

# MOBILITÄT, VERKEHR UND MODELLE

Impulsvortrag Mobilität beim bpb GameJam, 7.7.2023, Wiesbaden  
Daniel Krajzewicz  
Institut für Verkehrsforschung, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt



# Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt

## Überblick



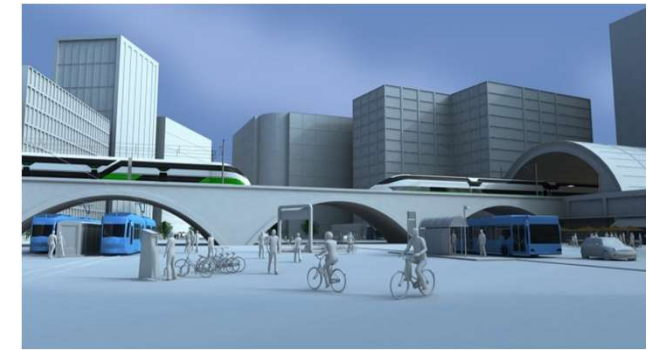
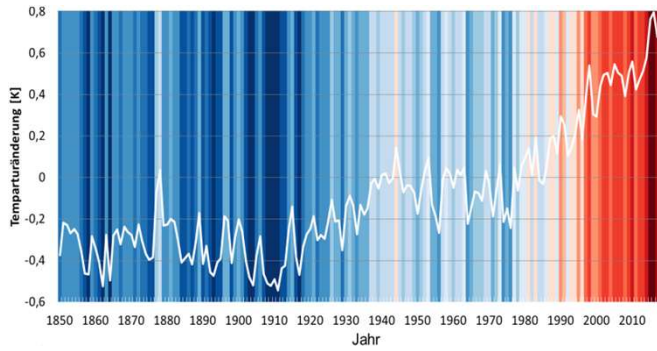
- Unsere Mission: Wir erforschen Erde und Weltall und entwickeln Technologien für eine nachhaltige Zukunft.
- Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten in den Bereichen



- Europas größte Forschungsorganisation mit mehr als 10.000 Mitarbeitenden
- 55 Institute/Einrichtungen an 30 Standorten in Deutschland; Büros in Brüssel, Paris, Tokio und Washington; Raumfahrtagentur und Projektträger
- Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

# Der Verkehr im DLR

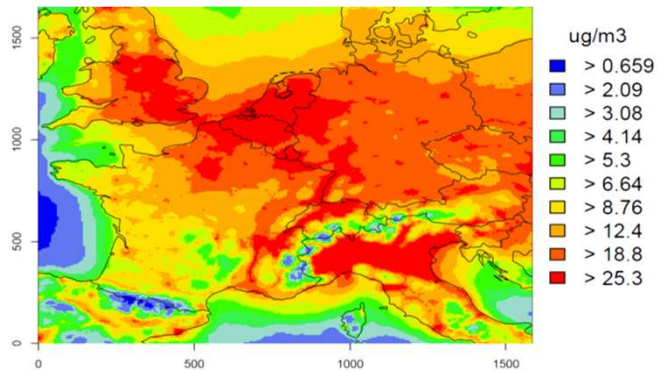
## Strategische Ausrichtung



Schutz des Klimas

Transformation

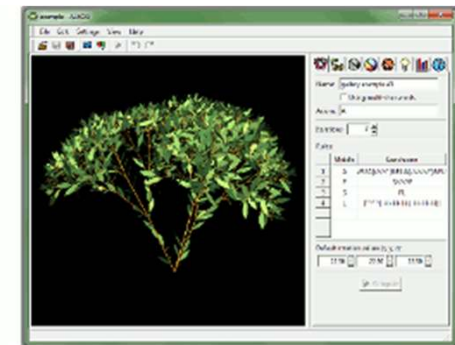
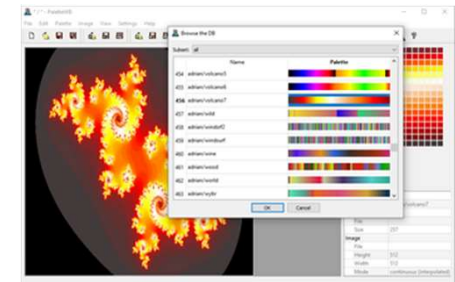
Sicherung der Mobilität



# Daniel Krajzewicz



- Daniel Krajzewicz, Diplom-Informatiker (TU Berlin)
- Seit 2001 am DLR
  - 2001-2015: Mitarbeit an der open source Verkehrsflusssimulation SUMO
  - 2015-2018: Mitarbeit am open source agentenbasierten Nachfragemodell TAPAS
  - 2016-: Implementierung eines open source-Werkzeugs zum Berechnen von Erreichbarkeitsmaßen
- ... und Hobby-Programmierer, siehe z.B. <https://dkrajzew.itch.io/>



# Grober Inhalt



- Mobilität
- Fahrzeuge, Fahrzeugkonzepte und Mobilitätsangebote
- Städte, Infrastrukturen und Soziales
- Modelle: Vier-Stufen-Modell, TAPAS, SUMO

# Mobilität

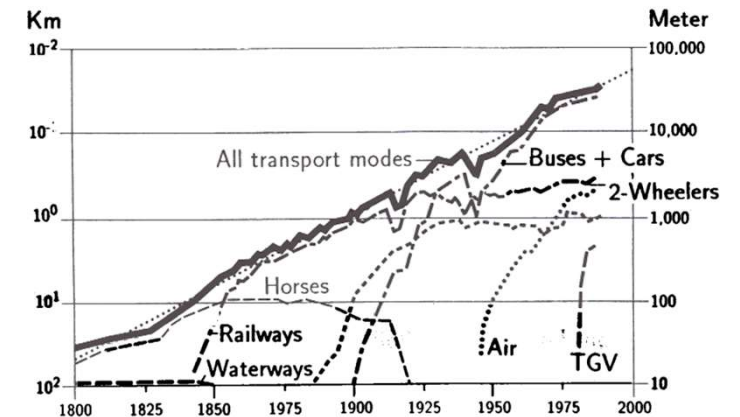


# Reisezeit am Tag

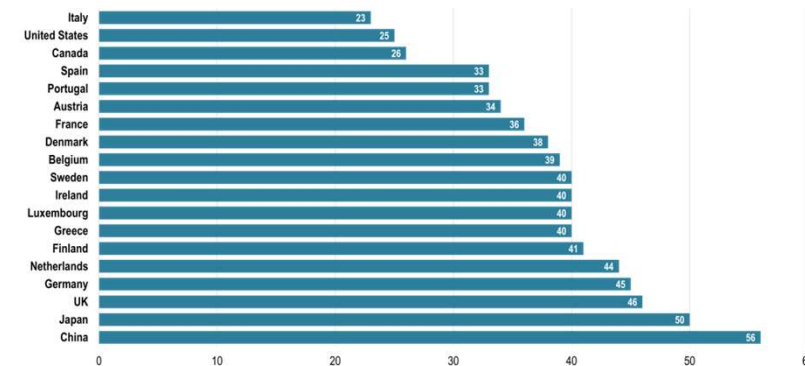
## Eine anthropologische Konstante?



- Es gibt die Theorie, dass Menschen über die letzten Jahrtausende(!) stets die gleiche Menge an Zeit am Tag für Mobilität aufgewendet hätten (Marchetti-Konstante)
- Und zwar ca. eine Stunde pro Tag
- Was sich ändert, sind die Geschwindigkeit und damit die Reiseweiten
- Aber: die eine Stunde ist natürlich nur eine Annäherung, es gibt Unterschiede in Abh. von der Stadtform und -größe oder vom Einkommen



C. Marchetti (1994) Anthropological Invariants in Travel Behavior; In: Technological Forecasting and Social Change 47, S. 75-88



