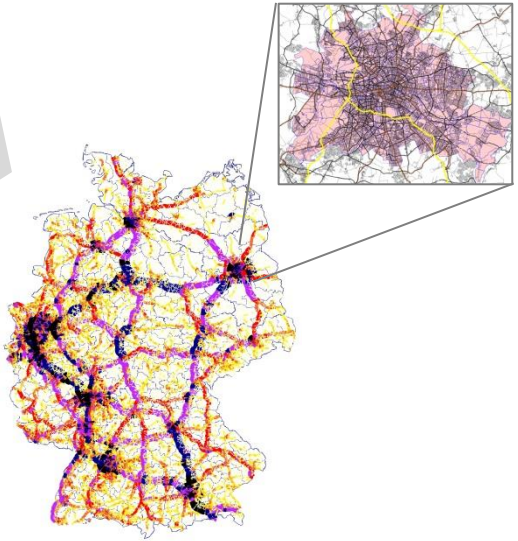
Modelle zur Abbildung der Verkehrsnachfrage im VEU-Modellverbund.



Verkehrsnachfragemodellierung für unterschiedliche räumliche Kontexte.

Deutschlandmodell DEMO:

- Mehrstufiges, makroskopisches, multimodales Verkehrsmodell
- Getrennte Modellierung von
  - Personennahverkehr
  - Personenfernverkehr
  - Personenwirtschaftsverkehr
  - Güterverkehr
- 7000 Verkehrszellen
- ca. 1 Mio. Strecken



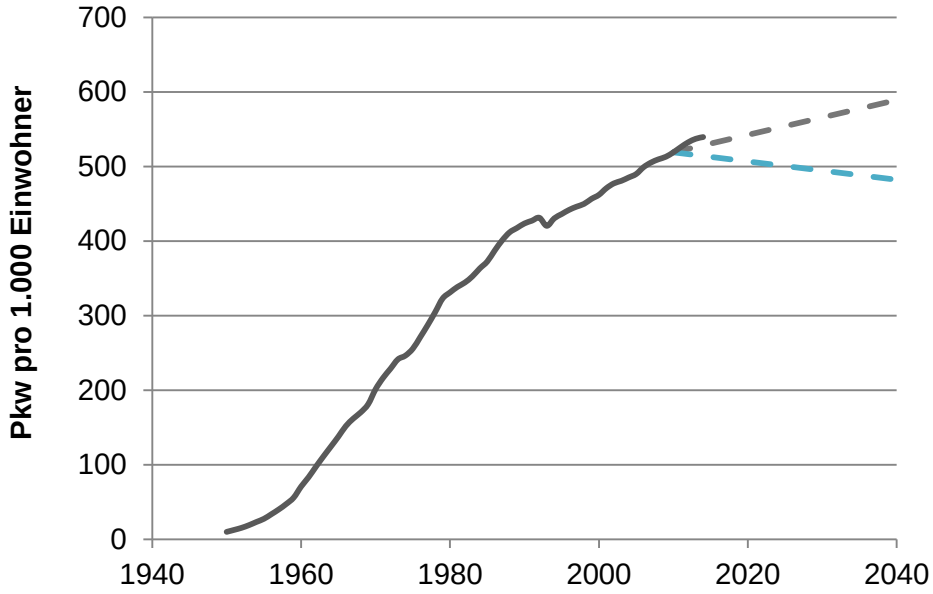
Berlinmodell Tapas:

- Aktivitätenbasiertes multimodales Verkehrsmodell
- Adressfeine Nachfrage (11 Mio. tägliche Wege)
- Umlegung auf ein sehr feines Netz
- 1193 Verkehrszellen
- Einbettung in DEMO

Ausgestaltung der Szenarien durch Rahmenbedingungen und Maßnahmen.

	Referenz	Geregelter Ruck
Bevölkerung	- 4,4%	- 4,4%
Wirtschaft	+ 1,14% BIP pro Jahr	+ 1,14% BIP pro Jahr
Strom	ca. 50% erneuerbar	ca. 80% erneuerbar
ÖV	Fokus auf die Stadt	überall günstiger & schneller
Privat-Pkw	Trendfortsetzung	deutlicher Rückgang
Kosten Pkw	wie heute	Kraftstoffsteuer x2; Parken teurer
Pkw-Flotten-CO_2	65 g/km	45 g/km

Überführung qualitativer Szenarien in quantitative Modellinputs. Beispiel Pkw-Besitz:



"Referenz"

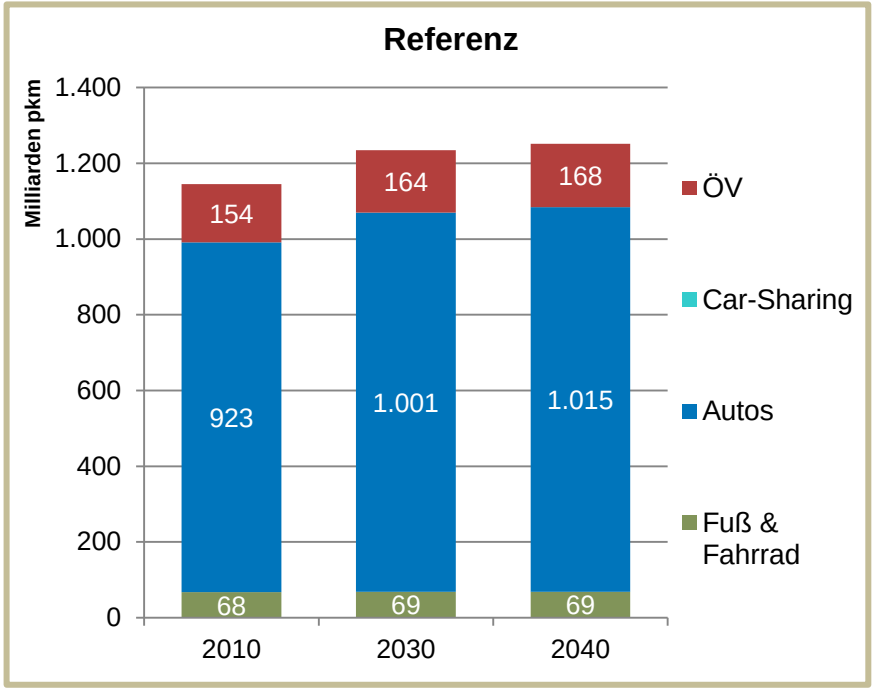
"Geregelter Ruck"

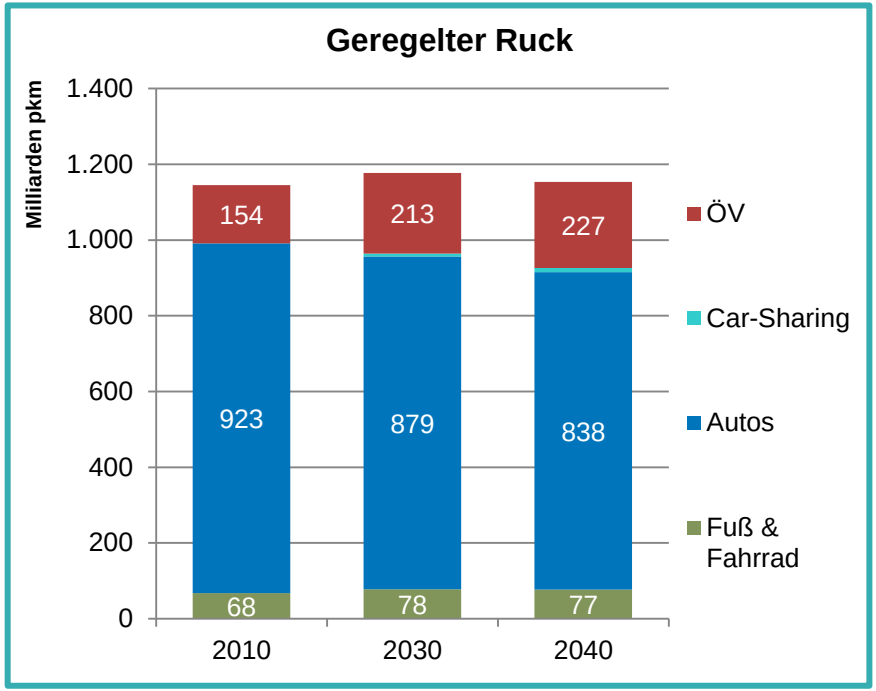
Zulassungstatistik

- Kohorteneffekte
- Weiterer Zweitwagenzuwachs

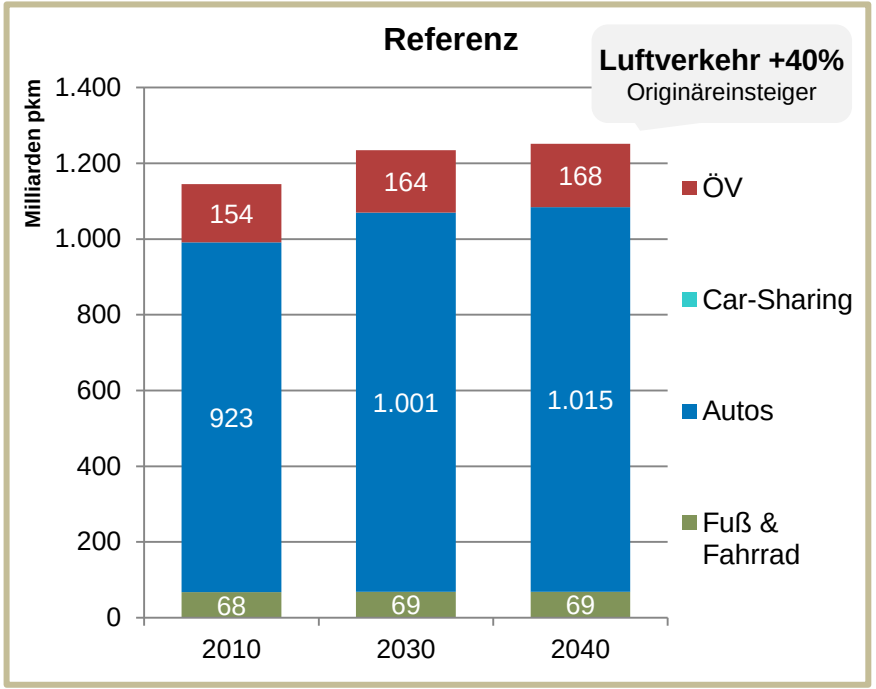
- Führerscheinrück-gänge für Junge und Städter
- Weniger Zweitwagen

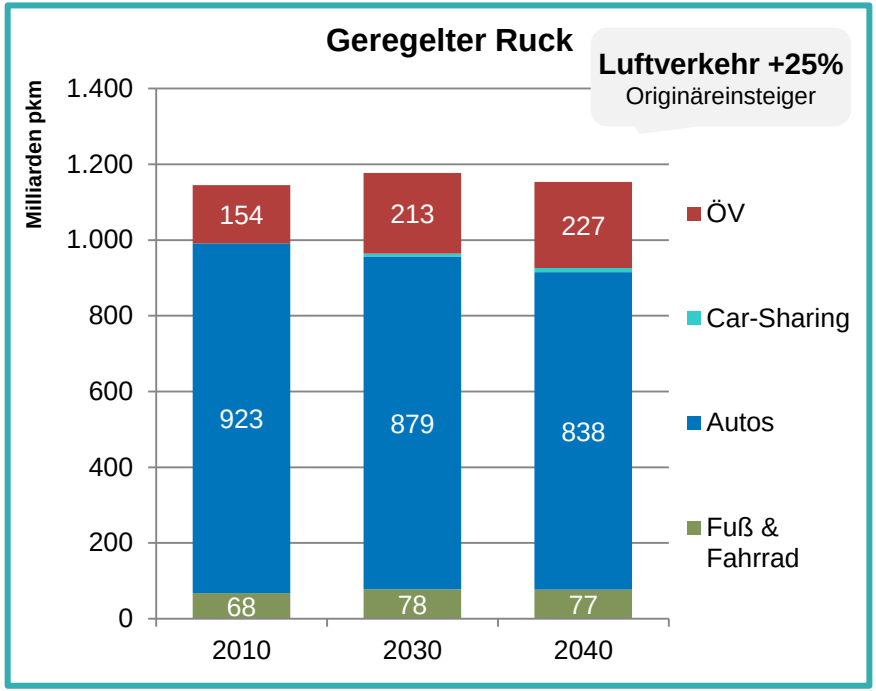
Personenverkehrsleistung nach Verkehrsmittel. Im Geregelten Ruck kein weiteres Wachstum und Verlagerung auf den Umweltverbund.



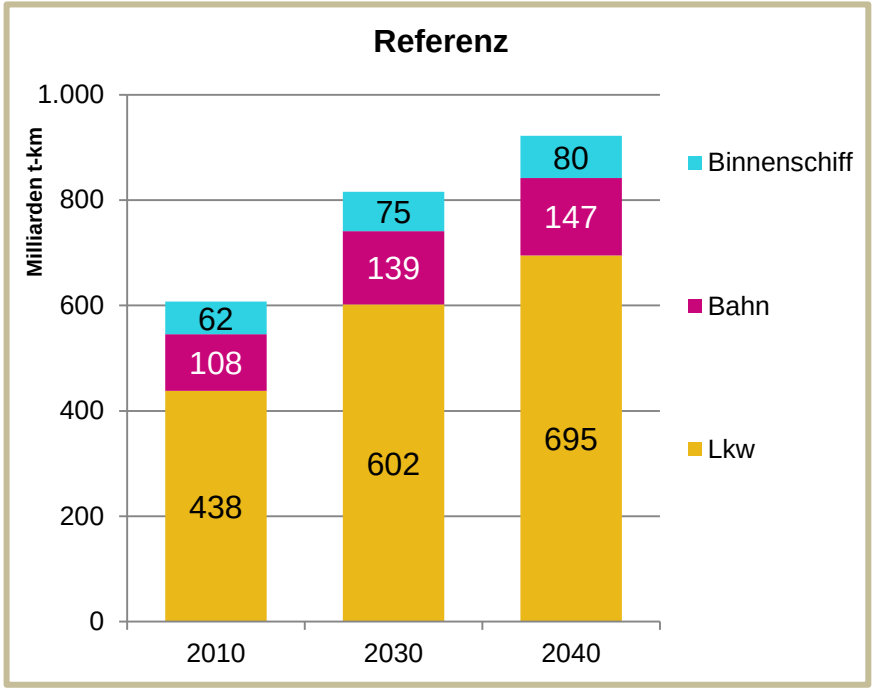


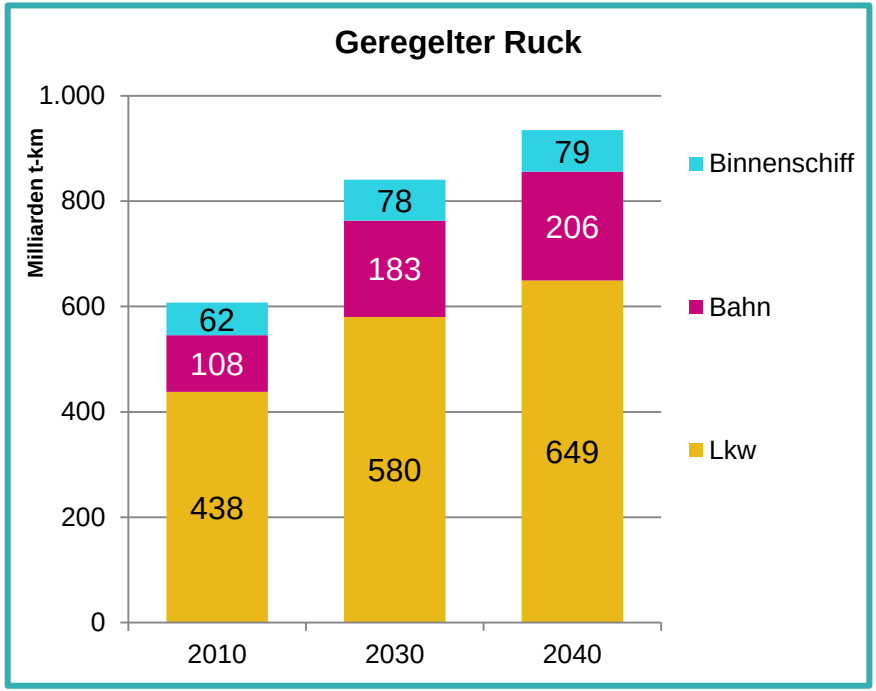
Personenverkehrsleistung nach Verkehrsmittel. Im Geregelten Ruck kein weiteres Wachstum und Verlagerung auf den Umweltverbund.



