

Konferenz “Verkehrsökonomik und -politik”



Session “Verkehrsmodellierung und Grundlagen der Bewertung (4)”

Optionen für die Dekarbonisierung des Verkehrssektors in Europa bis 2050

Szenarienergebnisse mit dem Energiesystemmodell GENeSYS-MOD

24.05.2019

Karlo Hainsch, Thorsten Burandt, Konstantin Löffler, Pao-Yu Oei, Christian von Hirschhausen

Technische Universität Berlin, Fachgebiet für Wirtschafts- und Infrastrukturpolitik (WIP)

Agenda

1) Motivation

2) Das *Global Energy System Model* (GENeSYS-MOD)

3) Entwicklung der Verkehrssektors in Europa:

1) Wesentliche Annahmen

2) Ergebnisse

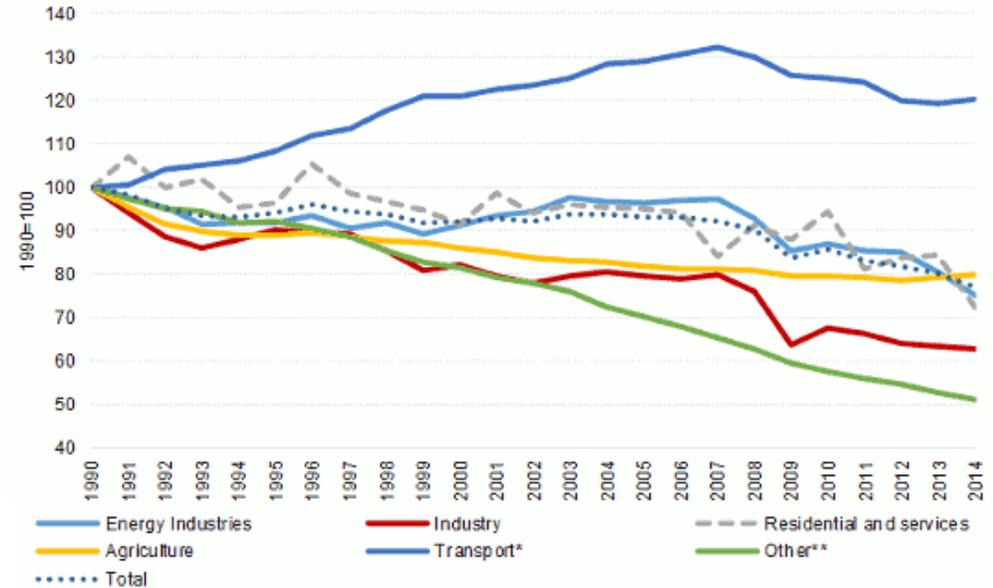
4) Fazit

Motivation

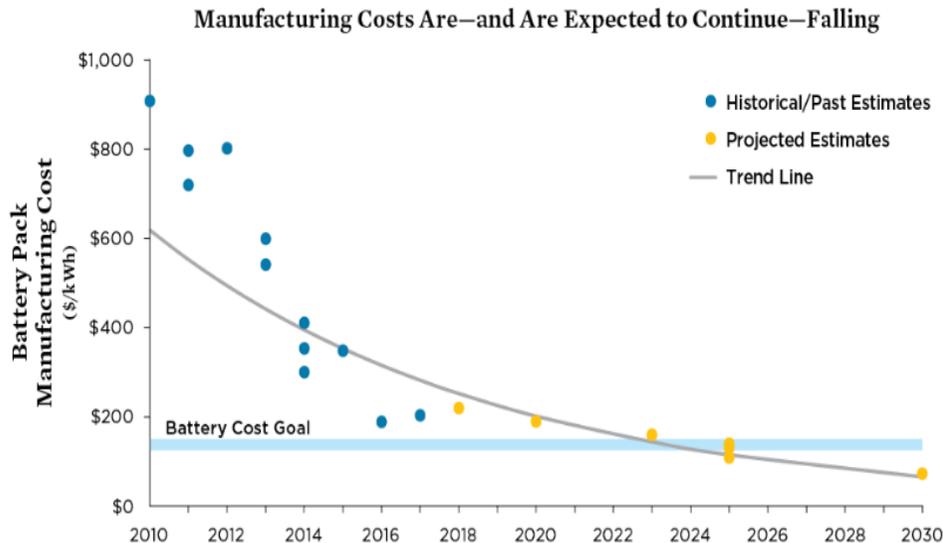
Verkehrssektor steht vor großen Herausforderungen