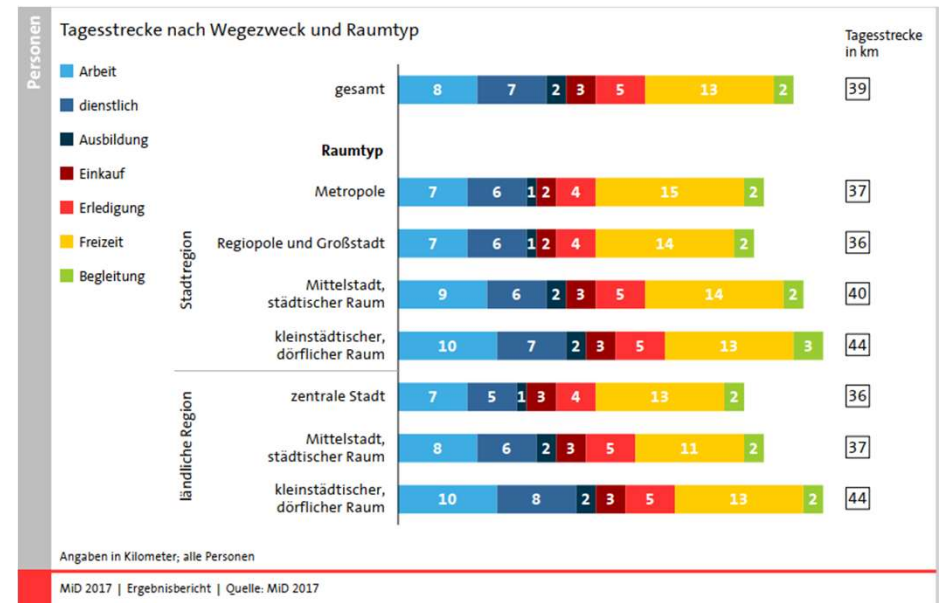
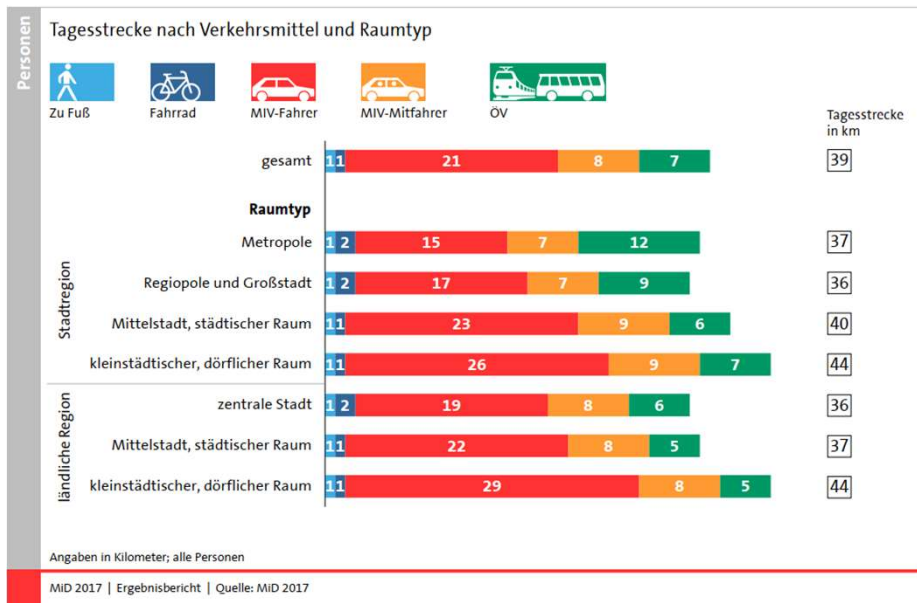
Quelle: [The Geography of Transport Systems](#)

# Modal Split und Aktivitäten



- Motorisierter Individualverkehr (MIV) dominiert
- ÖPNV hauptsächlich in Metropolen

- Die meiste Fahrleistung für Freizeit
- Arbeit / Ausbildung an zweiter / dritter Stelle





# Aktivitäten MiD (fein)



## Einkauf

täglicher Bedarf	sonstige Waren	allgemeiner Einkaufsbummel
Dienstleistungen (Friseur, Schuster etc.)	sonstiger Einkaufszweck	Einkauf, keine Angabe zum Detail

## priv. Erledigung

Arztbesuch, andere medizinische Dienstleistungen	Behörde, Bank, Post, Geldautomat	private Erledigung für andere Person (unentgeltlich)
sonstiger Erledigungszweck	Betreuung Familienmitglieder, Bekannter	Erledigung, keine Angabe zum Detail

## Freizeit

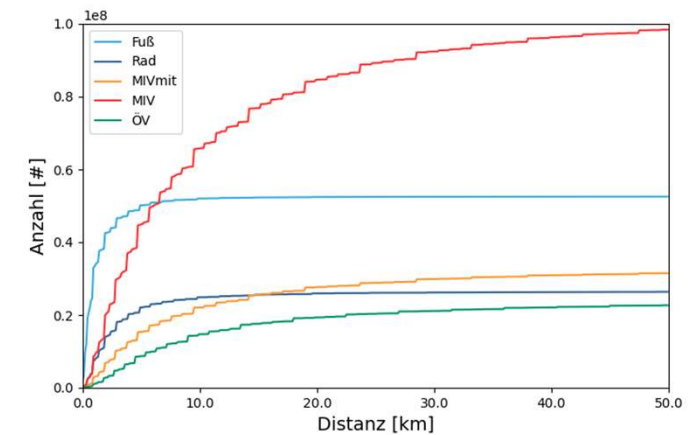
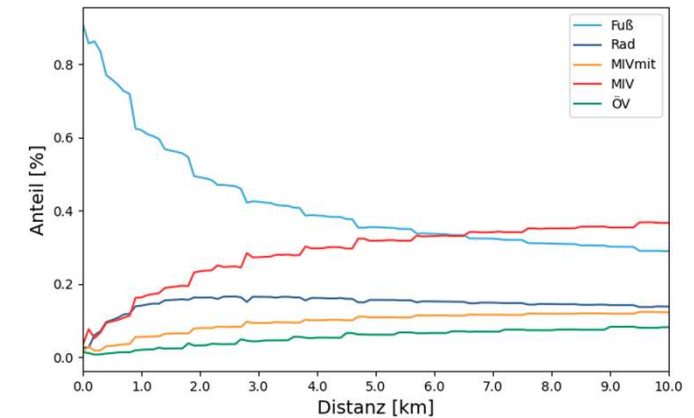
Besuch/Treffen von Freunden, Verwandten, Bekannten	Besuch kultureller Einrichtung (z.B. Kino, Theater, Museum)	Besuch einer Veranstaltung (z.B. Fußballspiel, Markt, Popkonzert)
Sport (selbst aktiv), Sportverein (z.B. Fußball, Tennis, Training, Wettkampf)	Weiterbildung (z.B. Sprachkurs, Volkshochschule etc.)	Restaurant, Gaststätte, Mittagessen, Kneipe, Disco etc.
Schrebergarten, Wochenendhaus	Tagesausflug, Kurzreise bis zu 3 Übernachtungen	Urlaub (ab 4 Übernachtungen)
Spaziergang, Spazierfahrt	Hund ausführen	Joggen, Inlineskating etc.
Kirche, Friedhof	Ehrenamt, Verein, politische Aktivitäten	Jobben in der Freizeit gegen Entgelt (z.B. Zeitungen austragen)
Begleitung von Kindern (z.B. Spielplatz etc.)	Hobby (z.B. Musizieren)	Spielplatz, Spielen auf der Straße etc.
sonstiger Freizeitzweck	Freizeit, keine Angabe zum Detail	

# Modal Split

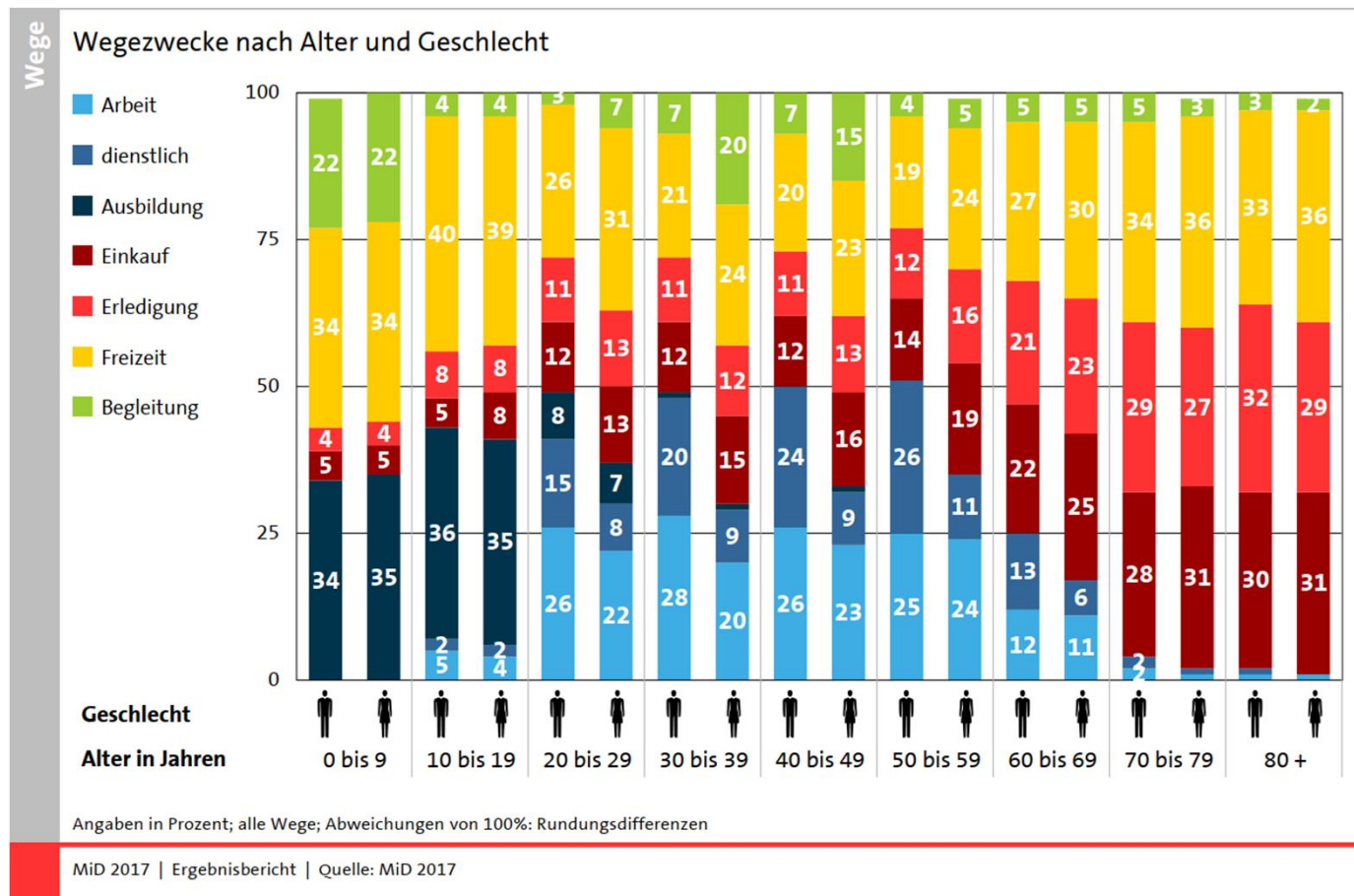
(Verteilung auf Verkehrsmodi)