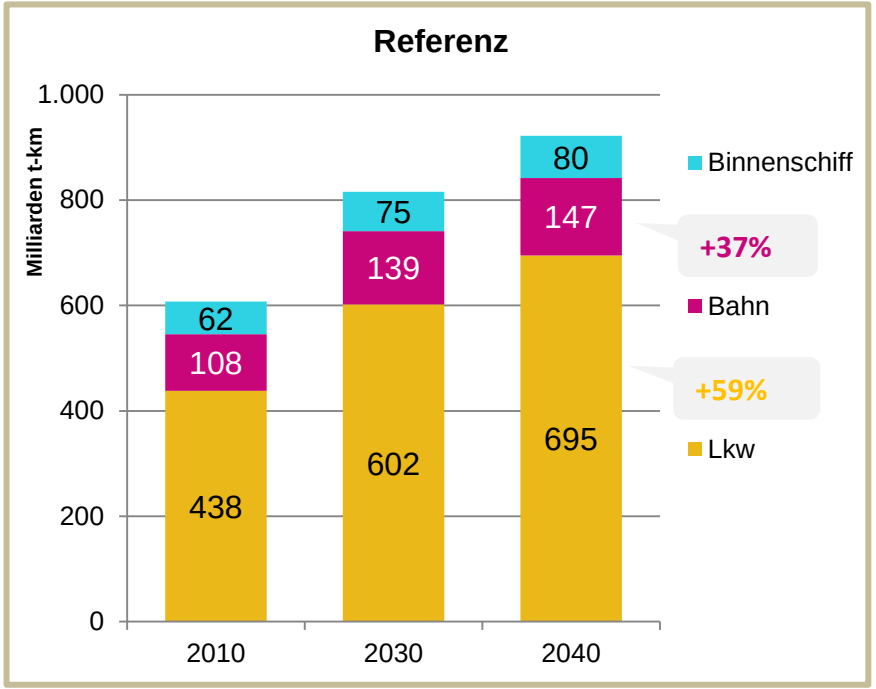


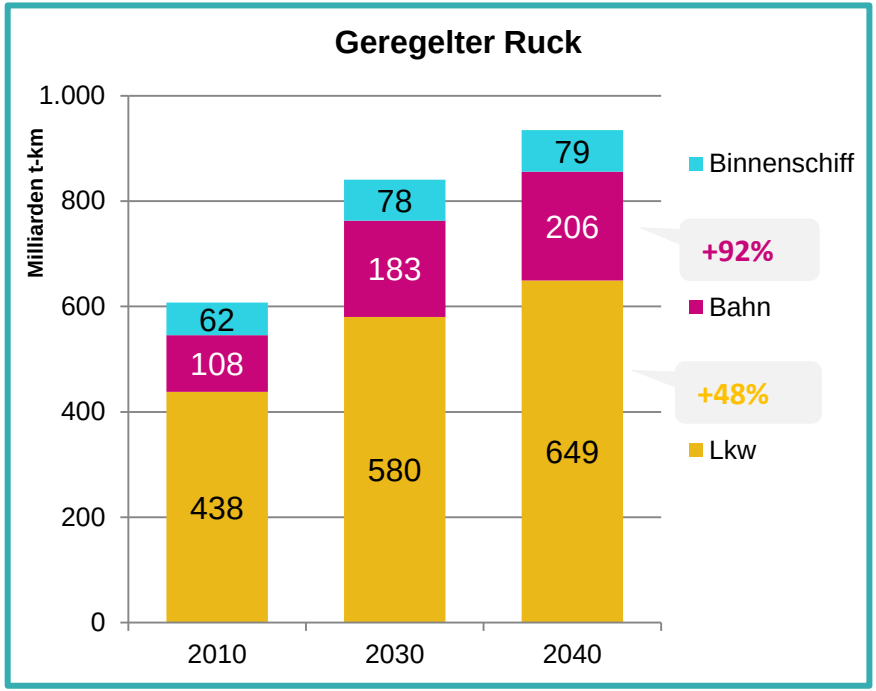
Güterverkehrsleistung nach Verkehrsmittel. Ähnliche Gesamtzuwächse in beiden Szenarien. Bahn wächst im Geregelten Ruck deutlich stärker.



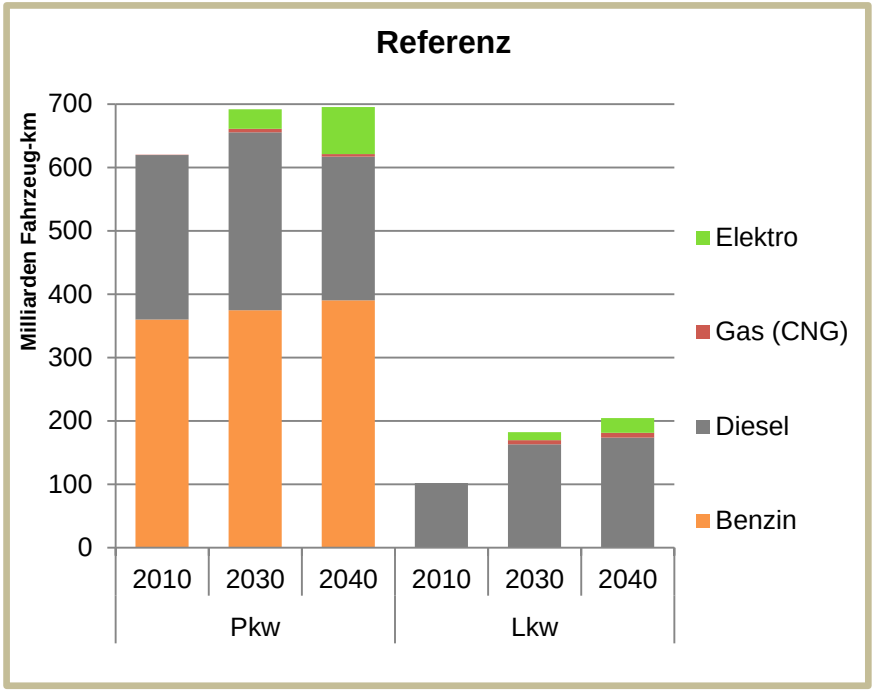


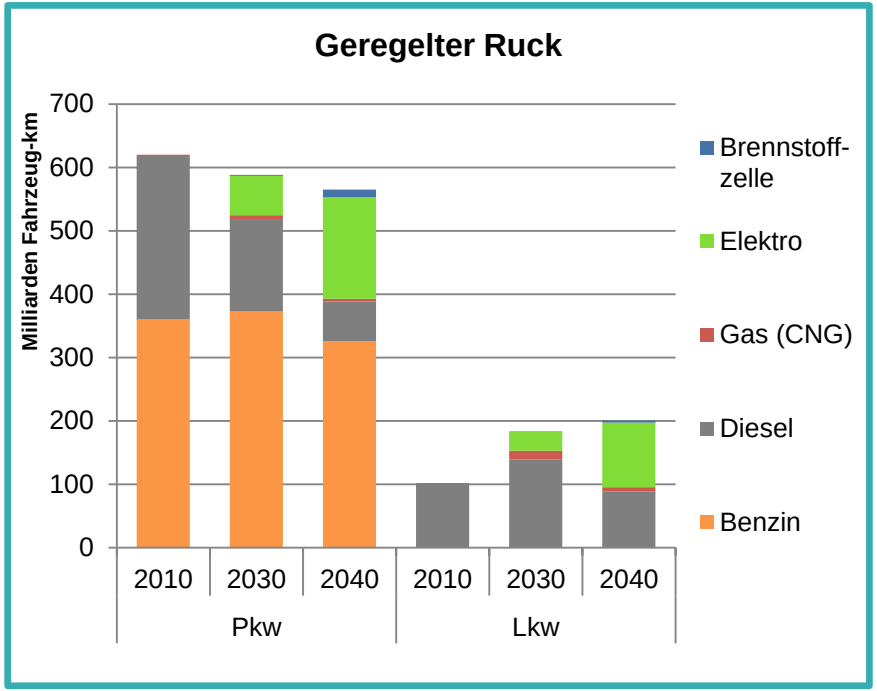
Güterverkehrsleistung nach Verkehrsmittel. Ähnliche Gesamtzuwächse in beiden Szenarien. Bahn wächst im Geregelten Ruck deutlich stärker.



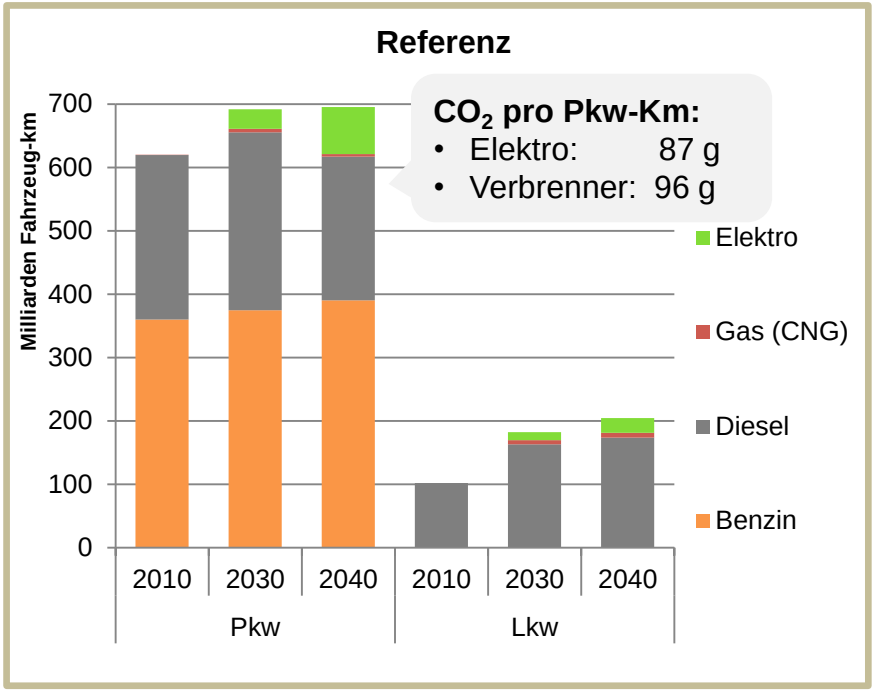


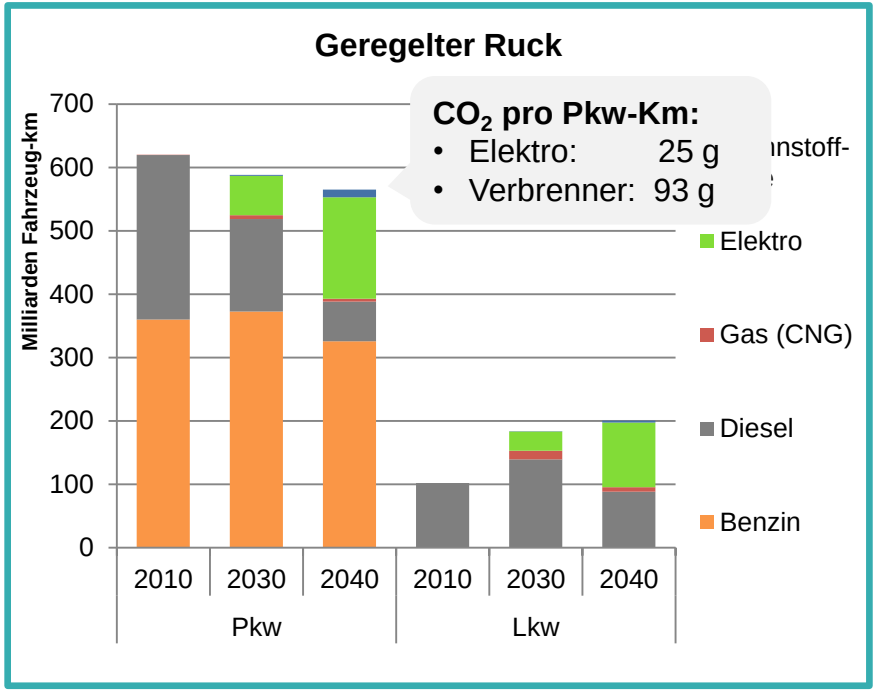
Fahrleistungen nach Energieträger. Im Geregelten Ruck wird vor allem Diesel durch Elektro ersetzt & die Pkw-Fahrleistung nimmt ab.



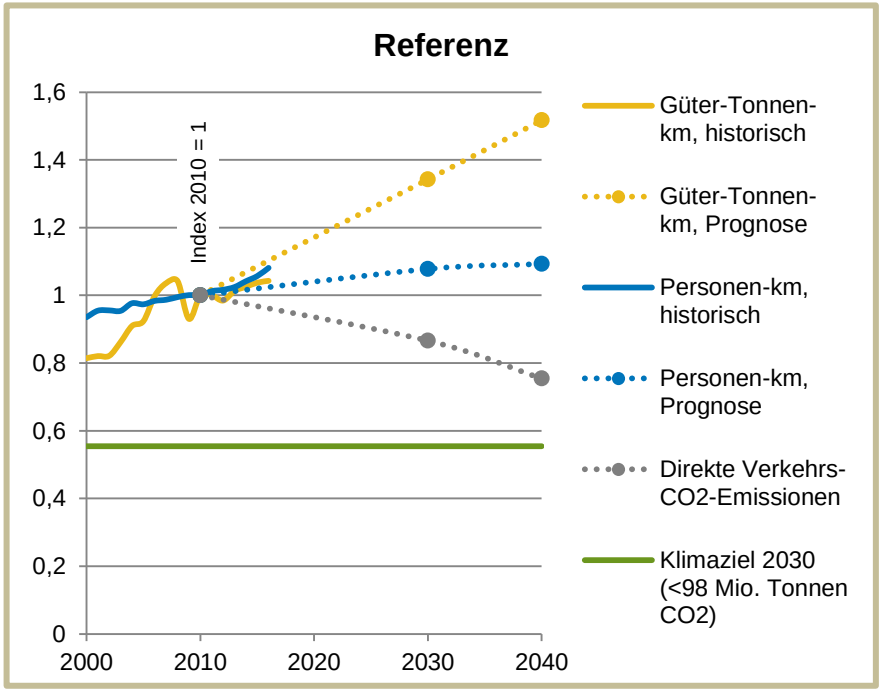


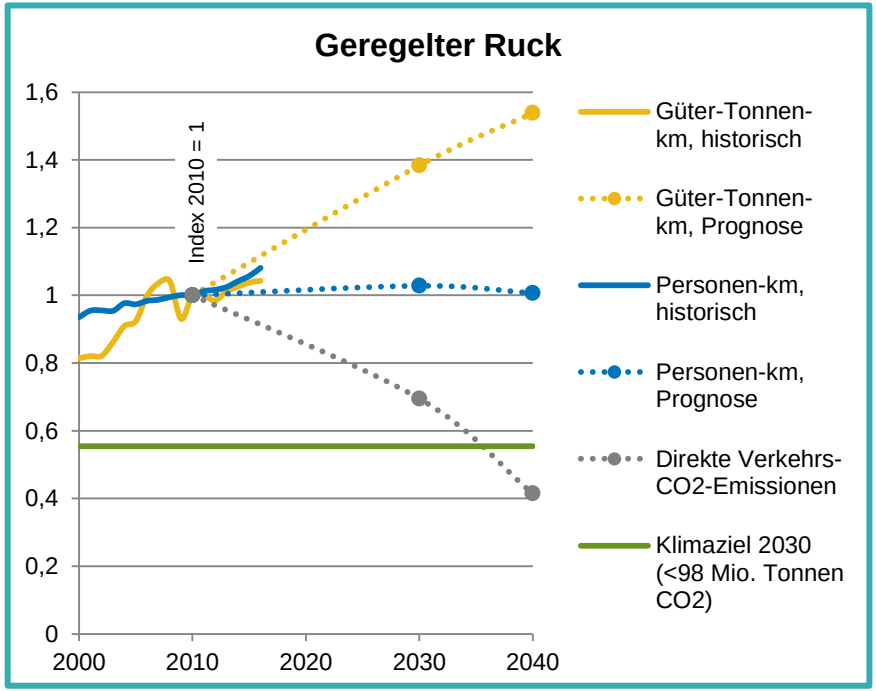
Fahrleistungen nach Energieträger. Im Geregelten Ruck wird vor allem Diesel durch Elektro ersetzt & die Pkw-Fahrleistung nimmt ab.