Verkehrssektor in Europa

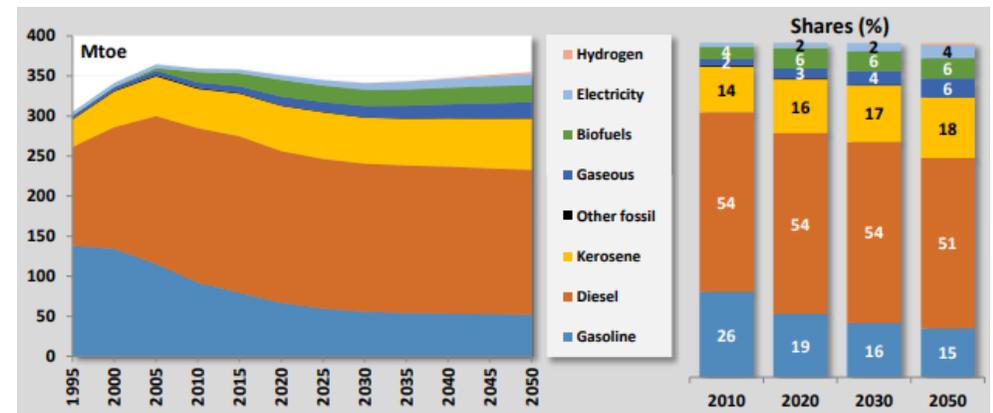
- Emissionen im Verkehr haben seit 1990 zugenommen, erst seit 2008 nehmen sie langsam wieder ab.
- EU: 20% Reduktion bis 2030 ggü. 2008, 60% 2050 ggü. 1990.
- EU Reference Scenario verfehlt diese Ziele deutlich.



Quelle: https://ec.europa.eu/clima/policies/transport_en



Quelle: <https://www.ucsusa.org/clean-vehicles/electric-vehicles/electric-cars-battery-life-materials-cost>



Source: European Commission (2016)

The Global Energy System Model (GENeSYS-MOD)

Modell Beschreibung

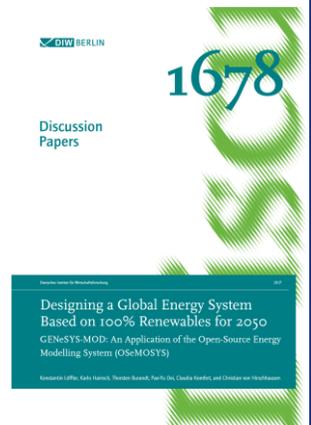
GENeSYS-MOD (Global Energy System Model)...

- ...basiert auf dem **Open Source Energy Modeling System (OSeMOSYS)** und wurde um zahlreiche Eigenschaften und Funktionalitäten erweitert.
- ...ist ein **lineares Programm**, welches den Kapitalwert zukünftiger Energiesysteme auf Basis von entsprechenden Annahmen und Schranken minimiert (Kosten-optimierend)
- ...ist frei verfügbar (open-source und open-data).