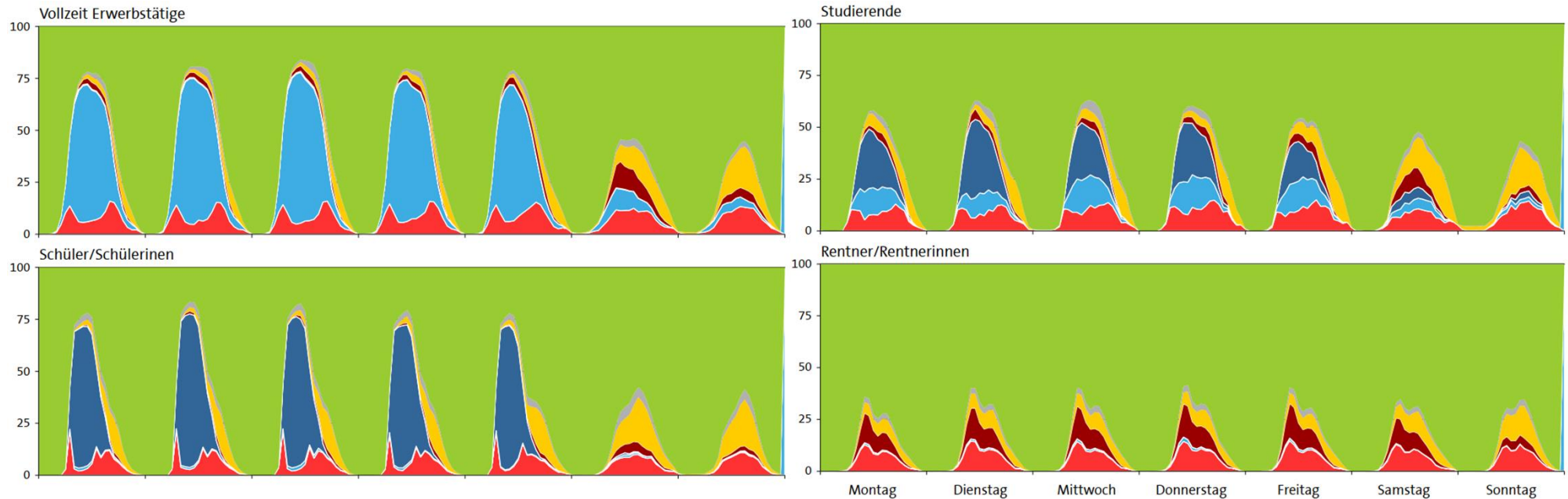
- Bis 6 km Weite laufen wir noch recht häufig (obwohl man mehr als eine Stunde für 6 km braucht)
- Ab dann fahren wir meistens mit dem Auto
- Ca. die Hälfte aller Pkw-Wege ist kürzer als ~8 km
- Mit dem Fahrrad wird selten weiter als 10 km gefahren



# Wegezwecke und geschlechterspezifische Mobilitätsunterschiede



# Aufenthaltorte im Wochenverlauf



■ Unterwegs   
 ■ Arbeit, Dienstlich   
 ■ Schule, Ausbildung   
 ■ Einkaufen, Erledigung   
 ■ Freizeit   
 ■ Sonstiges   
 ■ Zuhause

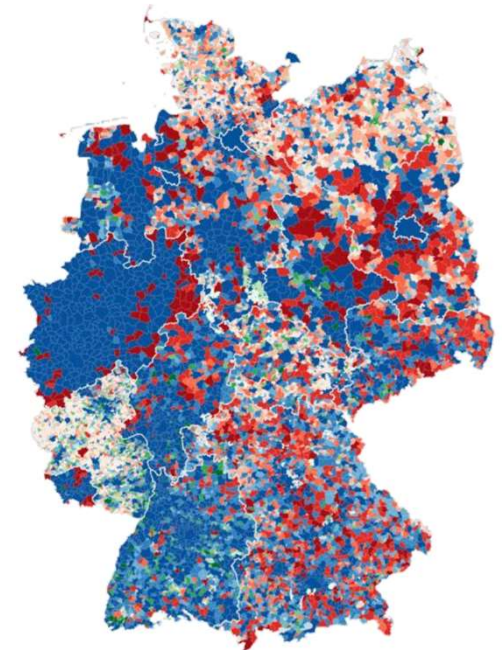
Anteile von Personen nach Aufenthaltsorten

Quelle: MiD 2017

# Städte vs. ländliche Gebiete



- Angebote (Aktivitäten) tragen sich in ländlichen Gebieten nicht, aufgrund der schwachen Besiedelung
- Das gilt auch für Mobilitätsangebote
- Diskutierte Lösungen
  - Bedarfsgerechte Angebote – Rufbusse, kleine Schienenkapseln – sind in der Diskussion
  - Kombination von Personen- und Gütertransport
  - Eine aktuelle Idee: andersrum denken, Aktivitäten kommen zu den Dörfern, z.B. kommt einmal die Woche der Friseur
  - Von Lkws abgesetzte Drohnen für die Belieferung
- Hoffnung auf autonome Fahrzeuge; durch den Wegfall des Fahrers sind diese kostengünstiger



Anzahl Schüler	Schnell	Mittel	Langsam
> 253	Dark Green	Dark Blue	Dark Red
> 98 – 253	Light Green	Light Blue	Light Red
> 42 – 98	Very Light Green	Very Light Blue	Very Light Red
> 18 – 42	White	White	White
0 – 18	White	White	White

Zugangszeiten zu und Auslastung von Schulen

# Fahrzeuge und Mobilitätsangebote

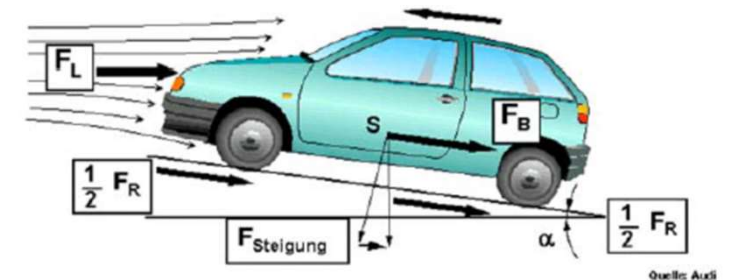


# Emissionen

## Unterschiede und Modelle



- Fahrzeuge stoßen verschiedene Schadstoffe aus
- Es gilt zu trennen zwischen
  - klimaschädlichen Gasen (hauptsächlich CO<sub>2</sub>)
  - gesundheitsschädlichen Gasen und Partikeln
    - CO: giftig
    - PMx: krebserregend (auch aus Reifenabrieb)\*
  - Gase, die die Entstehung gesundheitsschädlicher Gase fördern (NO<sub>x</sub> und HC führen zur Entstehung bodennahen Ozons)
- Immissionen viel komplizierter
  - Chemische Umwandlungsprozesse
  - Verwirbelungen und Transport



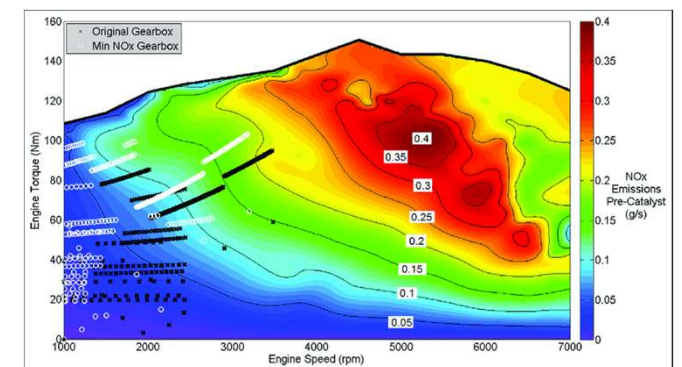
$$P_R = (m_{Vehicle} + m_{Load}) \times g \times (Fr_0 + Fr_1 \times v + Fr_4 \times v^4) \times v$$