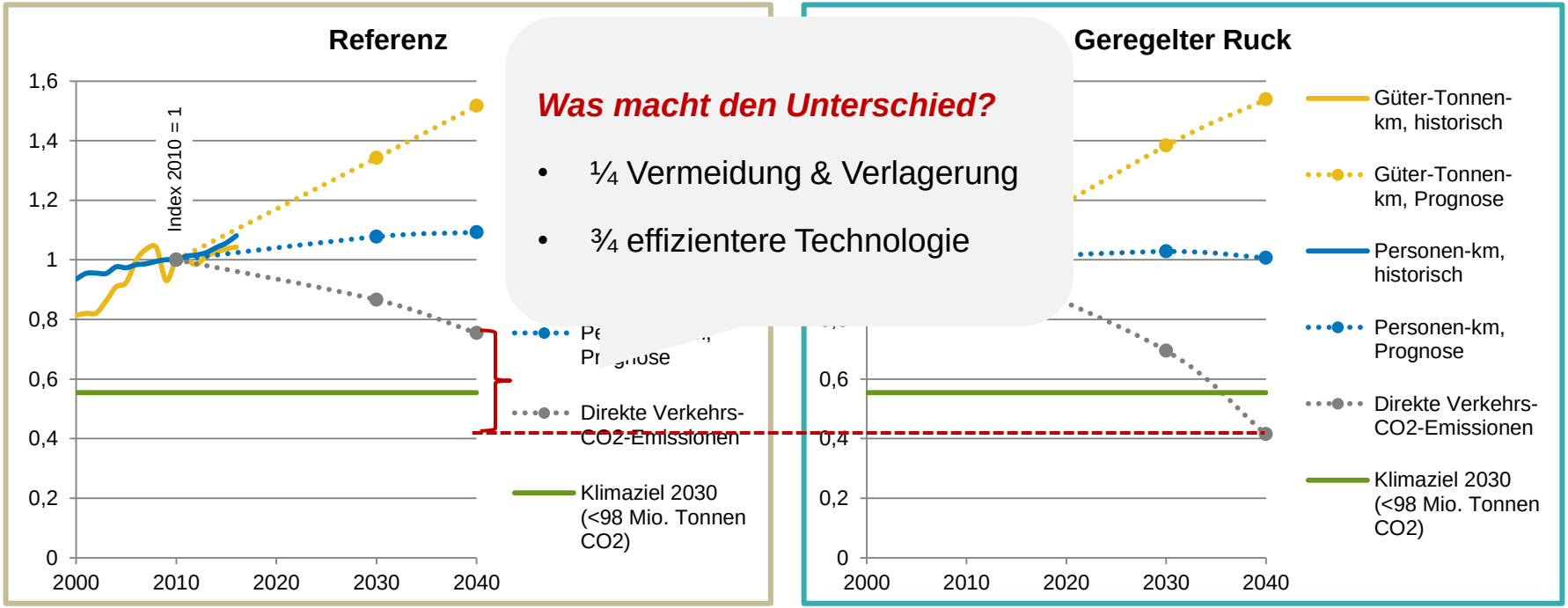
Entwicklung Verkehrsleistung und Klimaemissionen des Verkehrs im Überblick. Der Geregelte Ruck schafft 2040 die Klimaziele 2030.





Quelle: historische Verkehrsleistungskenngrößen aus Verkehr in Zahlen

Entwicklung Verkehrsleistung und Klimaemissionen des Verkehrs im Überblick. Der Geregelte Ruck schafft 2040 die Klimaziele 2030.



Was macht den Unterschied?

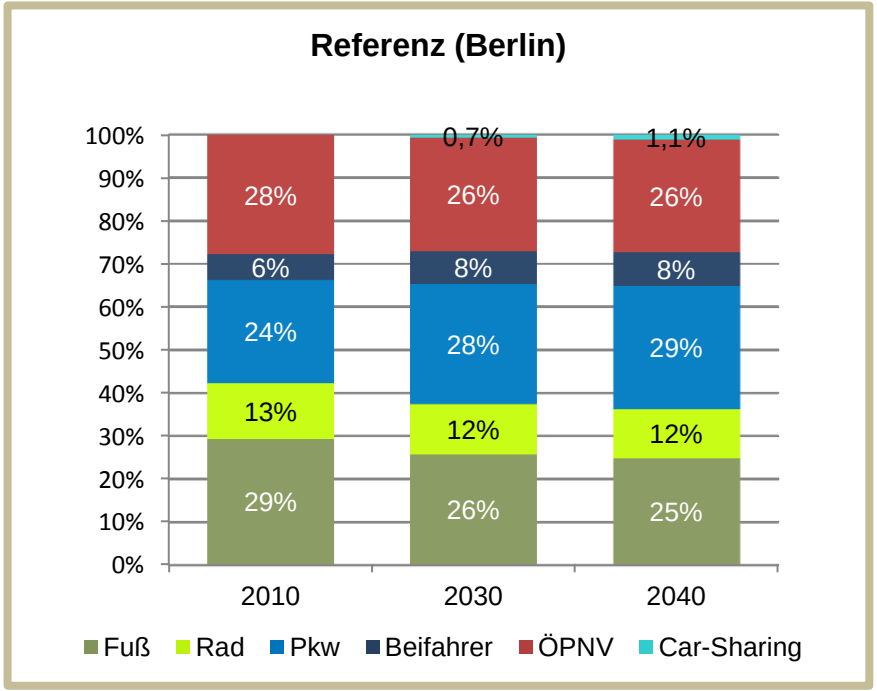
- ¼ Vermeidung & Verlagerung
- ¾ effizientere Technologie

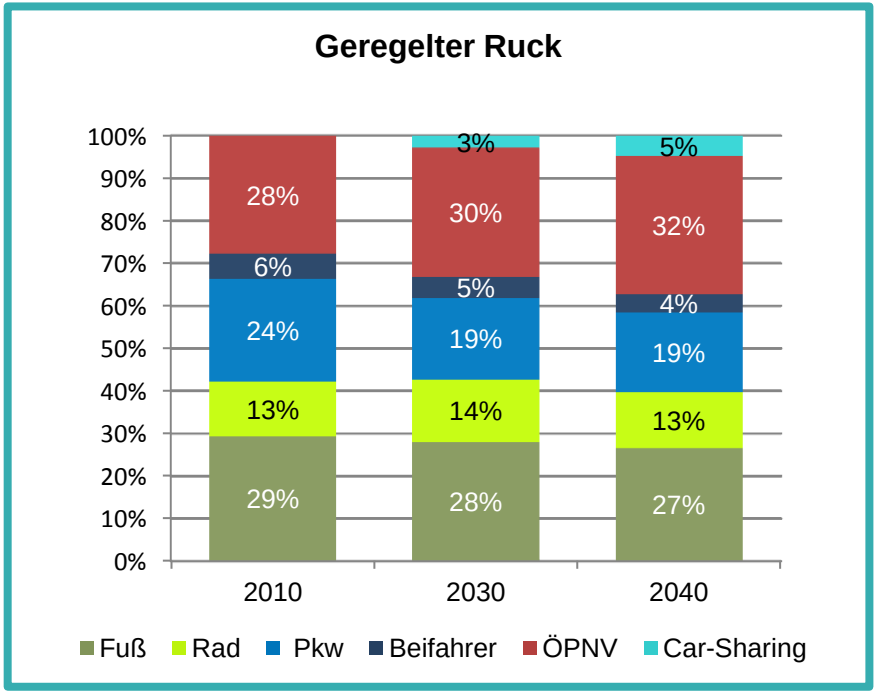
Quelle: historische Verkehrsleistungskenngrößen aus Verkehr in Zahlen

Entwicklung der Rahmenbedingungen im ‚Urbanen Zoom‘ Berlin weichen teilweise vom nationalen Trend ab.

Bevölkerung	-	+
Alterung	++	+
Pkw-Besitz	+	+

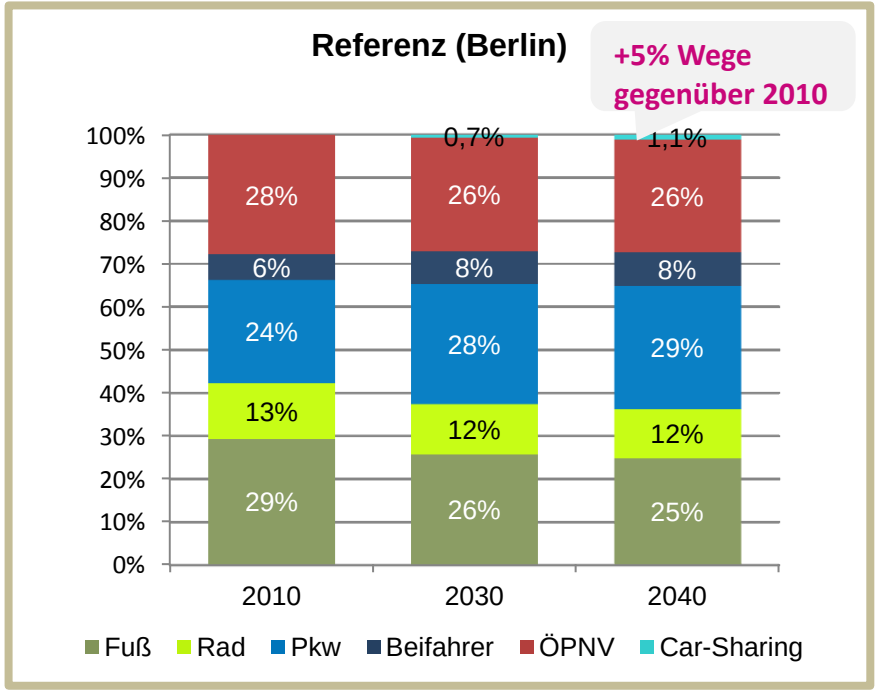
Modal Split: Zunahme Pkw Wege in der Referenz. Verlagerung zum ÖPNV im Geregelten Ruck.

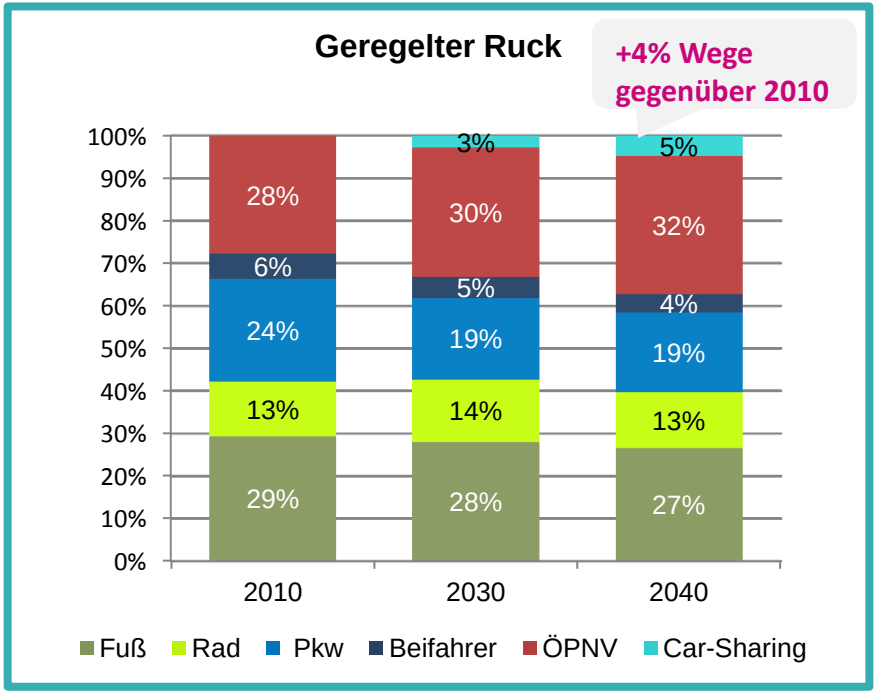




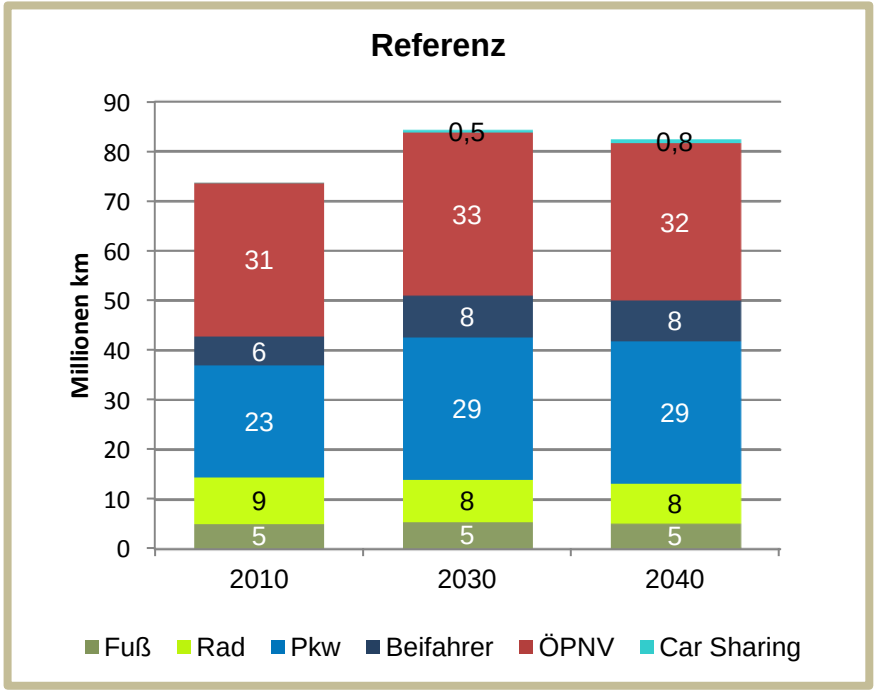
ÖPNV – Öffentlicher Personen Nahverkehr

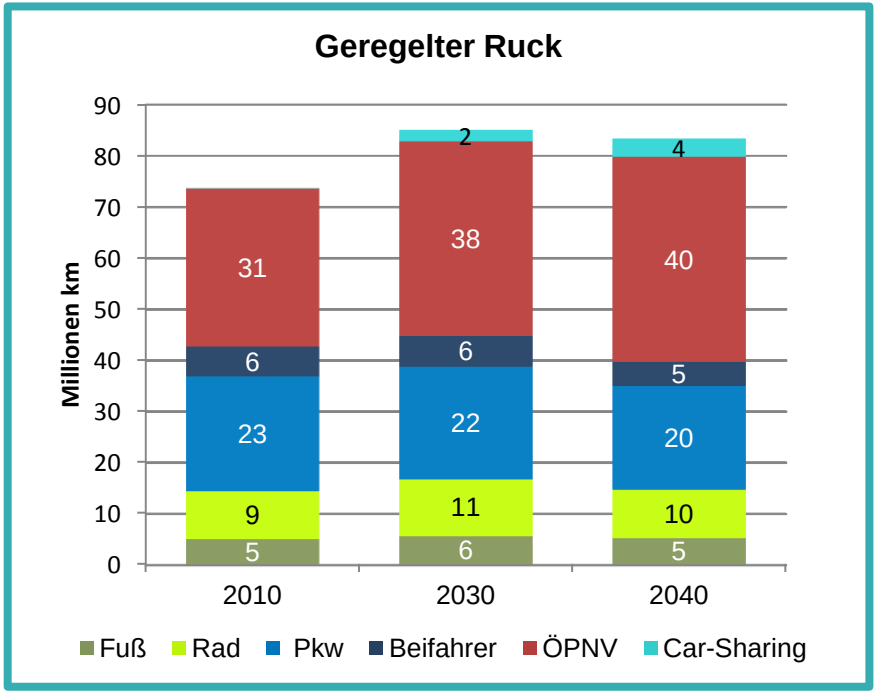
Modal Split: Zunahme Pkw Wege in der Referenz. Verlagerung zum ÖPNV im Geregelten Ruck. Wegeanzahl steigt.