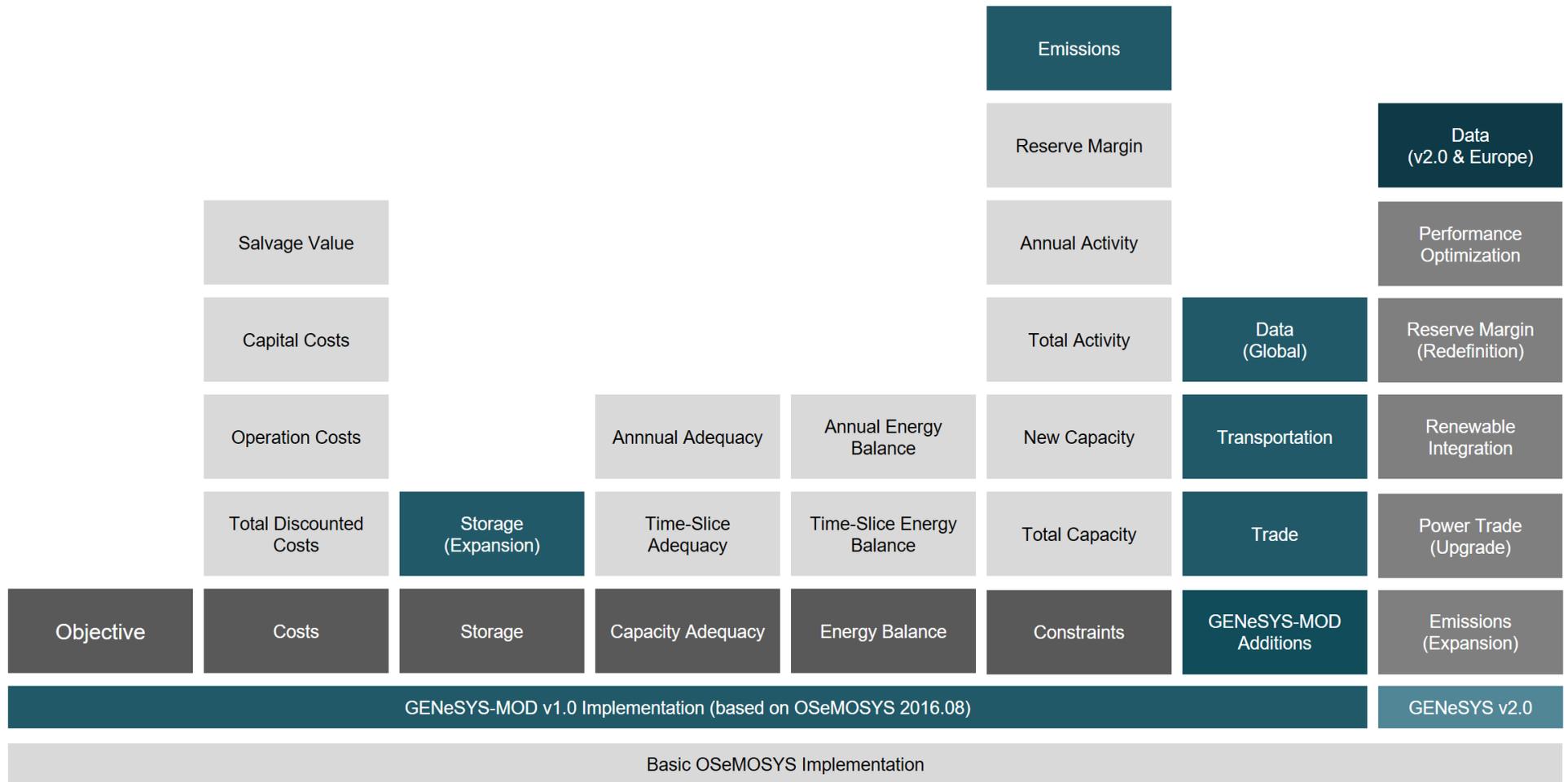
Für weitere Informationen zu GENeSYS-Mod: Löffler et al. (2017):

https://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw_01.c.563040.de/dp1678.pdf