$$P_{Air} = (Cd \times A \times \frac{\rho}{2}) \times v^3$$

$$P_a = (m_{Vehicle} + m_{Rot} + m_{Load}) \times a \times v$$

$$P_{grad} = (m_{Vehicle} + m_{Load}) \times Gradient \times 0.01 \times v$$

$$\eta_{gearbox} = 0.95 \text{ (average efficiency)}$$



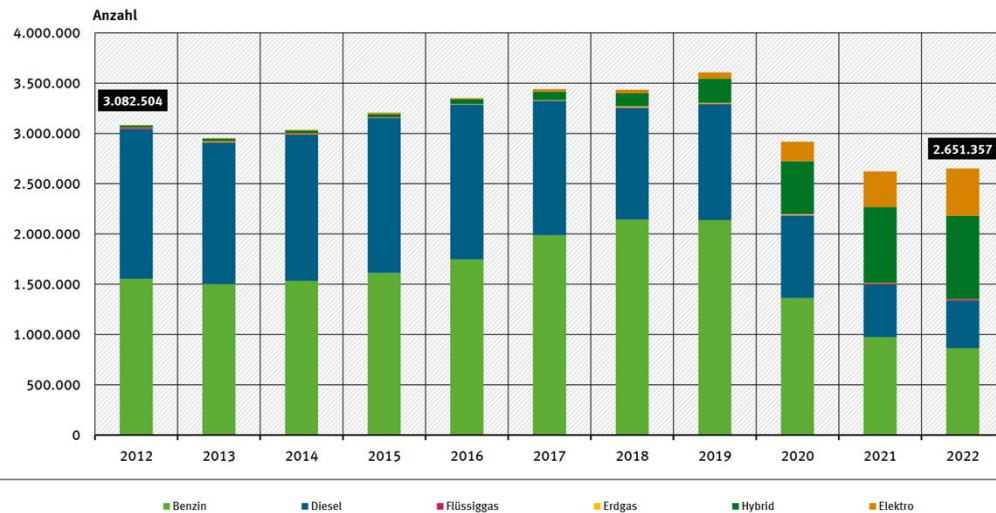
\*1,3 kg pro Kopf und Jahr

# Entwicklung der Fahrzeugflotte



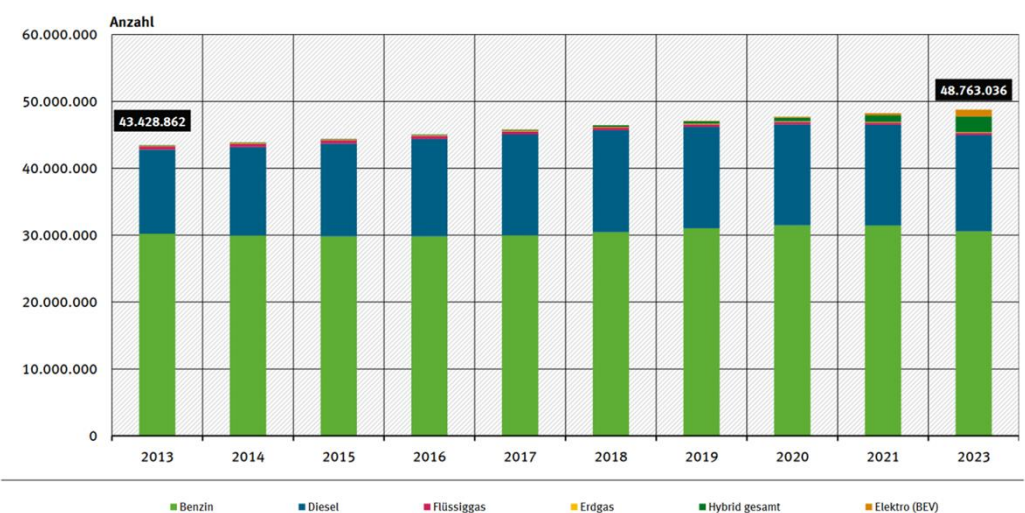
- Die Menge der Pkws in Deutschland wächst
- Es werden zunehmend Elektrofahrzeuge gekauft, aber der Anteil ist immer noch gering

Entwicklung der Pkw-Neuzulassungen nach Kraftstoffart



Quelle: Bundesministerium für Digitales und Verkehr (Hrsg.), Verkehr in Zahlen 2022/2023, S. 144 und ältere Jahrgänge; Kraftfahrt-Bundesamt, Jahresbilanz der Neuzulassungen [https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Neuzulassungen/Jahresbilanz\\_Neuzulassungen/Jahresbilanz\\_node.html](https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Neuzulassungen/Jahresbilanz_Neuzulassungen/Jahresbilanz_node.html) (28.03.2023)

Entwicklung der Pkw im Bestand nach Kraftstoffart



Quelle: Bundesministerium für Digitales und Verkehr (Hrsg.), Verkehr in Zahlen 2022/2023, S. 144 und ältere Jahrgänge; Kraftfahrt-Bundesamt, Jahresbilanz des Fahrzeugbestandes zum 1.1. des jeweiligen Jahres, Daten zu Segmenten im Bestandsbarometer [https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/Jahresbilanz\\_Bestand/fz\\_b\\_jahresbilanz\\_node.html?yearFilter=2023](https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/Jahresbilanz_Bestand/fz_b_jahresbilanz_node.html?yearFilter=2023) (28.03.2023)

Quelle: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/verkehr/verkehrsinfrastruktur-fahrzeugbestand#stark-steigende-tendenz-bei-suvs-und-gelandewagen>

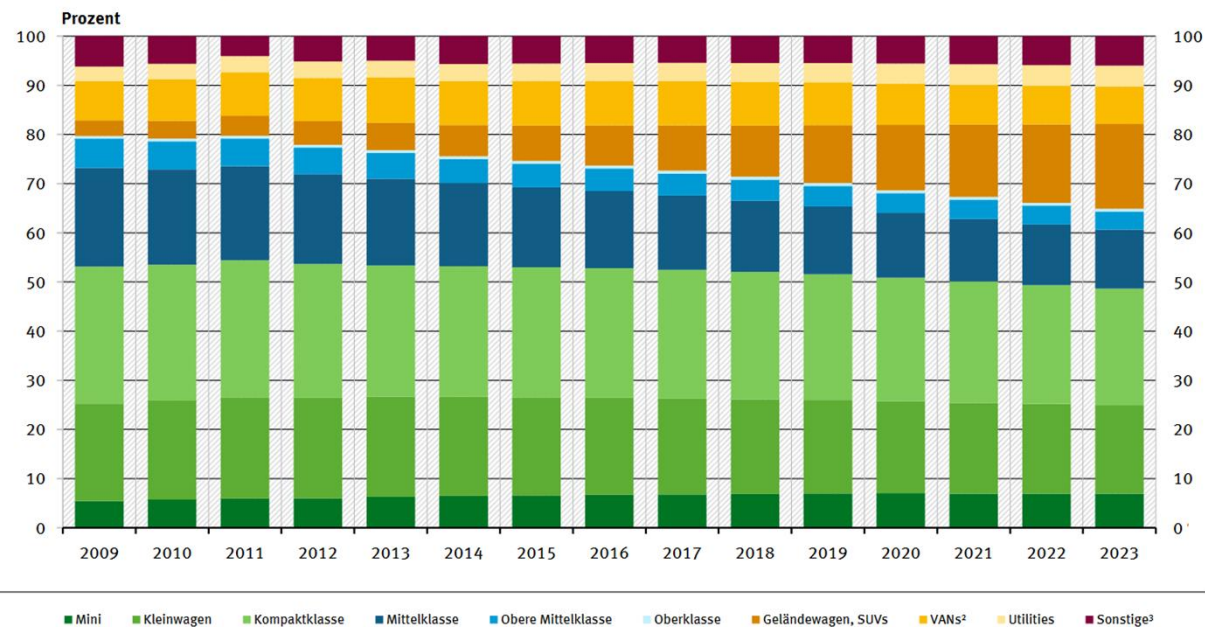


# Entwicklung der Fahrzeugflotte



- Und: es werden zunehmend große Fahrzeuge (SUVs) gekauft

Pkw-Bestand nach Segmenten<sup>1</sup>



<sup>1</sup>Die Gliederung der Pkw-Modelle nach Segmenten wird vom Kraftfahrt-Bundesamt aufgrund optischer, technischer und marktorientierter Merkmale für Fahrzeuge ab Zulassung 1990 vorgenommen. M1-Fahrzeuge einschließlich Fahrzeuge mit besonderer Zweckbestimmung (zum Beispiel Wohnmobile und Krankenwagen).

<sup>2</sup> Mini- und Großraum-Vans  
<sup>3</sup> einschließlich Sportwagen und Wohnmobile

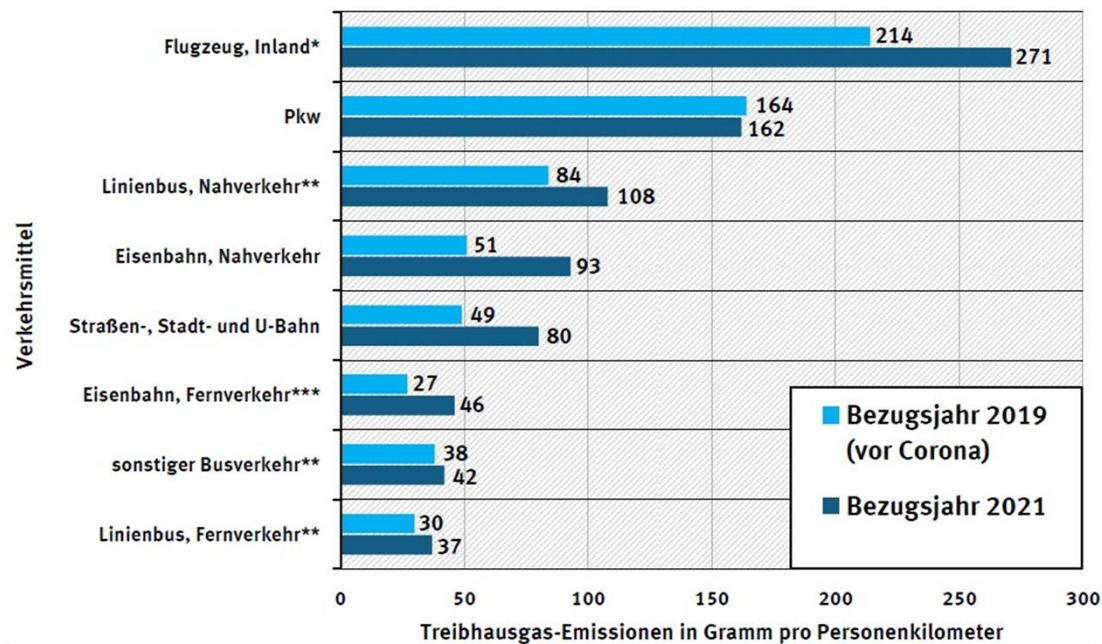
Quelle: Bundesministerium für Digitales und Verkehr (Hrsg.), Verkehr in Zahlen 2022/2023, S. 145 und ältere Jahrgänge; Kraftfahrt-Bundesamt, Jahresbilanz des Fahrzeugbestandes zum 1.1. des jeweiligen Jahres, Daten zu Segmenten im Bestandsbarometer [https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/Jahresbilanz\\_Bestand/fz\\_b\\_jahresbilanz\\_node.html?yearFilter=2023](https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/Jahresbilanz_Bestand/fz_b_jahresbilanz_node.html?yearFilter=2023) (28.03.2023)