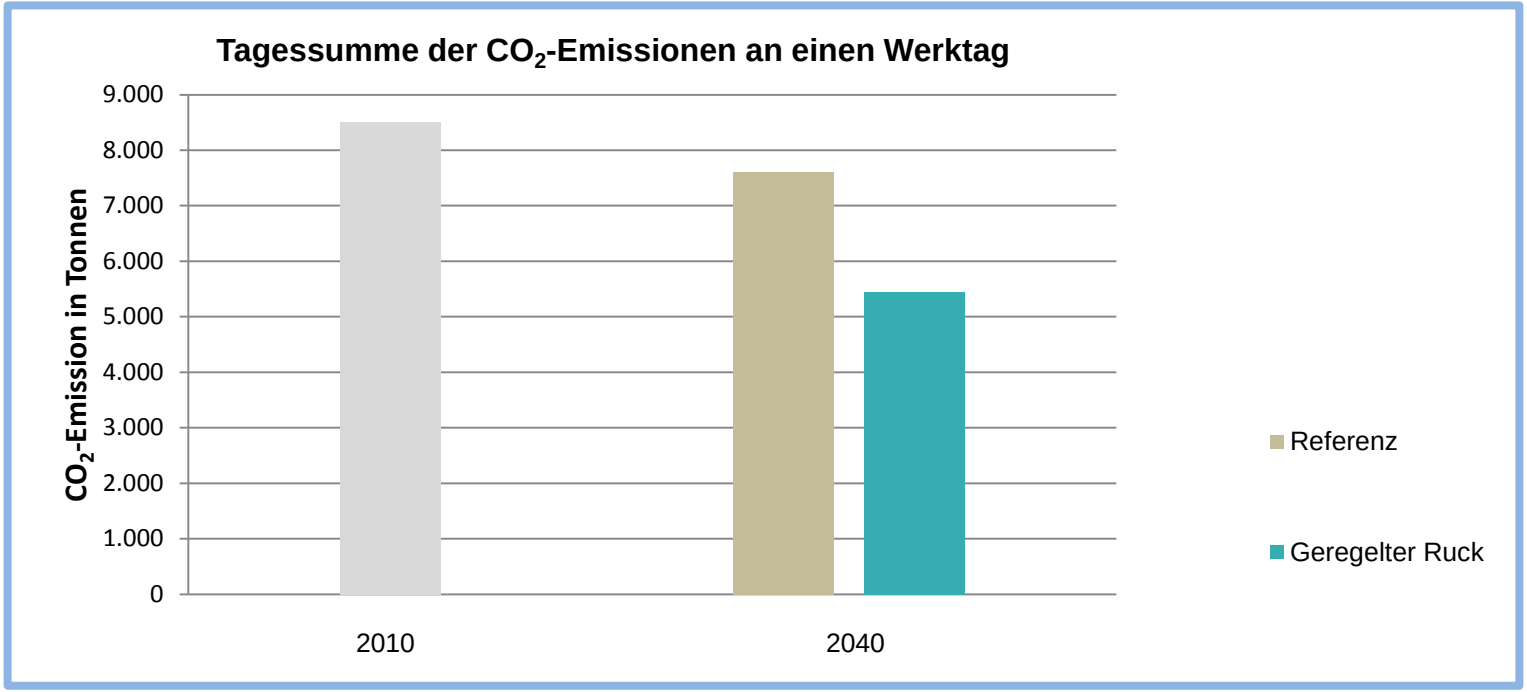


Verkehrsleistung: Steigerung bei Pkw in der Referenz. Deutlicher Zuwachs des ÖPNV im Geregelten Ruck.

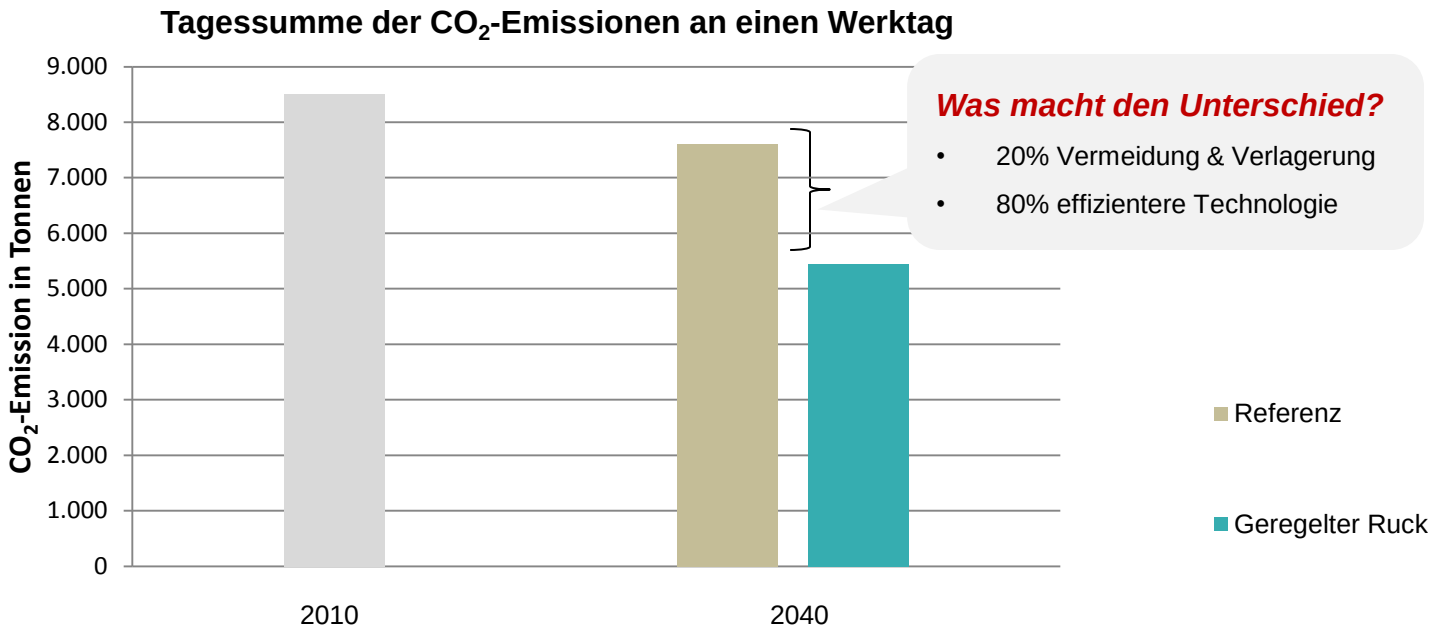




Direkte CO_2-Emissionen des MIV sinken in beiden Szenarien. Deutlich größere Reduzierung im Geregelten Ruck.



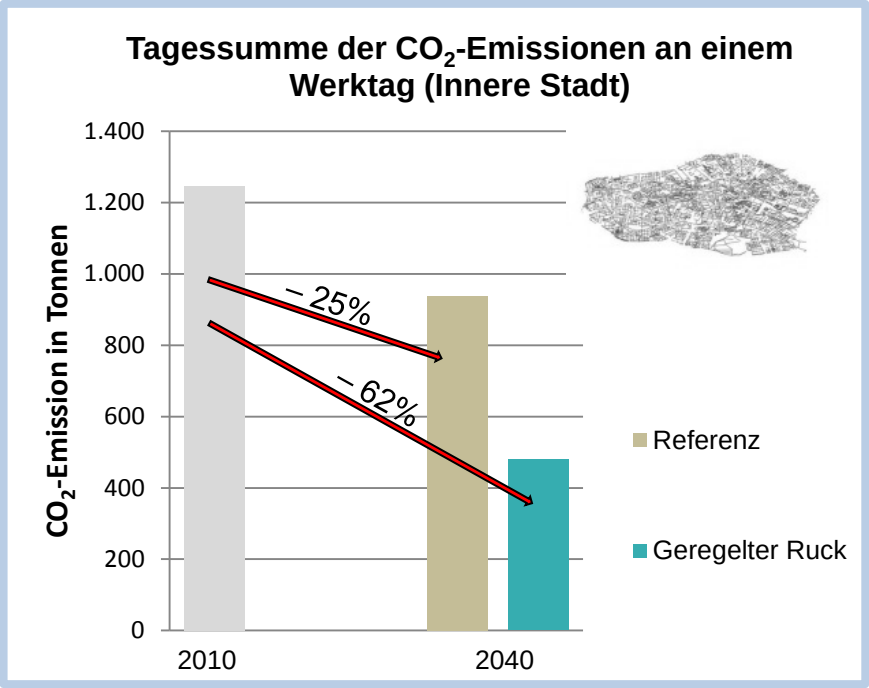
Direkte CO_2-Emissionen des MIV sinken in beiden Szenarien. Deutlich größere Reduzierung im Geregelten Ruck.

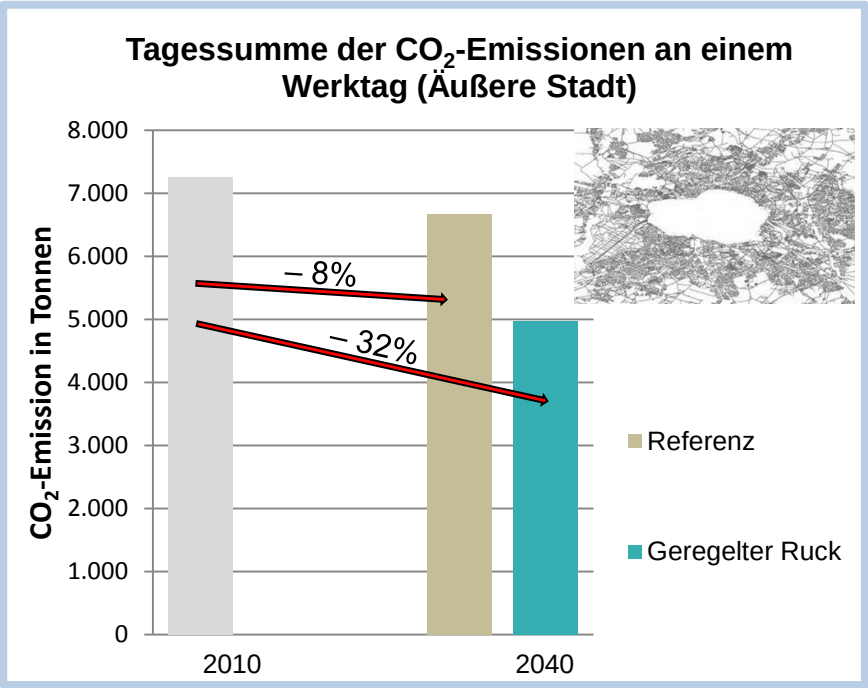


Was macht den Unterschied?

- 20% Vermeidung & Verlagerung
- 80% effizientere Technologie

Direkte CO_2-Emissionen des MIV gehen vorrangig in der Inneren Stadt zurück. In der Äußeren Stadt deutlich geringere Minderung.





Fazit:

- Derzeitige Trends sind im Sinne der Klimaziele äußerst ungünstig.
- Aber Klimaziele sind mit günstigen Rahmen-bedingungen & wirkungsvollen Maßnahmen machbar.
- Dazu sind Änderungen auf *allen* Ebenen notwendig:
  - Verkehrsverhalten
  - Technik Verkehrssektor
  - Technik Energiesektor

- Herausforderung der Erreichung der Klimaziele in Städten wird durch demographisches Wachstum noch verstärkt.
- Technologie und mehr Attraktivität der Alternativen zum Pkw allein reicht nicht: Push und Pull erforderlich.
- Mehr Fokus auf suburbanen Raum.

Verkehrsentwicklung und Umwelt (VEU)

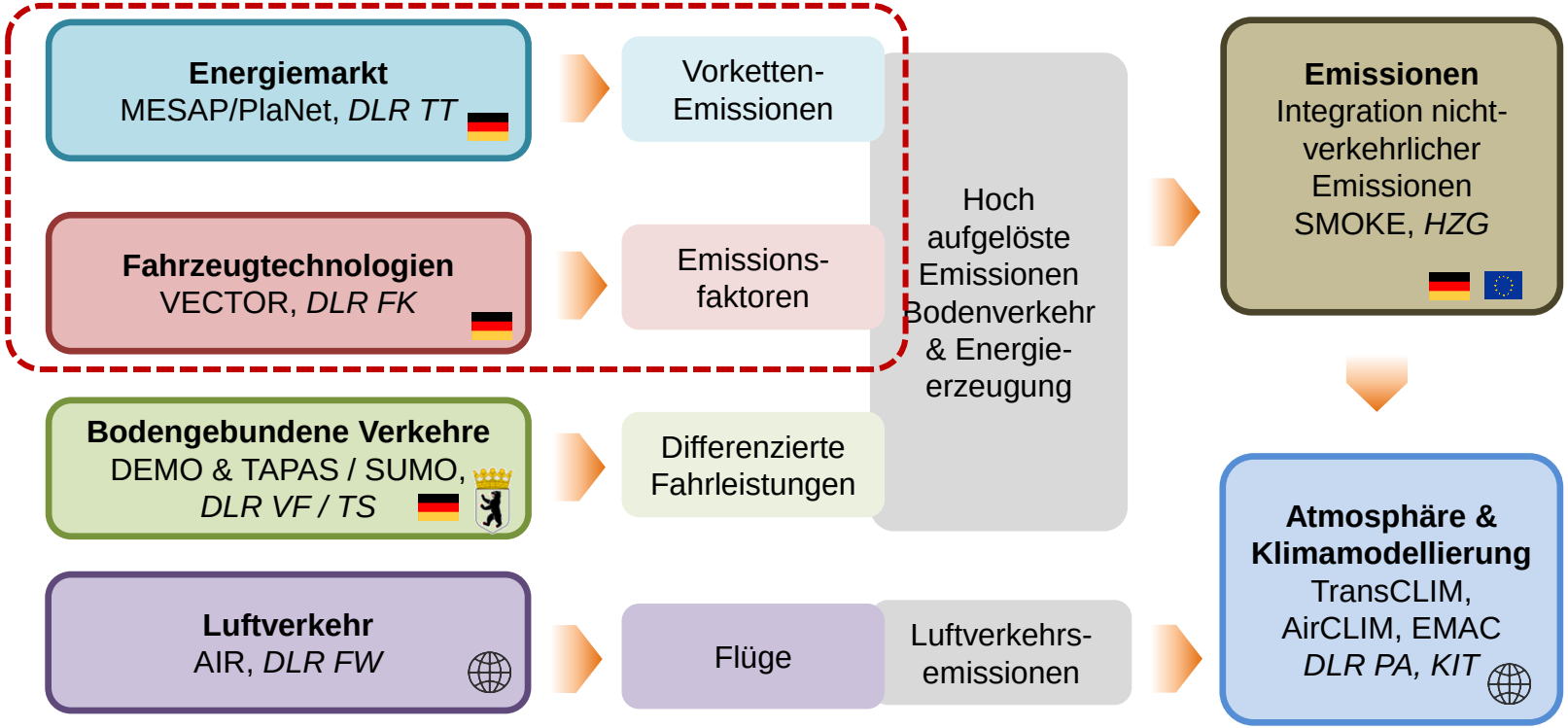
Pfade der Fahrzeugtechnologien und die Entwicklung des Energiesystems

Vortrag: Simone Ehrenberger

DLR

Helmholtz-Zentrum Geesthacht

Modelle zur Abbildung der Verkehrsnachfrage im VEU-Modellverbund.



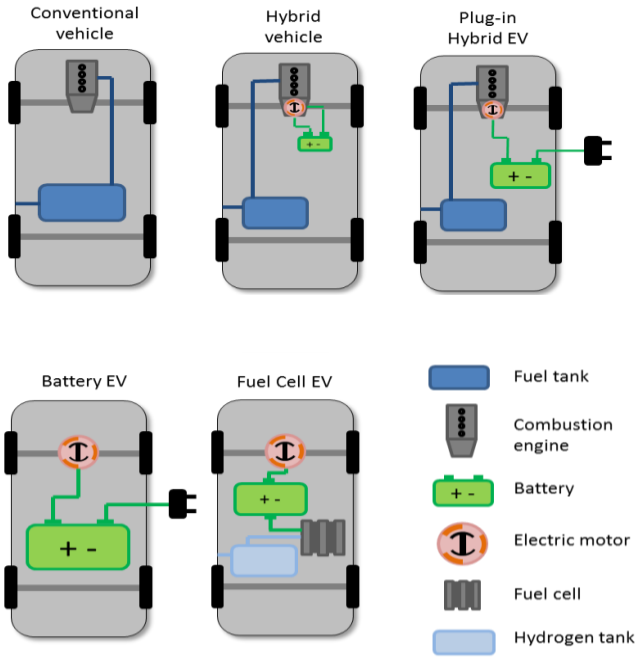
Analyse von Fahrzeugtechnik-Szenarien mit VECTOR 21: Das agenten-basierte Modell bildet Angebot, Nachfrage und externe Einflussfaktoren ab.