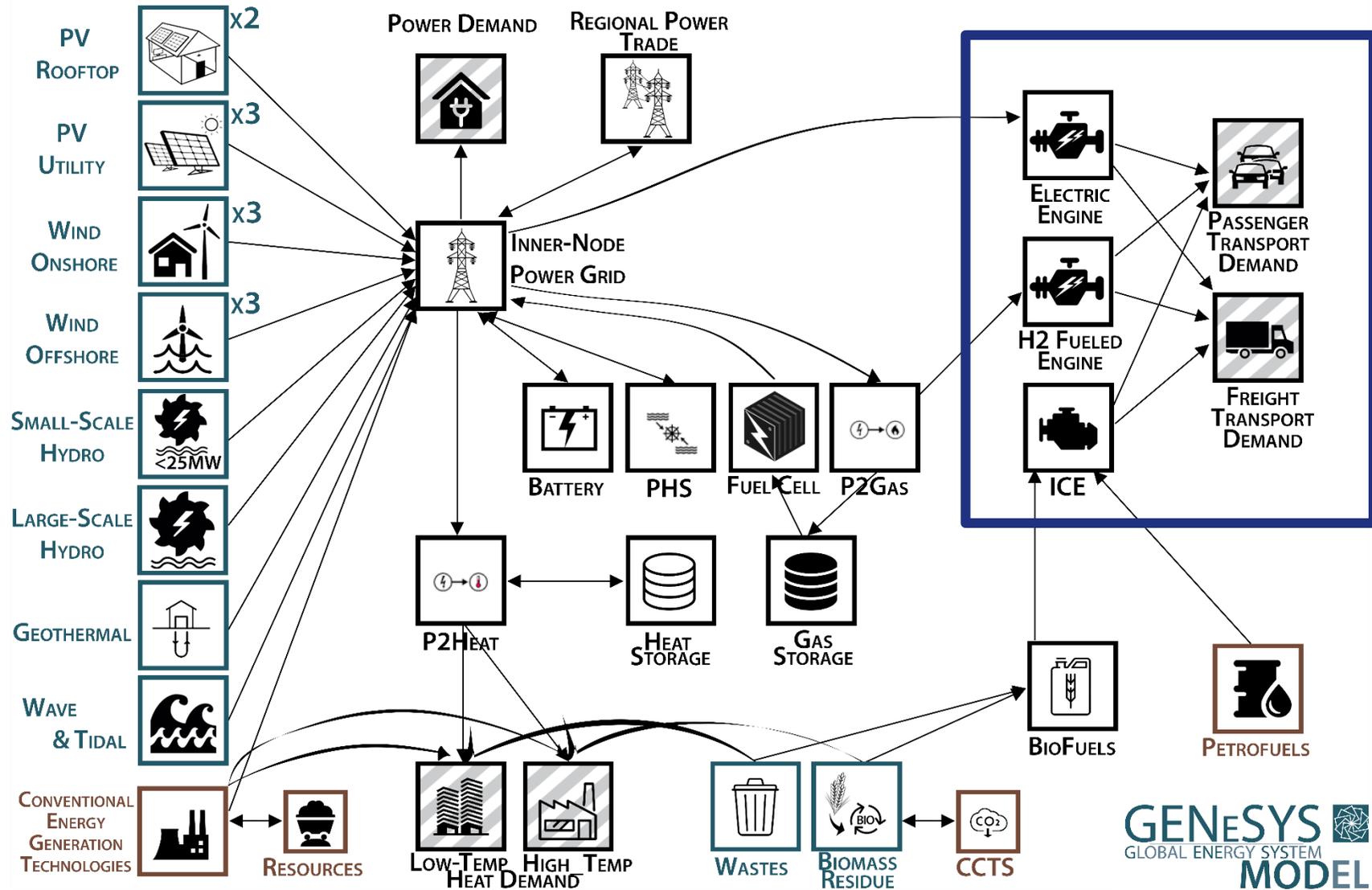
Wurde ebenfalls veröffentlicht in: *Energies 10(10)*.



GENeSYS-MOD v2.0: Funktionale Blöcke



Modell Design & Technologien



GENESYS
GLOBAL ENERGY SYSTEM
MODEL

Entwicklung des Verkehrssektors in Europa: Wesentliche Annahmen

Modell Setup: Wesentliche Annahmen und Spezifikationen

Wesentliche Daten und Beschränkungen

- **17 Regionen** werden betrachtet.
- Die Jahre 2020 - 2050 werden in **5-Jahres Schritten** modelliert, mit 2015 als Basisjahr.
- Das Modell rechnet in **16 time slices**: vier Jahreszeiten mit jeweils vier Tageszeiten.
- BAU-Szenario: Ein CO₂-Preis basierend auf World Energy Outlook 2016 wird angenommen.
- Nachfrage basiert auf dem EU Reference Scenario (PRIMES, EUREF).
- Entwicklungen für Nachfrage und Preise von Energieträgern sind festgelegt und basieren auf dem IEA 450ppm Szenario (World Energy Outlook 2016).
- Bestehende Kapazitäten für Erzeugungstechnologien wurden von Farfan and Breyer (2017) übernommen.
- CO₂ Speicherpotenziale stammen von Oei et al. (2014).