# Emissionen

## Emissionen nach Verkehrsträgern



Vergleich der durchschnittlichen Treibhausgas-Emissionen einzelner Verkehrsmittel im Personenverkehr in Deutschland



g/Pkm = Gramm pro Personenkilometer; CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O angegeben in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten inkl. der Emissionen aus Bereitstellung und Umwandlung der Energieträger in Strom, Benzin, Diesel, Flüssig- und Erdgas sowie Kerosin

\* inkl. Nicht-CO<sub>2</sub>-Effekte

\*\* vorläufige Werte für 2021

\*\*\* Die in der Tabelle ausgewiesenen Emissionsfaktoren für die Bahn basieren auf Angaben zum durchschnittlichen Strom-Mix in Deutschland. Emissionsfaktoren, die auf unternehmens- oder sektorbezogenen Strombezügen basieren (siehe z. B. den „Umweltmobilcheck“ der Deutschen Bahn AG), weichen daher von den in der Grafik dargestellten Werten ab.

Für Informationen zu den Emissionen aus Infrastruktur- und Fahrzeugbereitstellung siehe UBA-Broschüre „Umweltfreundlich mobil!“

Quelle: Umweltbundesamt, TREMOD 6.42 (12/2022)

# Neue Mobilitätskonzepte

## Sharing



- Digitalisierung ist der Treiber für neue Mobilitätskonzepte
- Free-floating Sharing ist eines davon...
  - Fahrzeuge können beliebig abgestellt werden
  - Ggf. werden ihre Positionen in einer App dargestellt
  - Können vor-Ort „gebucht“ / benutzt werden
  - Fahrt wird nach Weite / Dauer abgerechnet
- Hohes Potential an Einsparung von Fahrzeugen bei ausreichendem Angebot
- Aber: zumeist nur in Innenstädten verfügbar, dort, wo es auch ein gutes ÖPNV-Angebot gibt



DLR



DLR

# Neue Mobilitätskonzepte

## moderne Rufbusse



- Rufbusse werden zunehmend diskutiert und eingesetzt
- Ein bedarfsgerechtes Angebot vermeidet leere Linienverkehre nach Takt
- Einsparungen in Fahrern und Emissionen möglich
- Moderne Varianten bauen sich ihre Routen aus den Passagierwünschen, nehmen entlang dieser dynamischen Routen Passagiere auf und setzen sie ab
- Algorithmisches Problem: optimale Routen
- Aber:
  - nicht alle sind bereit, einen Bus über eine App zu buchen, manche möchten telefonieren
  - Manche haben die Befürchtung, durch Umwege nicht rechtzeitig anzukommen (z.B. zum Bahnhof) – Stichwort Reisezeitvariabilität
  - Kapazität nicht ausreichend, um die arbeitende Bevölkerung einer Großstadt zu befördern – hier auch keine Emissionsreduktion



<https://www.autozeitung.de/>



DLR

# Neue Mobilitätskonzepte

## Autonome Fahrzeuge



- Idee: Fahrzeuge brauchen keinen Fahrer, erkennen die aktuelle Verkehrssituation, reagieren drauf
- Verschiedene Einsatzmöglichkeiten
  - Im privaten Besitz: wie eigener Pkw, nur eben hands-off, Mehrfachnutzung möglich
  - Als geteilt genutzte Fahrzeugflotte: nacheinander wie ein Pkw; nimmt eine Person auf, bringt sie zum Ziel, fährt zur nächsten Person
  - Als ÖPNV-Angebot: entweder auf einer Linie (Massenverkehrsmittel Bus / Bahn) oder wie ein Rufbus auf Anfrage; sparen Kosten, da der Fahrer wegfällt
- Eine geteilt nutzbare Pkw-Flotte könnte 90 % der aktuellen Pkws überflüssig machen
- Aber: die Technologie ist noch nicht soweit...



DLR



DLR

# Neue Mobilitätskonzepte

## Drohnen und VTOL-Angebote



- Verschiedene Einsatzmöglichkeiten
  - VTOL: Wie Taxis, nur schneller
  - Drohnen: Insbesondere für Belieferung in ländlichen Gebieten interessant
- Theoretisch nachhaltig, da elektrisch angetrieben
- VTOLs könnten ein tatsächlich finanziell tragbares Konzept sein
- Aber:
  - für die Belieferung Berlins wäre am Himmel alle 100 m eine Drohne...
  - Und noch sind sie nicht leise



DLR



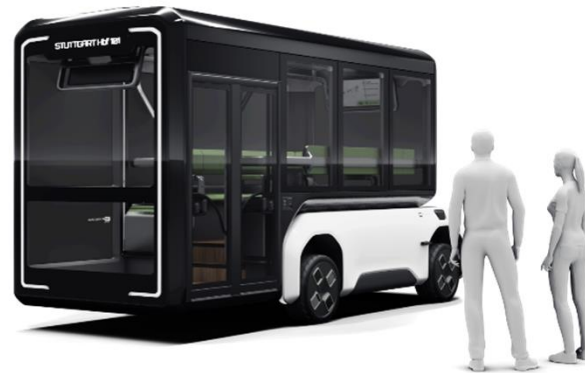
DLR

# Neue Mobilitätskonzepte

## Das U-Shift-Fahrzeugkonzept



Driveboard



Personenkapsel



Güterkapsel

- Flexibler Transport von Personen oder Gütern mit automatisiertem U-Shift Driveboard mit elektrischem Antriebsstrang
- Personenkapsel für öffentliche Verkehrsmittel, 8 Sitzplätze, integrierte Rampe für Personen mit Rollstuhl/Kinderwagen etc.
- Güterkapsel für 3 - 4 Europaletten mit einer Nutzlast von 2.000 kg

# Neue Mobilitätskonzepte

## Cargo Bikes



Pizza delivery bike



Tricycle, front load



Heavy load tricycle



Long John bike



“Specialist” CB



Longtail bike

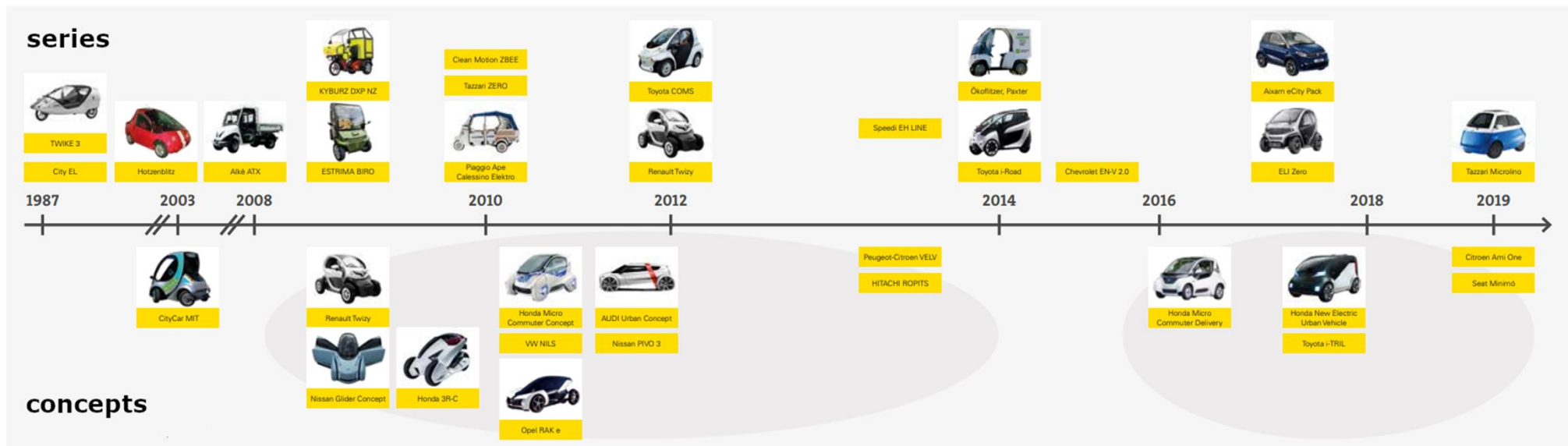


# Neue Mobilitätskonzepte

## LEVs – Light Electric Vehicles



Safe Light Regional Vehicle, DLR



[https://www.dlr.de/fk/PortalData/40/Resources/LEV\\_e-mobil\\_BW\\_Leichtfahrzeug\\_Studie.pdf](https://www.dlr.de/fk/PortalData/40/Resources/LEV_e-mobil_BW_Leichtfahrzeug_Studie.pdf)