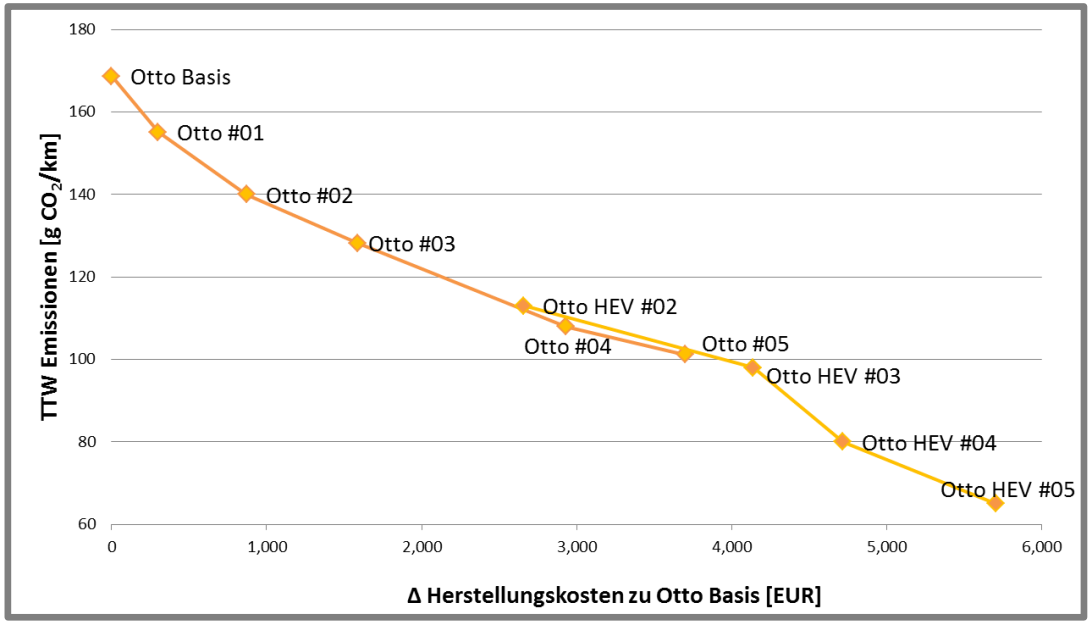
VECTOR 21
scenario analysis software

- Kundenpräferenzen werden Fahrzeugvarianten gegenübergestellt
- Das Modell unterscheidet 900 verschiedene Kundengruppen
- Fahrzeuge sind technisch, ökonomisch und ökologisch spezifiziert

www.vector21.de

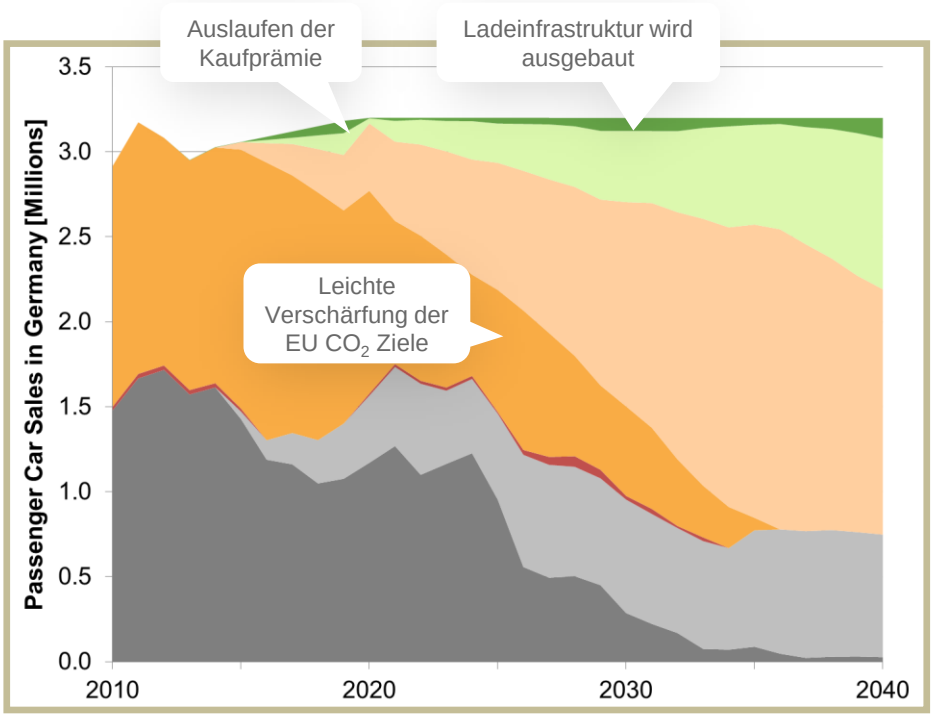
Fahrzeugangebot: Eine Vielzahl alternativer Antriebskonzepte wird im Modell abgebildet.

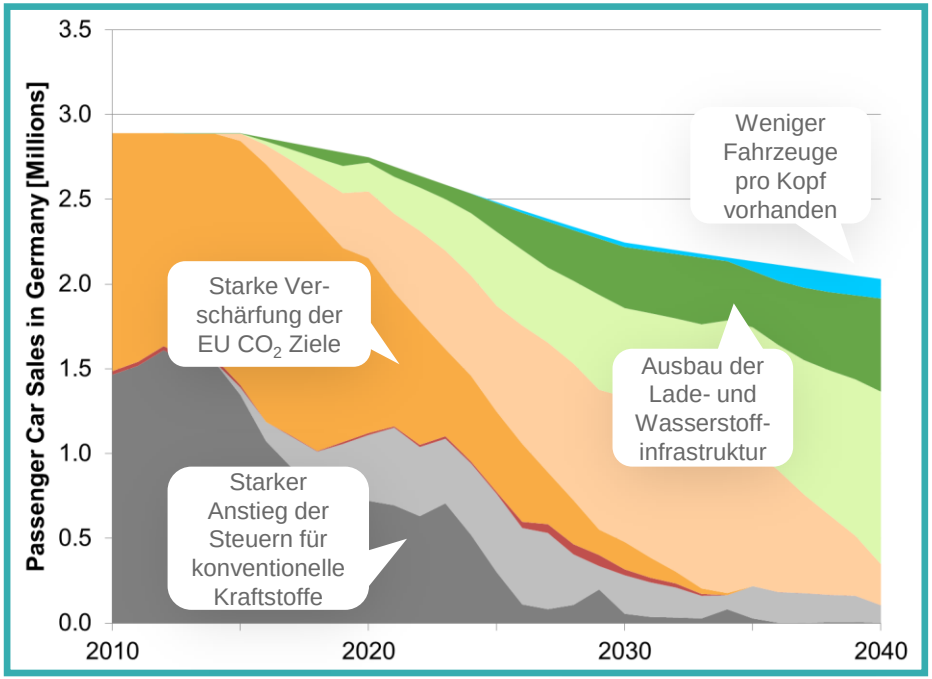




Sinkende Emissionen mit steigender Effizienz und höheren Kosten

Entwicklung der Pkw-Neufahrzeugflotte in Deutschland. Mehr als 80 % elektrifizierte Antriebe sind im Geregelten Ruck in 2040 vorhanden.



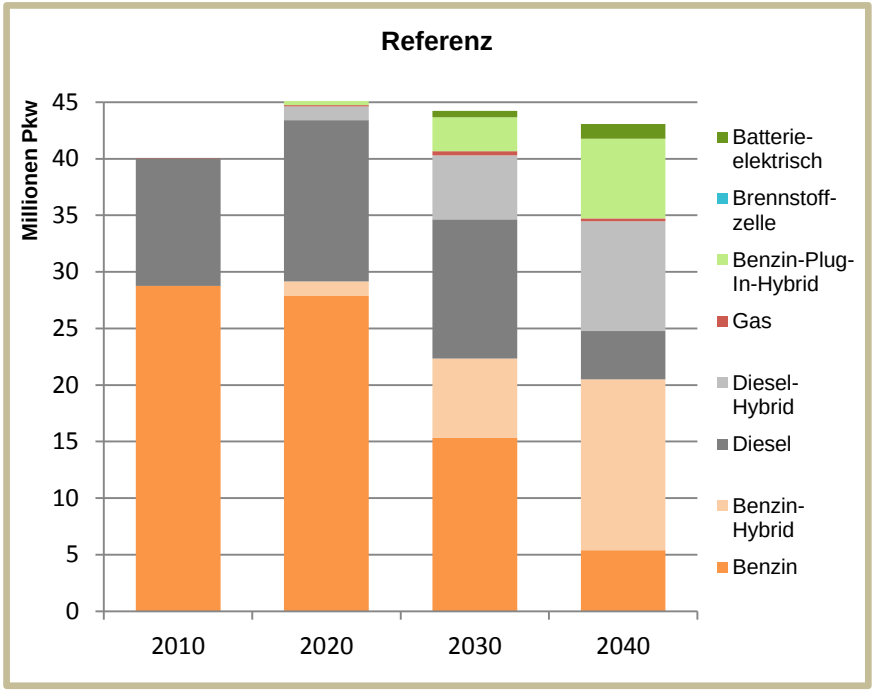


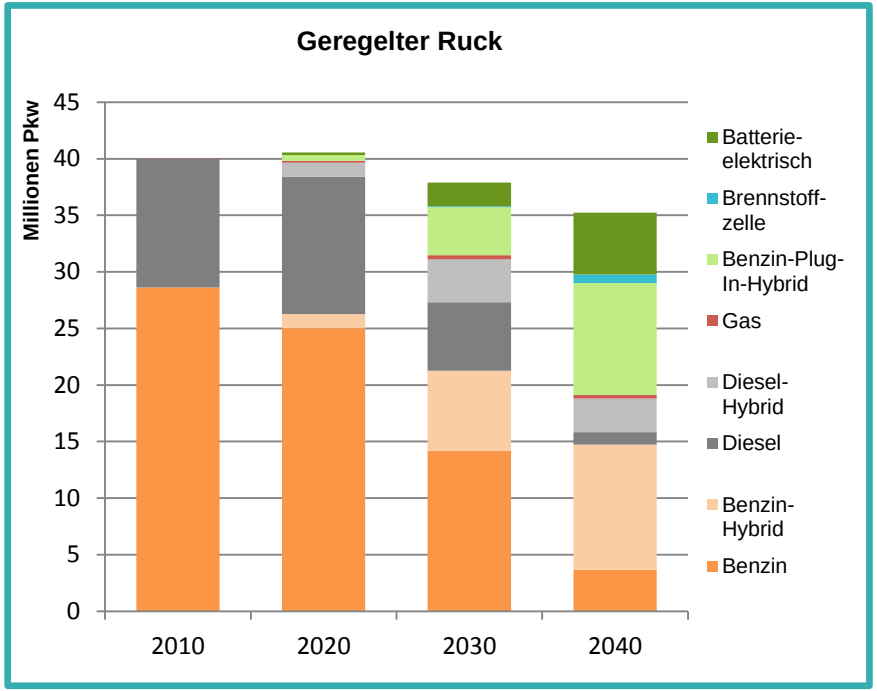
Referenzszenario

Geregelter Ruck

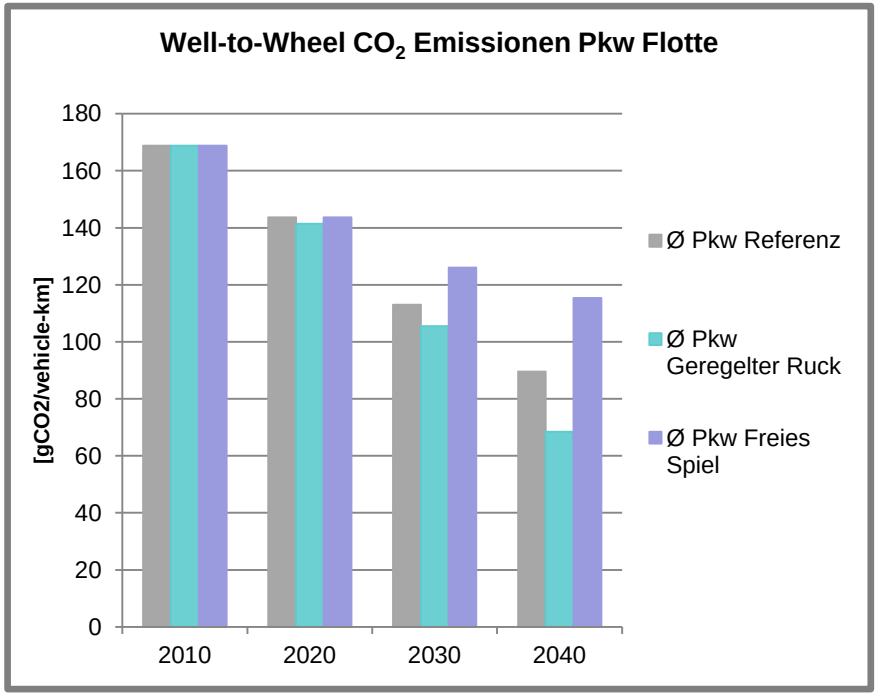
- Diesel
- Diesel-Hybrid
- Erdgas
- Benzin
- Benzin-Hybrid
- Benzin-Plug-In-Hybrid
- Batterieelektrisch
- Brennstoffzelle

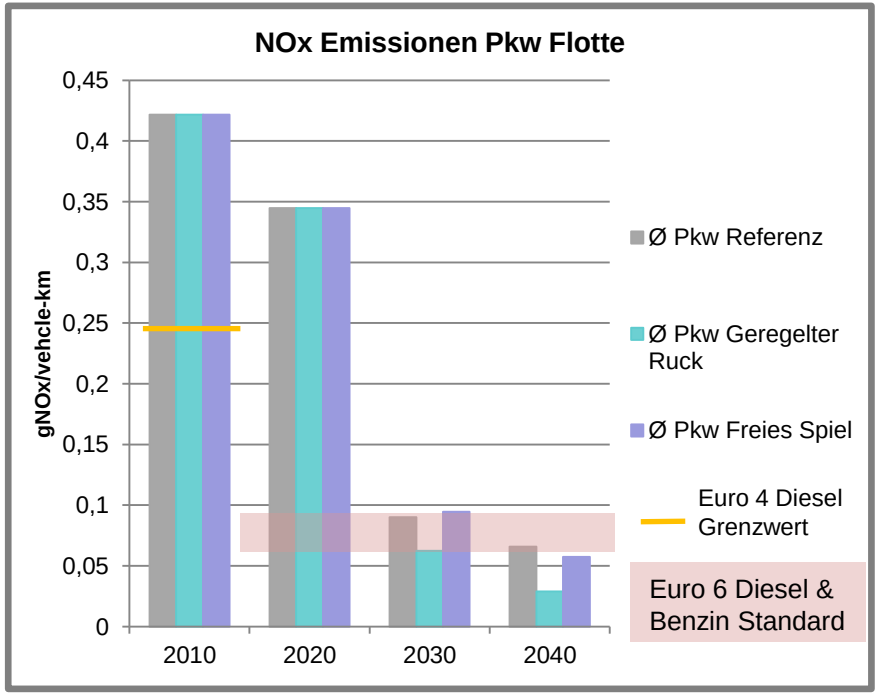
Entwicklung der Pkw-Flotte: Im Geregelten Ruck mehr E-Fahrzeuge durch schärfere Grenzwerte & drastische Verteuerung konventioneller Kraftstoffe.





Emissionsfaktoren der Fahrzeugflotte: Eine deutliche Reduktion verschiedener Schadstoffe bis 2040 ist möglich.





Struktur des Szenariomodells für Nutzfahrzeuge: Das agentenbasierte Modell verfolgt einen transportaufgabenspezifischen Ansatz.