# Neue Mobilitätskonzepte

... worüber wir nicht gesprochen haben



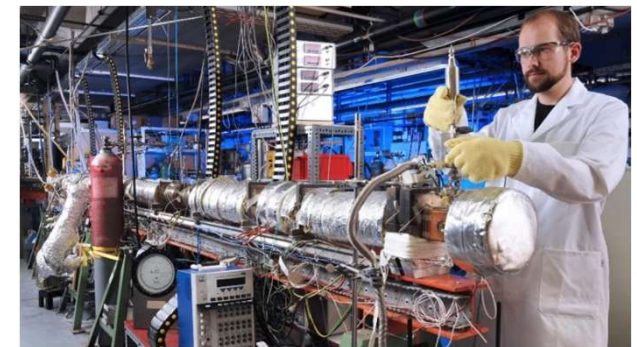
- Pedelecs, eScooter
- Rollende Bürgersteige, Seilbahnen
- Verkehr in den Untergrund
- Zeppeline
- Hyperloops
- Wasserstoff
- Oberleitungs-Lkws
- Induktives Laden
- Synthetische Kraftstoffe



SCANIA



Alstom



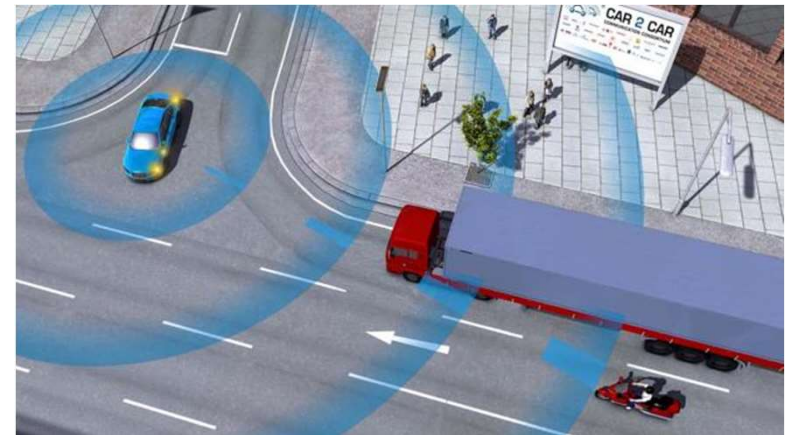
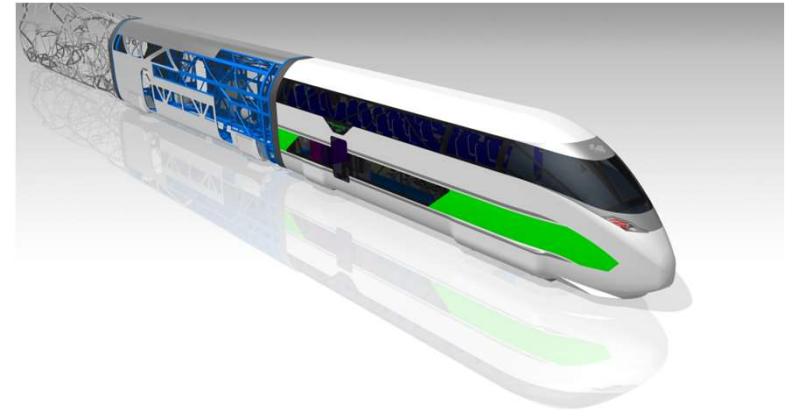
DLR

# Digitalisierung

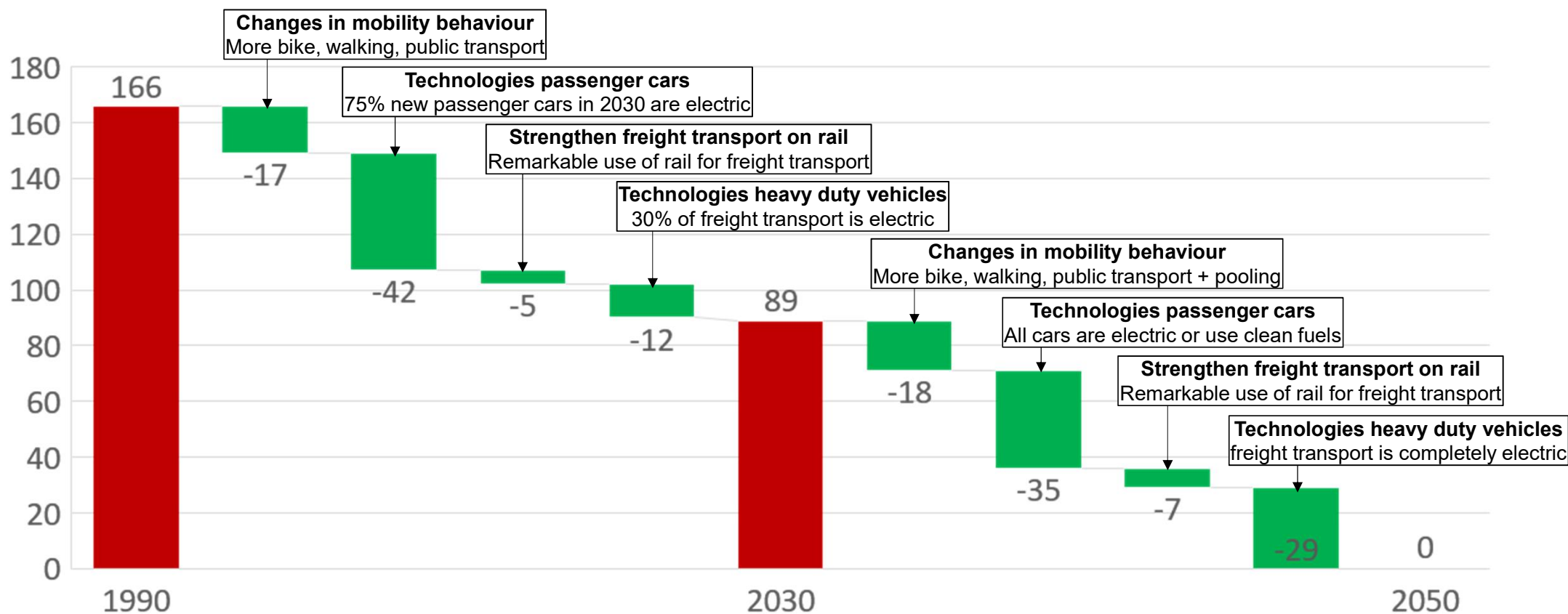
## Diverse andere Entwicklungen



- Fahrzeug-Fahrzeug-Kommunikation
- Indoor-Navigation
- Moderne Bildauswertung für hochgenaue und aktuelle Karten
- Neue Zugkonzepte



# Verkehrswende ... wie es klappen könnte



Based on Öko-Institut, 2020

# Städte, Infrastruktur und Soziales



# Charta von Athen

## Trennung Wohn- und Arbeitsort



- 1933 als Ideal diskutiert, ab Ende des 2. Weltkriegs umgesetzt
- Das Ideal: räumliche Trennung verschiedener Stadtfunktionen – auch um z.B. Industrie von Wohnflächen zu trennen
- Aber: die räumliche Trennung musste überwunden werden, Verkehrsinfrastruktur Gegenwurde ausgebaut
- Viele meinen, das sei die Grundlage für die heutige Verkehrsproblematik
- Erst ab den 1970er Jahren eine Steuerung
- Sog. Landnutzungsmodelle versuchen, die Entwicklung von Städten abzubilden

# Verkehr und Flächenentwicklung



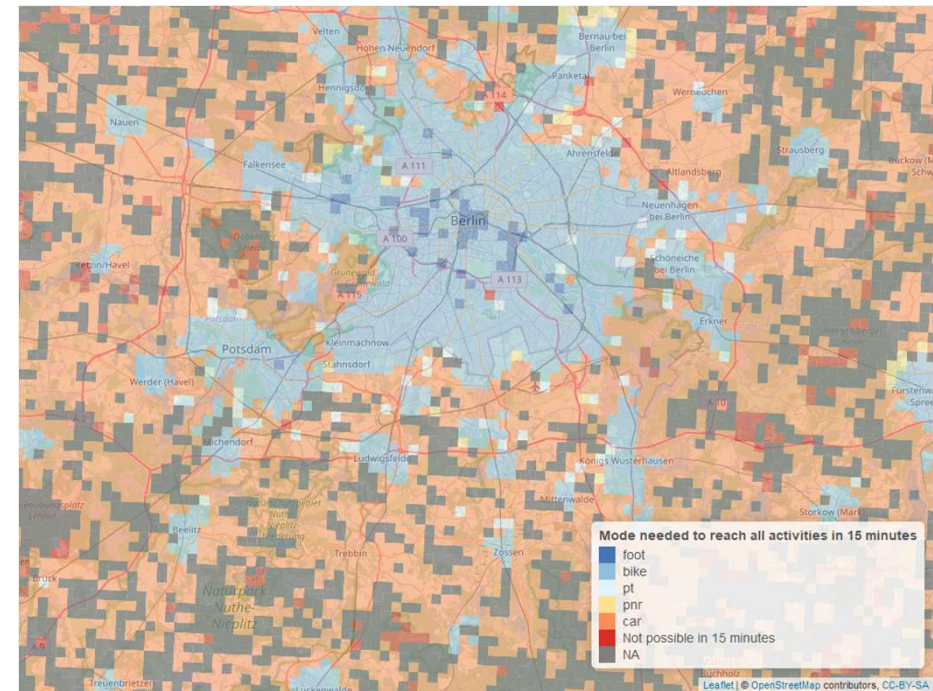
- Induzierter Verkehr
  - Wenn Straßen verbreitert werden, werden Staus reduziert, die Nutzung steigt
  - Wenn neue Straßen gebaut werden, siedeln sich neue Strukturen (Firmen, Geschäfte, ggf. auch Bewohner) an diesen an, die selbst Verkehr produzieren
  - Zusätzliche Straßen führen zu mehr Verkehr
- Verödung Innenstädte
  - Vor allem Wohlhabendere ziehen ins Umland, die Kaufkraft in den Städten sinkt, damit die Diversität, wodurch die Städte weiter an Attraktivität verlieren

# Neue Stadtkonzepte

## Stadt der 15 Minuten



- Das Konzept der Stadt der 15 Minuten ist aktuell sehr präsent
- Alle Ziele, die am Tag aufgesucht werden müssten sollen innerhalb von 15 Minuten zu Fuß oder mit dem Rad erreicht werden können
- Verspricht
  - Stärkung aktiver Modi
  - Stärkung des sozialen Zusammenhalts, weil mehr Menschen auf der Straße sind
  - Strukturelle Stärkung von Innenstädten
  - Reduktion des motorisierten Verkehrs und damit der Belastungen durch Lärm und Abgase
  - Verbesserung der Verkehrssicherheit
- Aber:
  - Aktivitätsorte müssen neu im Raum verteilt werden
  - Ggf. Infrastruktur für aktive Modi verbessert werden





# Neue Stadtkonzepte Flächenumwidmung

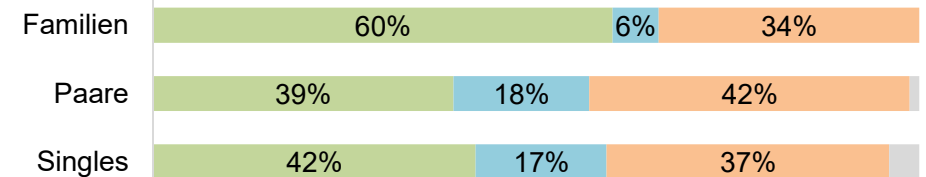


Quelle: Googlemaps

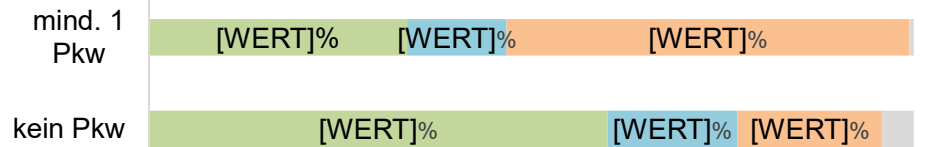


Quelle: Nähring (DLR)

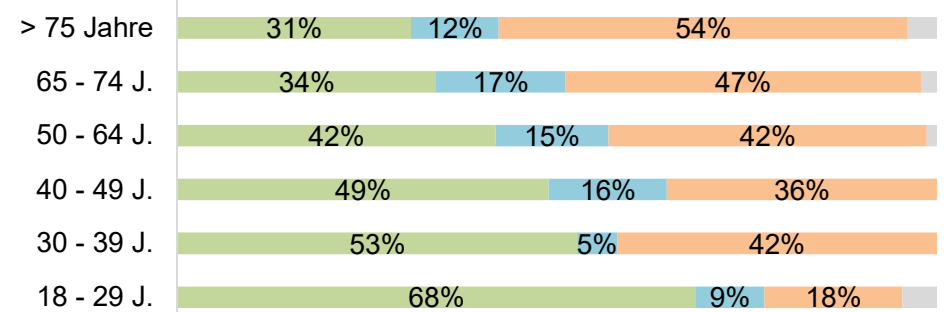
## Einstellung nach Haushaltstyp



## Einstellung nach Pkw im Haushalt



## Einstellung nach Altersgruppen



■ positiv ■ neutral ■ negativ ■ weiß nicht DLR (k.D.)

# Inklusion



- In der Wissenschaft wird eine Vielzahl möglicher Gründe für eine Exklusion von Mobilität diskutiert und bearbeitet
  - Körperliche und geistige Einschränkungen
  - Analphabetismus oder fehlende Sprachkenntnisse
  - Finanzielle Situation
  - Zeitmangel / familiäre Situation
  - Kinder und Alte
  - Ggf. kulturelle Besonderheiten
- Letztens in Angriff genommen: Crash-Dummies mit weiblichen Körpermaßen

# Kategorien von Hindernissen



- **Umstiege/Fahrtzeit**
  - Lange Umstiegs- und Wartezeiten, kurze Umstiegs- und Wartezeiten, die Reise erfordert mehrmaliges Umsteigen, fehlende Verfügbarkeit von anderen Verkehrsmitteln (Leihfahrräder, Carsharing, Taxi)
- **Reisekomfort**
  - Keine Sitzmöglichkeiten in Zügen, keine Sitzmöglichkeiten an Haltestellen, fehlende Halte und Griffe in Zügen oder Bussen, keine Toiletten im Verkehrsmittel oder Haltestellen, keine Möglichkeit zum Fahrkartenkauf
- **Kommunikationsqualität/Orientierung**
  - Das Preissystem muss sorgfältig studiert werden, um es zu verstehen, Lage der Haltestellen sind schwer zu finden, Umsteigeverbindungen sind schwer zu finden, fehlende Information über Weiterfahrtmöglichkeiten
- **Erfahrung**
  - Unbekannte oder neue Verkehrsmittel (z.B. E-Scooter, Carsharing)
- **Aufenthalts- und Umgebungsqualität**
  - Viele Menschen auf Wegen, an Haltestellen oder in Verkehrsmitteln, die Luft auf Wegen oder an Haltestellen ist mit Abgasen belastet, es ist sehr laut auf Wegen, an Haltestellen und in Verkehrsmitteln, verschmutzte Verkehrsmittel oder Haltestellen, kein Schutz vor Regen an Haltestellen oder auf Wegen, kein Schutz vor Sonne an Haltestellen oder auf Wegen
- **Erreichbarkeit/Barrierefreiheit (physisch und digital)**
  - Treppen, Rolltreppen, enge/schmale Gehwege, Toiletten sind nicht barrierefrei, Zugänge zu Bahnhöfen und Haltestellen/Rampen sind nicht barrierefrei, keine Hilfe beim Ein- und Aussteigen, keine taktilen Orientierungshilfen oder Leitsysteme, keine Sprachausgabe z.B. zu Abfahrten und Verspätungen, Handling zur Durchführung von Online-Buchungen kompliziert, Nutzung der Reiseauskunft auf dem Handy nicht barrierefrei
- **Sicherheit**
  - Auto- und Fußverkehr sind nicht klar voneinander getrennt, kein Fußgängerüberweg um Straße zu überqueren, Schlecht beleuchtete Wege und Haltestellen, bedrohlich wirkende Personen in Verkehrsmitteln und an Haltestellen, keine/kaum Menschen auf Wegen, an Haltestellen oder in Verkehrsmitteln

# Digitalisierung und Stadt SmartCity



- Eine SmartCity optimiert Verkehr, Energie (Strom / Wärme) und Wasserwirtschaft
- Verkehrsbezüge:
  - Bidirektionales Laden nutzt Fahrzeuge als Stromspeicher; können nachts oder wenn viel Strom vorhanden ist geladen werden und geben Strom wieder ab, wenn er benötigt wird → Netzstabilisierung
  - Konkurrenz um Fläche zwischen Verkehr und Abwasser
- Verkehrssystem der Zukunft:
  - Fahrten sind vorab geplant, werden hinsichtlich des Systems optimiert
  - Vorfahrt an LSAs und schnellere Spuren, wenn hierfür bezahlt wird
  - Autos unterhalten sich untereinander und mit dem System über Gefahren
  - Optimierung der Geschwindigkeit um Verkehr zu verflüssigen

# Modelle



# Simulation der Mobilität

## Vier-Stufen-Modell



- Das Vier-Stufen-Modell ist die am meisten etablierte Methode um das Verkehrsaufkommen zu bestimmen
- Ein Gebiet wird in verhaltenshomogene „Verkehrszellen“ unterteilt
- Es besteht aus vier Stufen...
  1. Verkehrsgenese  
Für jedes Gebiet wird die Fahrtenanzahl berechnet ( $\text{Anzahl Personen} * \text{Wegeanzahl pro Person}$ )
  2. Verkehrsverteilung  
Die Zielzellen werden bestimmt (über statistische Verteilung der Wegelängen oder über eine Zielwahl)
  3. Moduswahl  
Die genutzten Verteilung auf die genutzten Verkehrsmodi wird berechnet (aus Statistiken, ggf. in Abhängigkeit von Wegeweite)
  4. Verkehrsumlegung  
Mit zunehmendem Verkehrsaufkommen entstehen mehr Verlustzeiten, vormals schnelle Routen werden langsamer. Eine „Umlegung“ berechnet die schnellsten Wege durch das Netz unter Last.