Szenario-Parameter
Externe Einflussfaktoren

- Lade- bzw. Betankungsinfrastruktur
- Übertragungseffekte
- Technologische Entwicklung
- Energiepreisentwicklung
- gesetzliche Bestimmung

Angebot
Fahrzeugkonzepte

Fahrzeugcharakterisierung
- Fahrzeuggrößenklasse
- Fahrwiderstandsparameter
- Antriebsstrangtechnologie
- Konfiguration des Antriebsstrangs

Fahrzeugeigenschaften
- Nutzlast
- Nutzvolumen
- Reichweite
- CO_2-Emissionen (TtW & WtW)
- Technologieportfolio
- Anschaffungskosten
- Betriebskosten

Neuzulassungsszenarien D 2015-2040
Fahrzeugmarkt

Transportaufgabe
- Gütertransport im Nahbereich
- Gütertransport im Regionalbereich
- Gütertransport im Fernbereich

Generierung Effizienzpaket
- Auf Basis von Einzeltechnologien

Anforderungsabgleich & Kaufentscheidung
- Minimale Gesamtkosten über die Nutzungsdauer

Marktanalyse
- Entwicklung von Markt, Kosten, Emissionen, Energieverbrauch, ...
- Auswirkung von Übertragungseffekten
- Identifikation von Nischenmärkten

Nachfrage
Flottenbetreiber

Kundentyp
- Innovator
- Aufgeschlossener Anwender
- Konservativer Anwender
- Zweifler

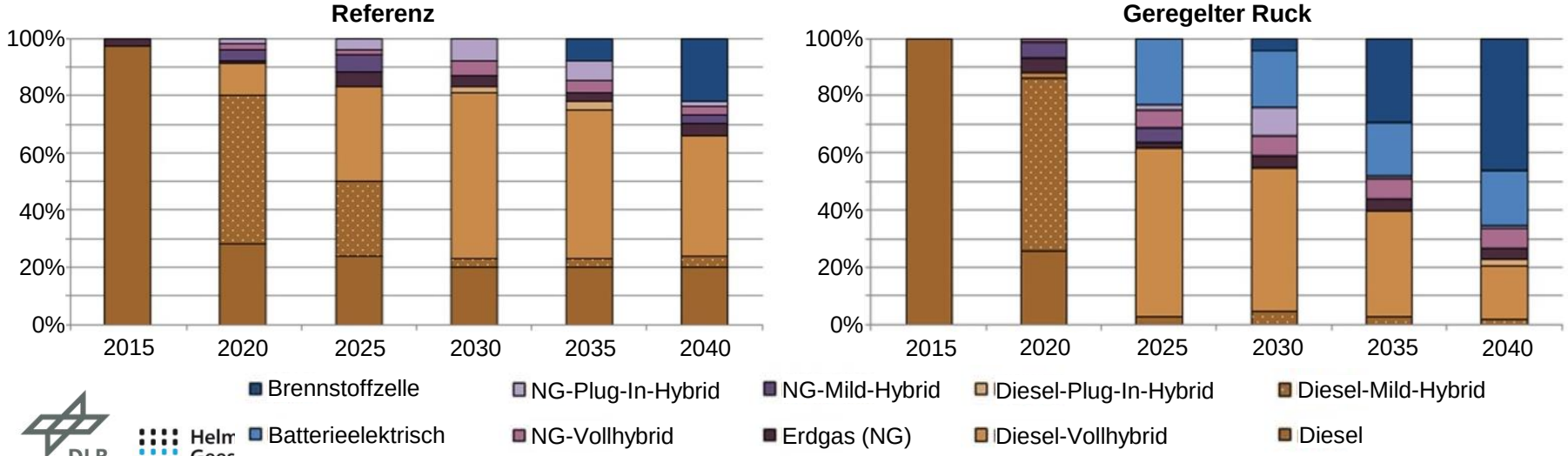
Grundanforderungen
- Nutzlast
- Nutzvolumen
- Tagesreichweite
- Amortisationsdauer
- Gesamtbetriebskosten

Fahrverhalten
- Jahresfahrleistung
- Fahrprofil

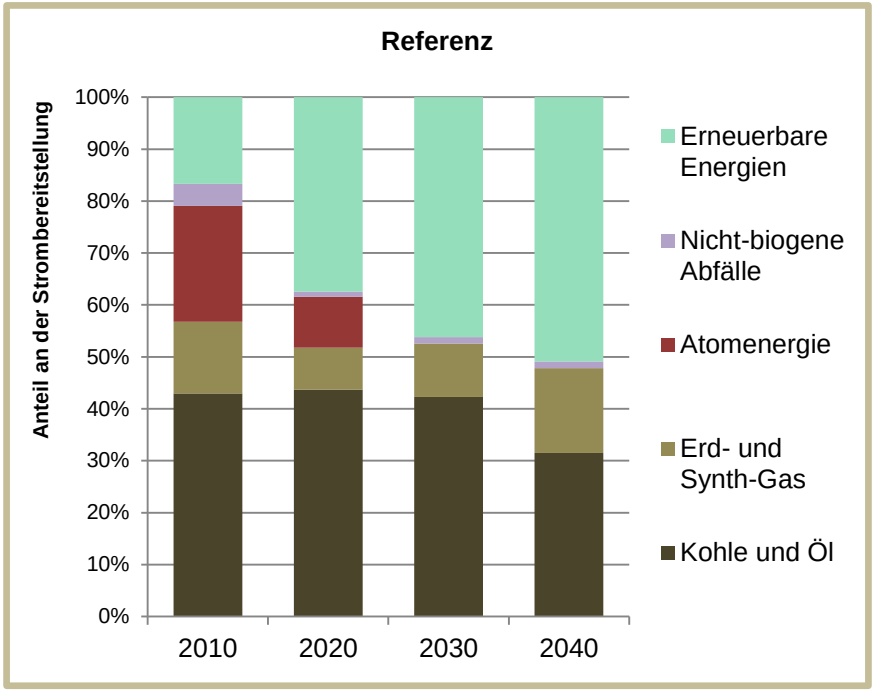
- Berücksichtigung von Transportaufgaben
- Analyse des Einflusses alternativer Antriebskonzepte auf die Nutzlast und das Nutzvolumen
- Ermittlung von spezifischen Instandhaltungskosten und von Restwerten für Nutzfahrzeugkonzepte mit alternativen Antriebstechnologien

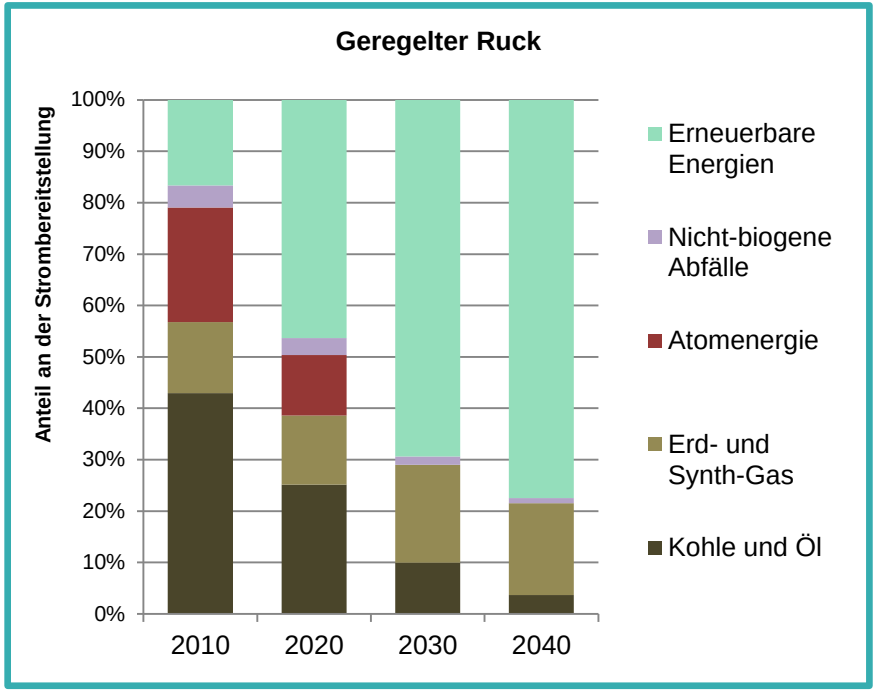
Szenarioanalysen für Nutzfahrzeuge: Hybride Antriebskonzepte leisten einen wesentlichen Beitrag zur Reduktion der CO_2 Emissionen.

- Großes Marktpotenzial für Hybridfahrzeuge insbesondere im Markt für leichte Nutzfahrzeuge vorhanden
- Batterie-elektrische Fahrzeuge können sich im Referenzszenario kaum durchsetzen
- Brennstoffzellenfahrzeuge werden ab 2035 wettbewerbsfähig



Nur im Geregelten Ruck emittieren E-Fahrzeuge deutlich weniger CO_2 als Verbrenner, insbesondere durch die Umstellung der Stromerzeugung.





Fazit:

- Ambitionierte regulatorische Maßnahmen führen zu einer Wende im Fahrzeugmarkt bei Pkw und Lkw
- Klimaschutz-Vorgaben für die Pkw-Flotte sind sehr entscheidend für die zukünftige Entwicklung („Lastverteilung“)
- Mehr als 80 % elektrifizierte Antriebe sind im geregelten Ruck in 2040 vorhanden
- Eine deutliche Reduktion verschiedener Schadstoffe bis 2040 ist möglich
- Die Energieerzeugung leistet einen entscheidenden Beitrag zur Minderung der Gesamtemissionen bis 2040 sowohl im Referenzszenario als auch im geregelten Ruck

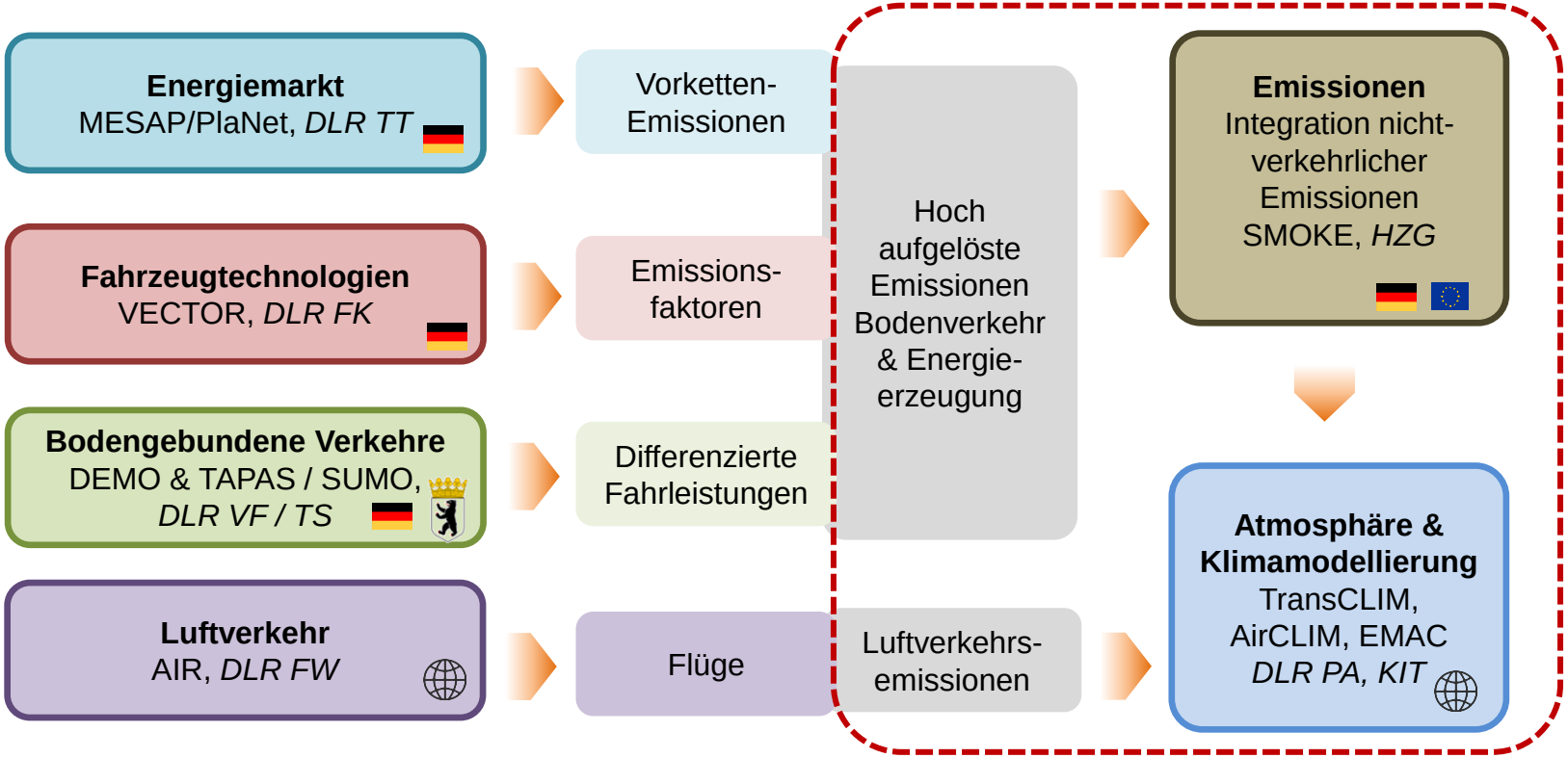
Verkehrsentwicklung und Umwelt (VEU)

Die Wirkungen der Verkehrssystementwicklungen in den VEU Szenarien auf Luftqualität und Klima

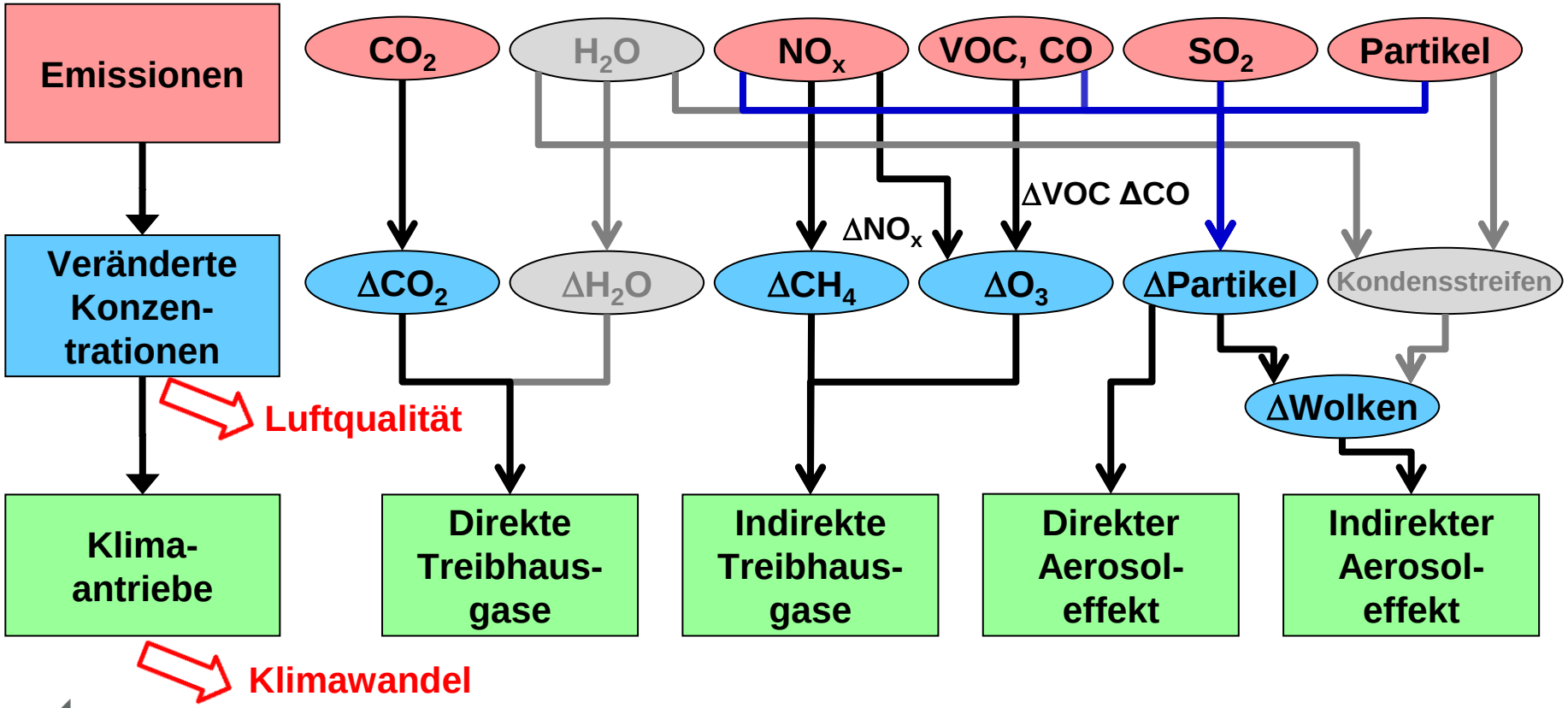
Vortrag: Dr. Johannes Hendricks

DLR
Helmholtz-Zentrum Geesthacht

Simulation der Auswirkungen auf Luftqualität und Klima.