# Simulation der Mobilität

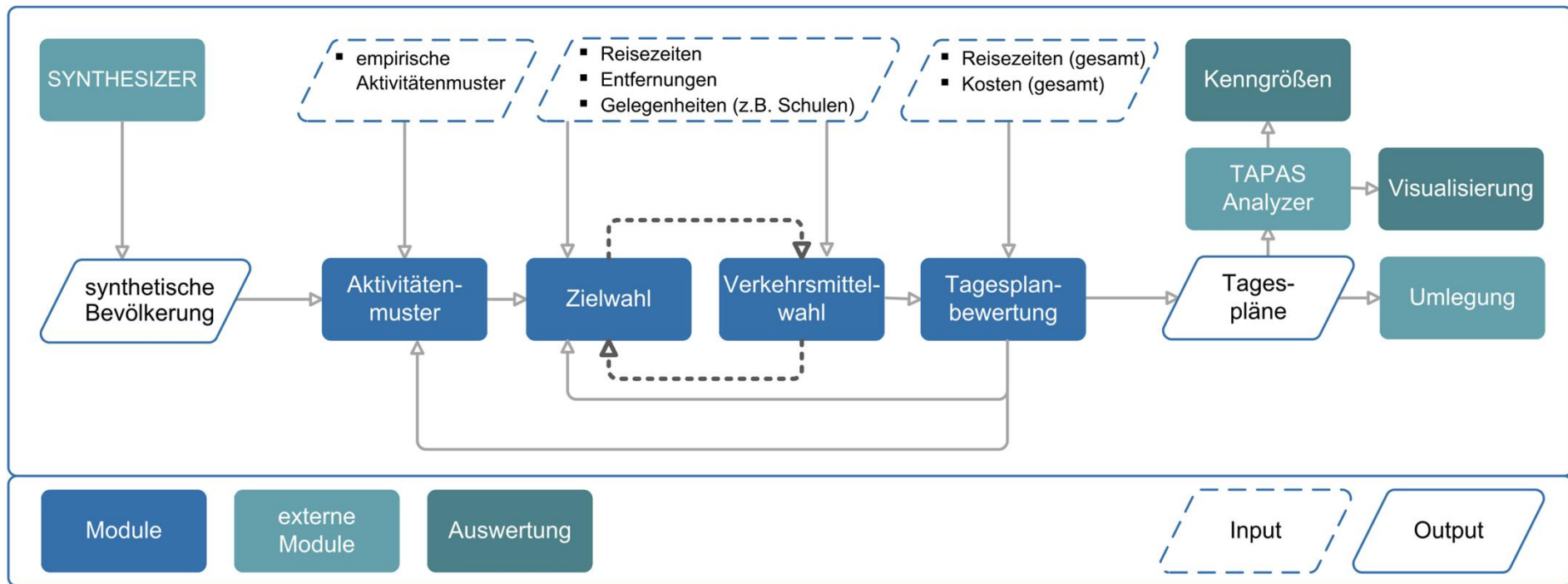
## Das agentenbasierte Nachfragemodell TAPAS



- TAPAS bildet alle Bewohner eines Gebietes individuell ab (Berlin: 3,8Mio)
  - Alter, Geschlecht, Erwerbstätigkeit, Mobilitätsbudget
  - Gruppiert zu Haushalten (z.B. um einen Pkw gemeinsam zu nutzen)
- Ablauf
  - Geht über die Haushalte und Personen
  - berechnet für jede Person die an einem Tag aufzusuchenden Ziele und mit welchem Verkehrsmittel sie erreicht werden
  - Beachtet Distanzen, Reisezeiten, Preise, etc.
- Ausgabe
  - Wegeketten über den Tag für jede simulierte Person

# Simulation der Mobilität

## Das agentenbasierte Nachfragemodell TAPAS





# Simulation der Mobilität

## Das agentenbasierte Nachfragemodell TAPAS



- Modell für die Wahl des Verkehrsmittels
  - Berechnung des Nutzens pro Modus mittels Discrete Choice anhand von Referenzdaten
  - Vorteile:
    - Kontinuierliche Veränderung bei Zeit, Alter, Kosten
    - Integration neuer Modi über geeignete Parameter
- Modell für die Wahl des Ziels
  - a) Gravitationsmodell (Größe des Ziels, z.B. Anzahl Arbeitsplätze, gegen Distanz)
  - b) Intervening Opportunities (weitere entfernt liegende Ziele werden von näheren verschattet)

$$P_{i,j} = \frac{e^{\beta_j c_{i,j}}}{\sum_{k \in U} e^{\beta_k c_{i,k}}}$$

- $i$ : Personenattribut
- $j$ : Modusattribut

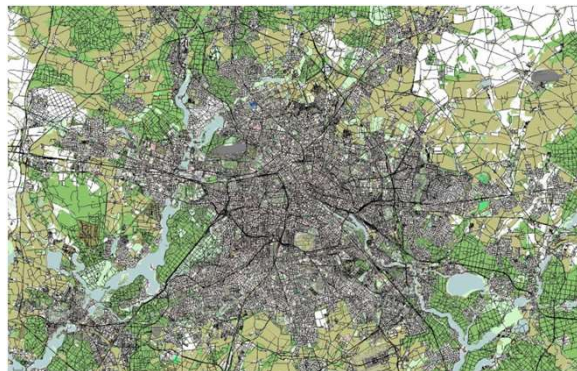
Parameter pro Modus (SrV 2008): Konstante, Kosten, Reisezeit, Zweck, Alter, Führerschein, Pkw-Verfügbarkeit, ÖV-Karten

# Simulation des Verkehrs

## Die Verkehrsflusssimulation SUMO



- SUMO ist eine mikroskopische Verkehrsflusssimulation
  - mikroskopisch: es werden einzelne Fahrzeuge simuliert
  - Verkehrsfluss: Fahrzeuge über Zeit an einem Querschnitt
- Auch open source und hat eine schöne GUI
- Möglichst einfache Modelle um möglichst schnell zu sein



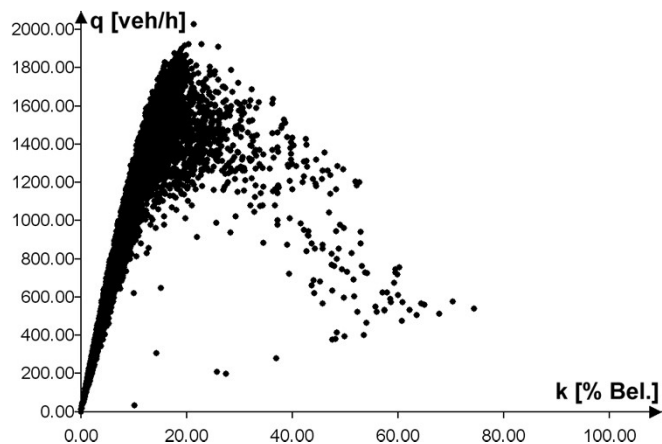
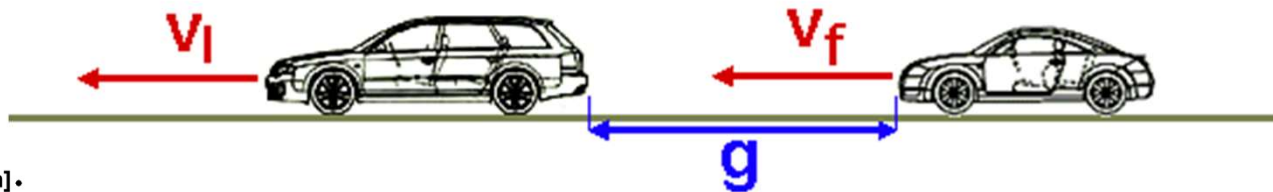
# Simulation des Verkehrs

## Die Verkehrsflusssimulation SUMO



- Fahrzeugfolge-Paradigma: follower hat immer genug Abstand um nicht aufzufahren, Reaktionszeit beachtend

$$d(v_l) + g \geq d(v_f) + v_f \tau$$



$$v_{safe}(t) = v_l(t) + \frac{g(t) - v_l(t)\tau}{\frac{\bar{v}}{b(\bar{v})} + \tau}$$

$$v_{des}(t) = \min\{v_{safe}(t), v(t-1) + a, v_{max}\}$$

$$v(t) = \max\{0, \text{rand}[v_{des}(t) - \epsilon a, v_{des}(t)]\}$$

[\*] "Microscopic Modelling of Traffic Flow: Investigation of Collision Free Vehicle Dynamics", S. Krauß, DLR (Hauptabteilung Mobilität und Systemtechnik), 1998, ISSN 1434-8454

# Fazit



# Mobilität

## Fazit



- Mobilität ist wichtig und ein wichtiges Gut, das Menschen ausmacht
- Diverse Spannungsfelder
  - Komfort und Nutzerakzeptanz gegen persönliche Zwänge (Fahrt zum Arbeitsort)
  - Bequemlichkeit und Sicherheitsempfinden gegen Massentransportmittel und Kosten
  - Angenehme, lokale Angebote gegen weite Entfernungen und neue Erfahrungen
  - Status und Selbstverwirklichung gegen Suffizienz
  - Persönliche Freiheit gegen Systemoptimierung
  - Performanzverständnis gegen Umweltbelange

# Impressum



Thema: **Mobilität, Verkehr und Modelle**  
Impulsvortrag zum bpb GameJam 7.7.2023, Wiesbaden

Datum: 7.7.2023

Autor: Daniel Krajzewicz

Institut: Institut für Verkehrsforschung