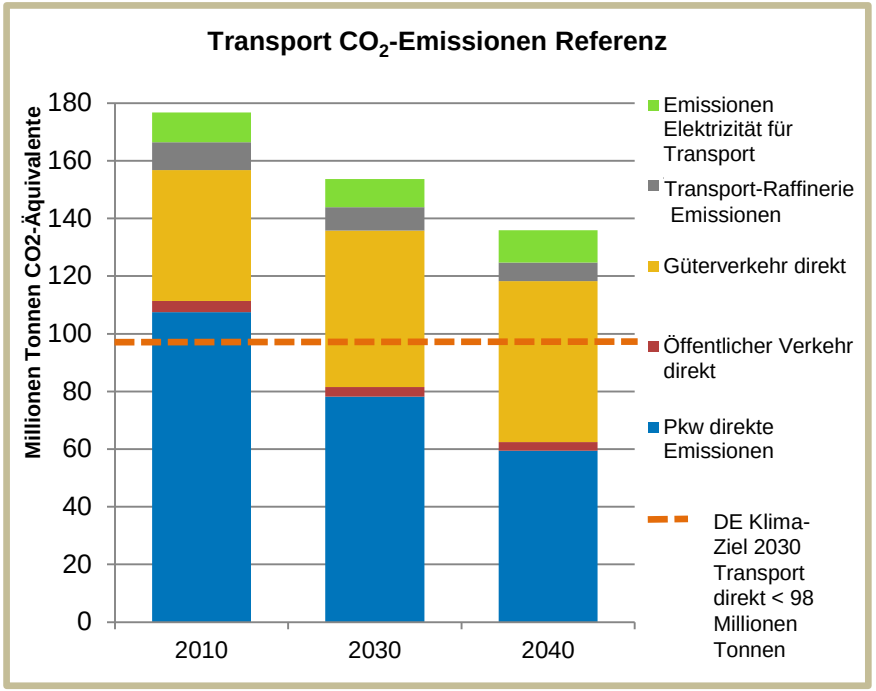


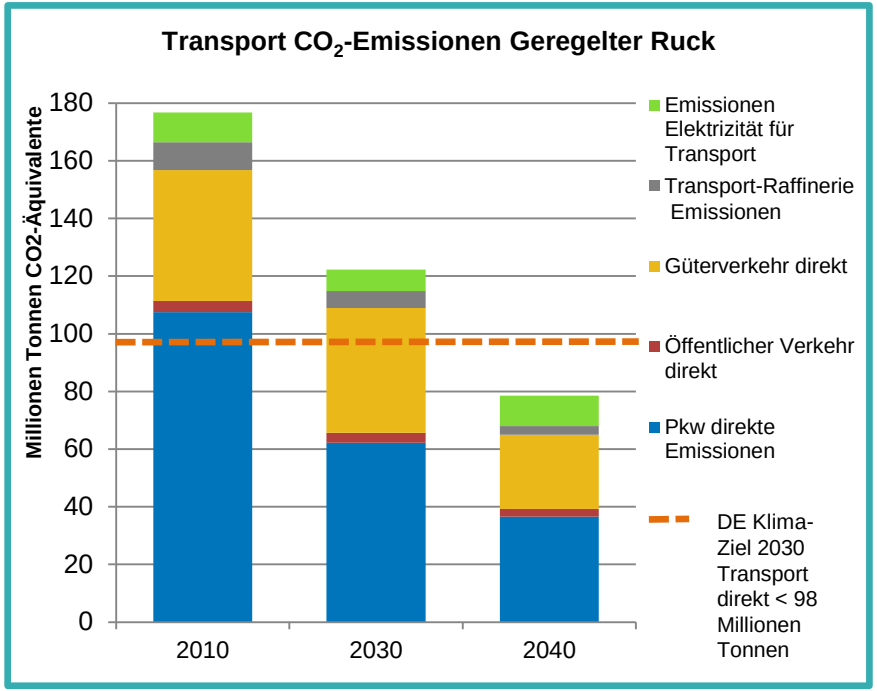
Wirkungen von Verkehrsemissionen auf Atmosphäre und Klima.



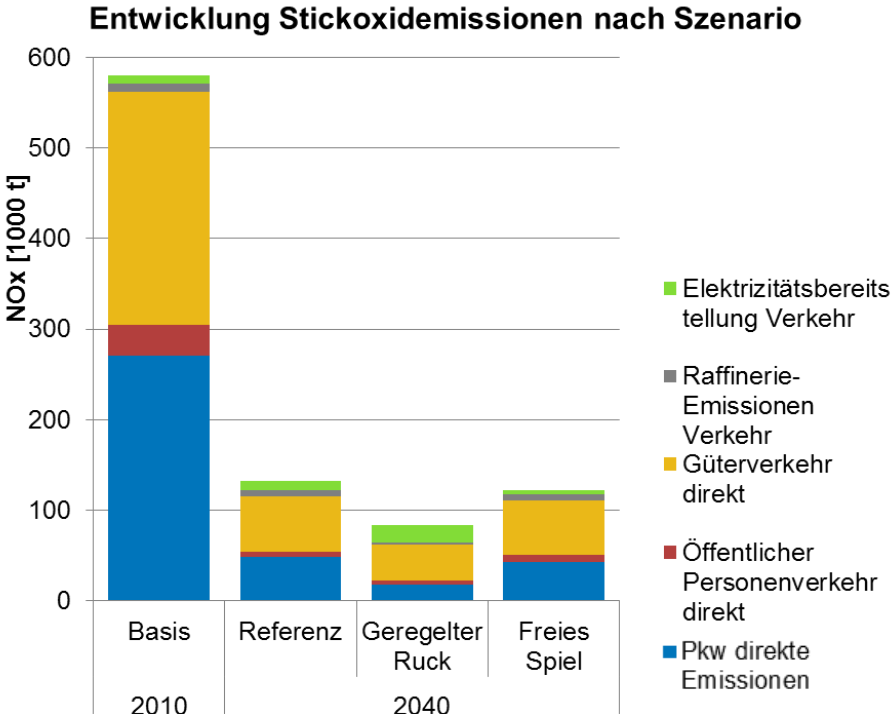
Emissionen des Verkehrs

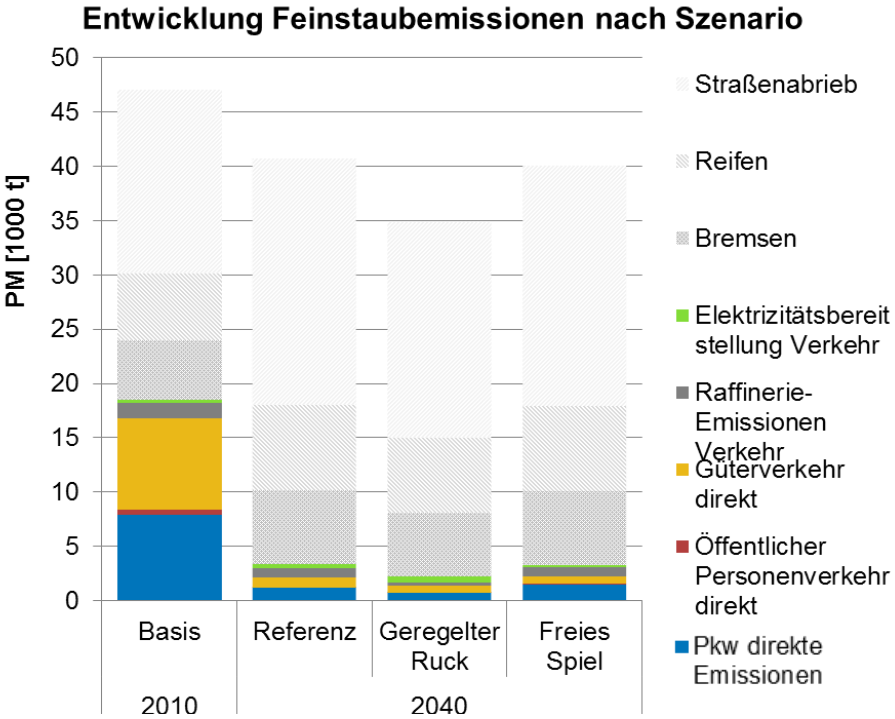
Deutliche Klimagasminderungen im Geregelten Ruck. Im Personenverkehr durch Verhalten & Technologie, im Güterverkehr v.a. durch Technologie.





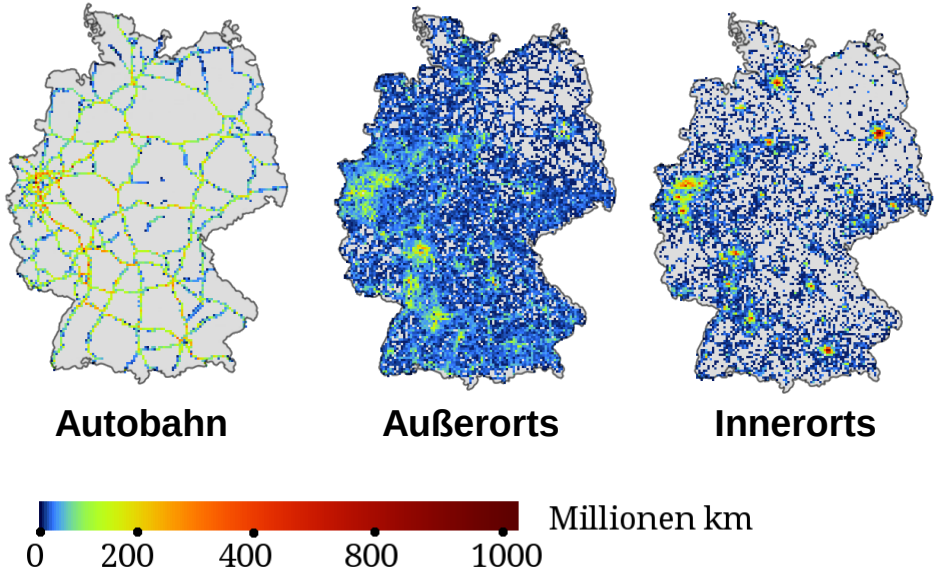
Deutlicher Rückgang von Stickoxiden und Feinstaub, zumindest aus dem Auspuff.



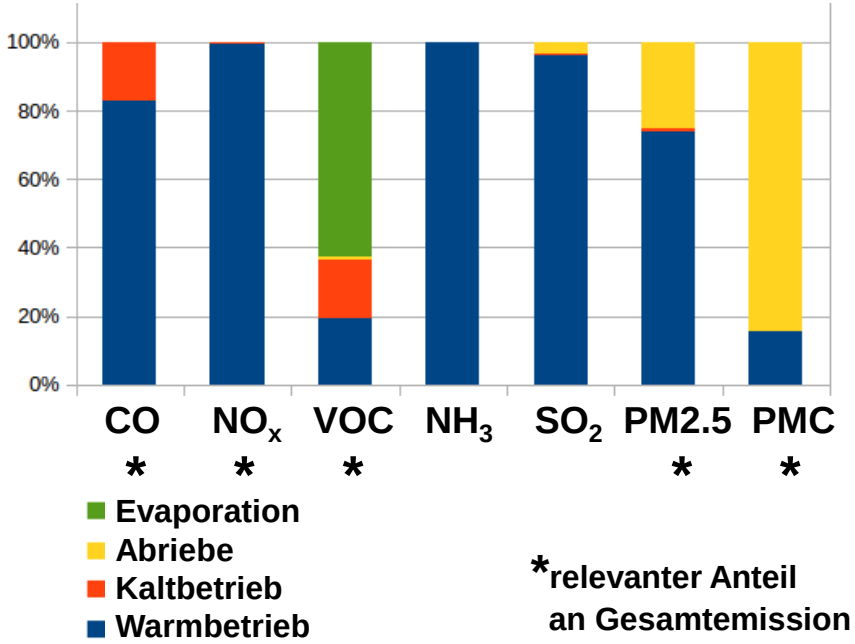


Verkehr in Deutschland: Fahrleistung und Emissionsentstehung.

Fahrleistungen



Emissionsentstehung



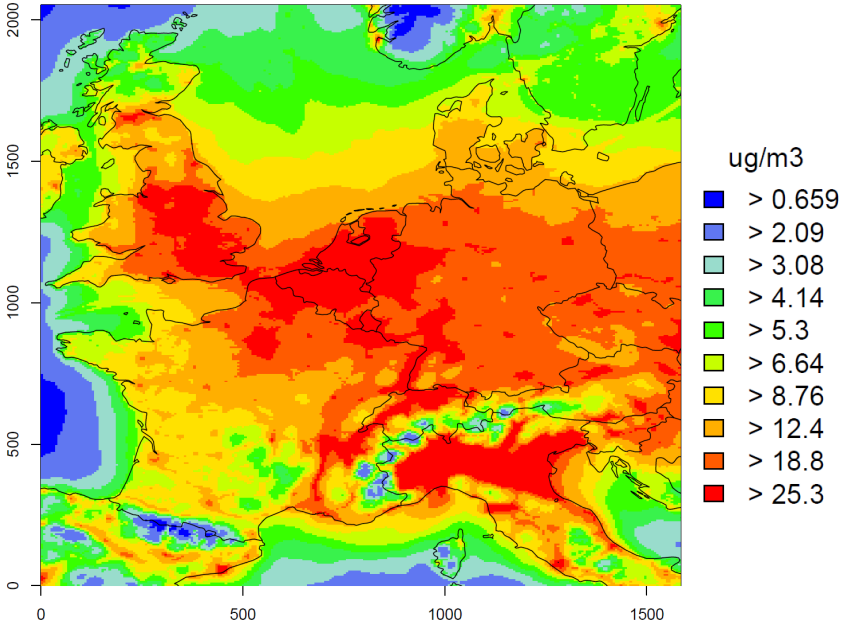
*relevanter Anteil an Gesamtemission

Wirkungen auf die Luftqualität

2010: Der Verkehr trägt deutlich zur NO_2-Belastung bei.

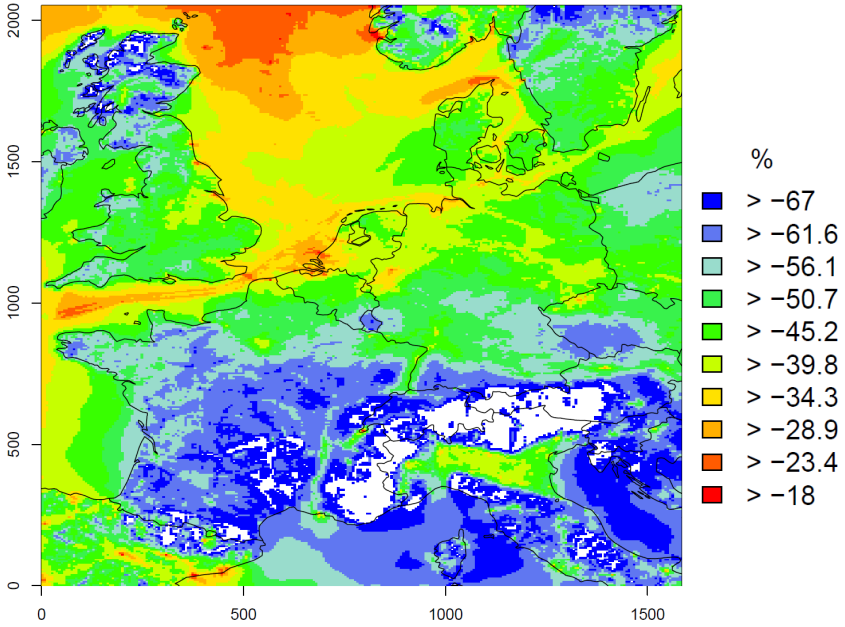
NO_2 Gesamtbelastung

Januar 2010



NO_2 Minderungspotenzial Verkehr

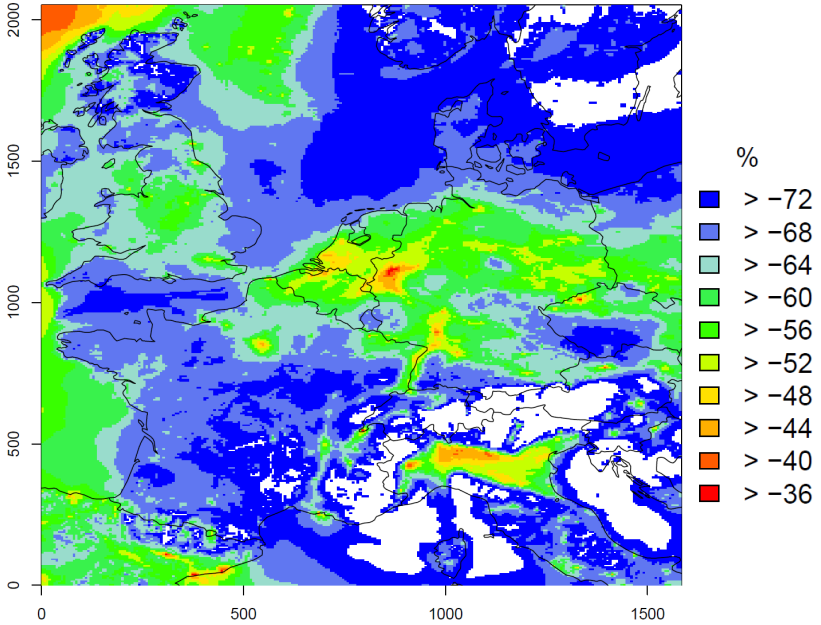
Januar 2010



2040: Die NO_2-Belastung wird in Zukunft deutlich sinken. Der Verkehr wird hierzu besonders stark beitragen.

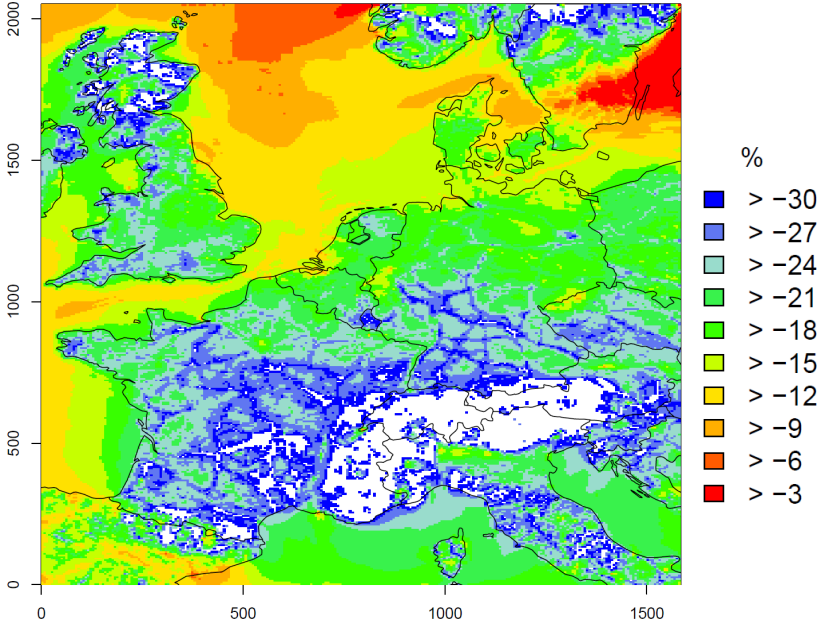
NO_2 Rückgang Gesamtbelastung

Januar, 2040 vgl. mit 2010 (Referenz)



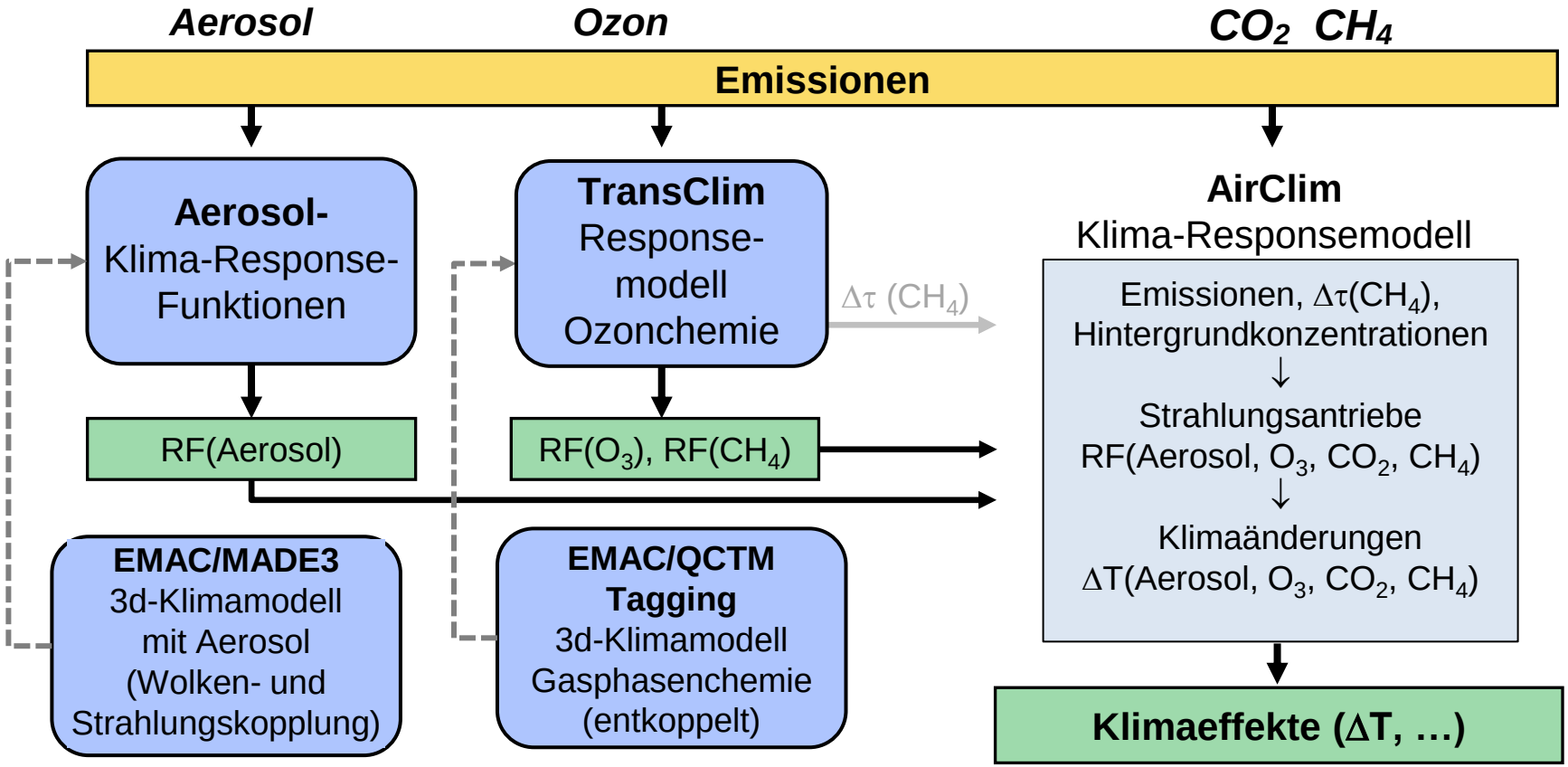
NO_2 Minderungspotenzial Verkehr

Januar 2040 (Referenz)



Wirkungen auf das Klima

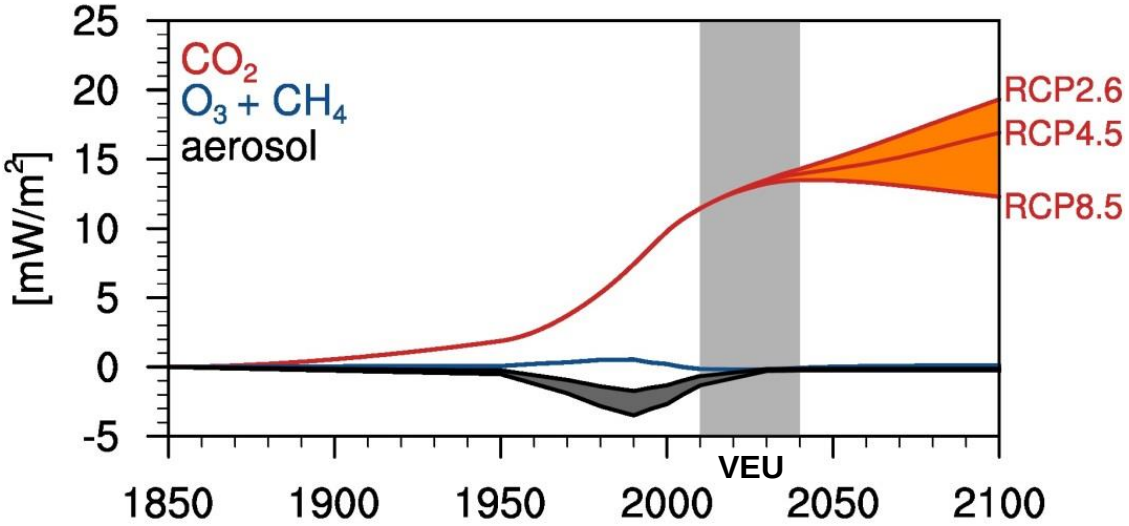
Modellierung der Klimawirkungen des deutschlandweiten Verkehrs.



Die globalen Klimawirkungen des deutschlandweiten Verkehrs werden durch seine CO_2-Emissionen bestimmt.

Strahlungsantriebe der Emissionen des deutschlandweiten Verkehrs

VEU-Referenz-Szenario

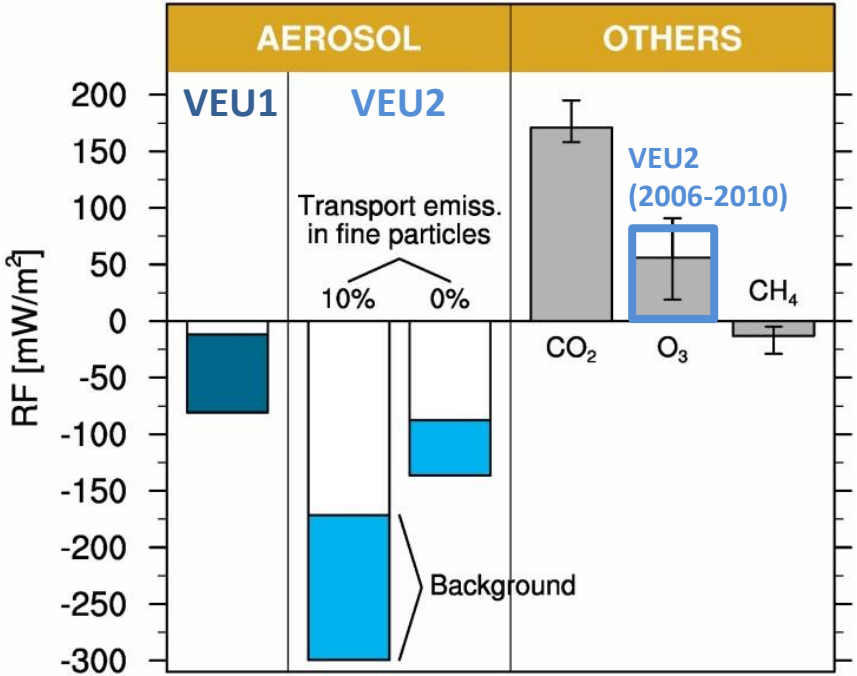


Strahlungsantrieb:
Änderung der mittleren Strahlungsbilanz der Erde

***RCPs** (Representative Concentration Pathways)*
Globale Hintergrundszenarien: geringe (2.6), mittlere (4.5), starke (8.5) Erwärmung

Die Klimawirkungen des globalen Verkehrs werden auch durch Nicht-CO_2-Komponenten bestimmt.

Strahlungsantriebe globaler Landverkehr (2000)

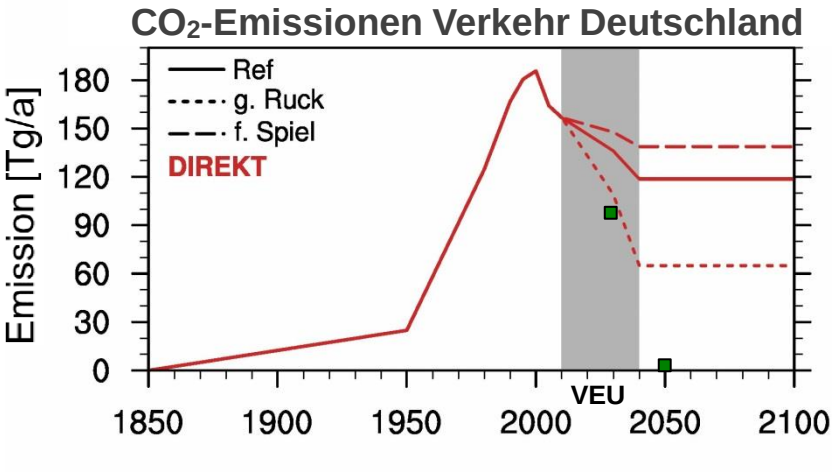


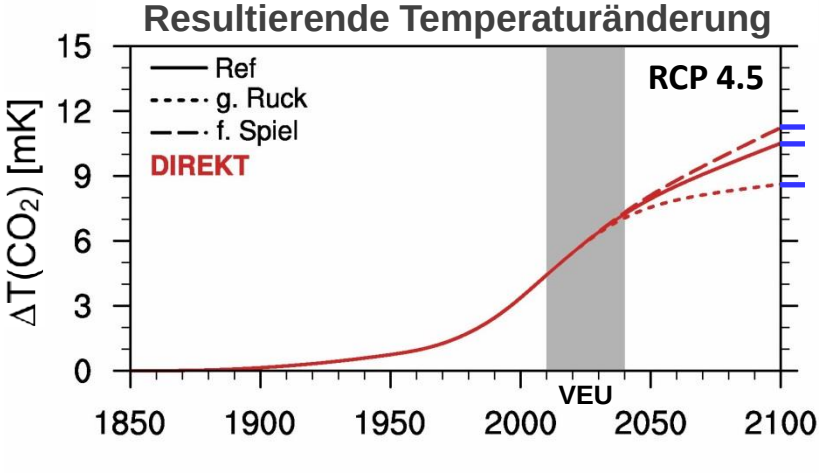
Ozon:
Die Erwärmung durch Ozon verstärkt die Wirkung des CO_2

Aerosolpartikel:
Die kühlende Wirkung von Partikeln hat eine große Bedeutung

Verkehr Deutschland: Keine Entwicklung im Sinne des 2°-Zieles bei Stillstand der Emissionsminderung nach 2040.

Wenn sich nach 2040 die Dekarbonisierung im Verkehr nicht fortsetzt ...



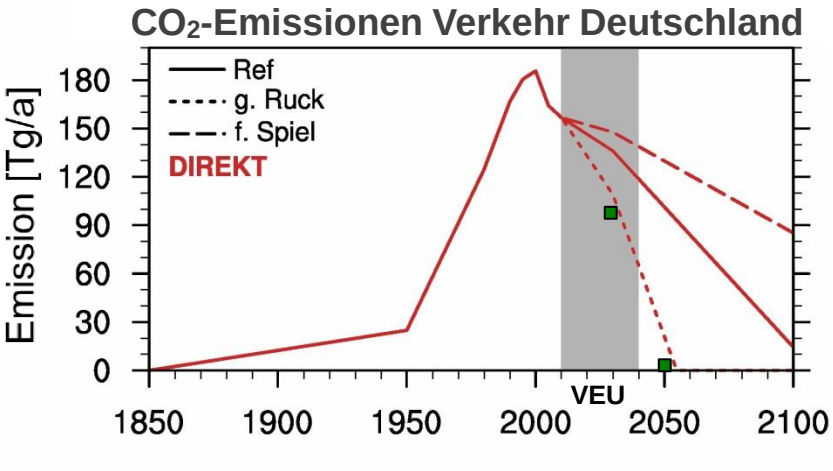


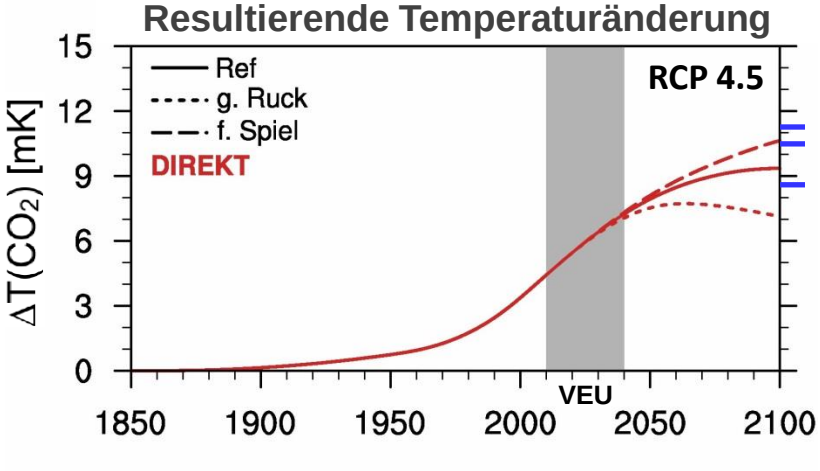
■ **Klimaschutzplan 2050**

Direkte Emissionen (Auspuffemissionen)

Verkehr Deutschland: Entwicklung im Sinne des 2°-Zieles bei Verstetigung der im „Geregelten Ruck“ eingeleiteten Emissionstrends nach 2040.

Wenn nach 2040 die Dekarbonisierung im Verkehr konsequent weitergeht …





- **Klimaschutzplan 2050**

Direkte Emissionen (Auspuffemissionen)

Fazit:

Luftqualität

- Die NO_2-Konzentrationen in Deutschland sinken bis 2040 um 40 bis 70% (je nach Region)
- Der Anteil des Verkehrs sinkt dabei bis 2040 von etwa 50% auf 25%
- Dieser Trend ist in allen Szenarien ähnlich ausgeprägt und betrifft ganz besonders die Ballungsräume

Klima

- Der deutsche Verkehr trägt deutlich zur globalen Erwärmung bei
- Der „geregelte Ruck“ befindet sich auf einem Pfad großer Minderung der CO_2-Emission
- Die Erfüllung des „Klimaschutzplans 2050“ gelingt dabei jedoch nur bei fortschreitender Dekarbonisierung auch nach 2040
- In diesem Fall kommt es zu einer Trendumkehr der verkehrsinduzierten Erwärmung, im Sinne des 2°-Zieles

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Projektleitung und Kontakt:
Stefan Seum
Institut für Verkehrsforschung
Stefan.Seum@dlr.de

Themensprecherin DLR Programmthema Verkehrssystem:
Prof. Dr. Barbara Lenz
Institut für Verkehrsforschung
Barbara.Lenz@dlr.de

DLR

Helmholtz-Zentrum Geesthacht