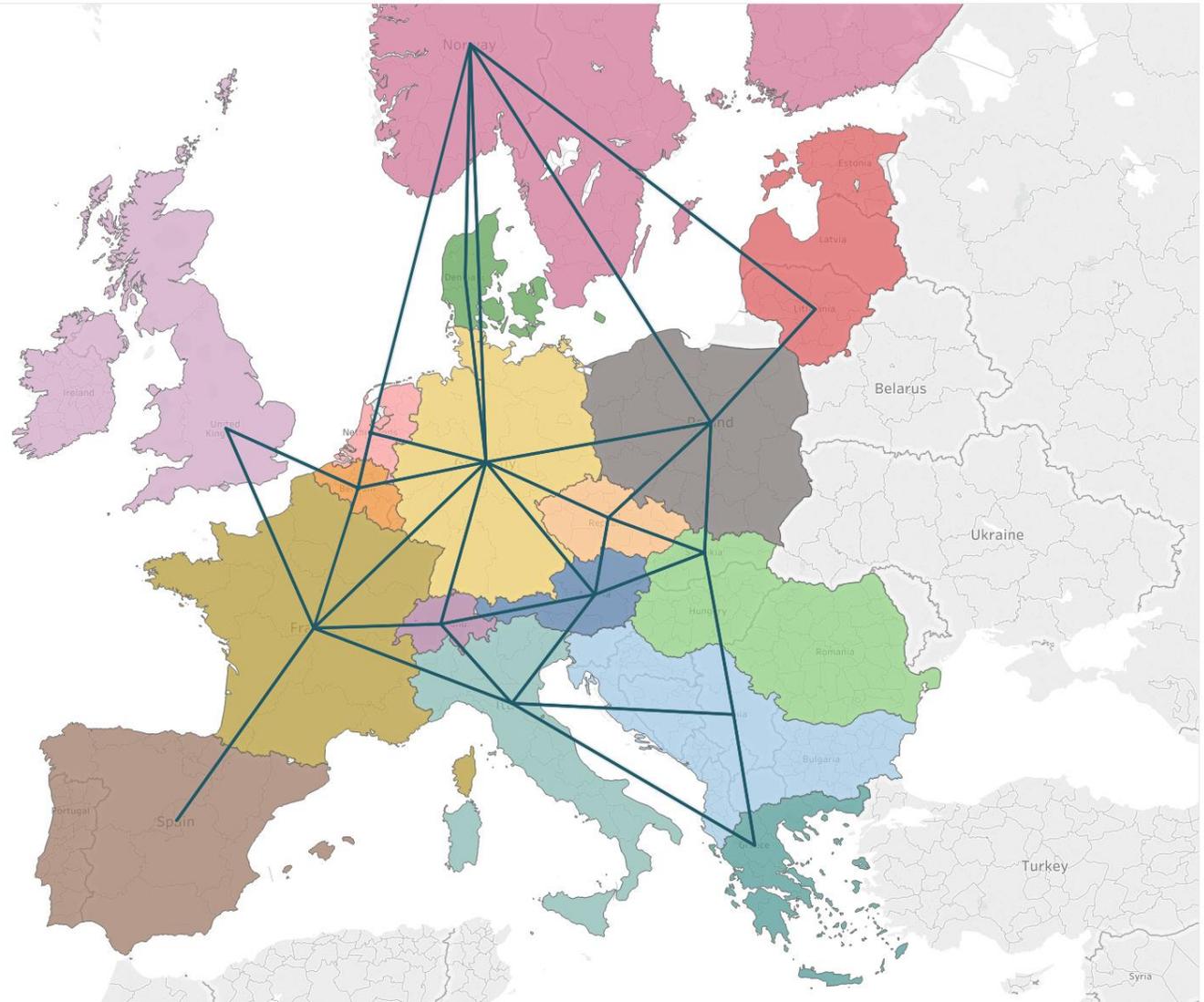
Wir betrachten verschiedene mögliche Entwicklungen...

- **Drei** Entwicklungen basierend auf Gesamtemissionen (1.5°C, 2°C, Business as usual (BAU))
- Mit jeweils **vier** möglichen Verteilungen auf die einzelnen Regionen
- -> Resultiert in insgesamt 12 verschiedenen Möglichkeiten

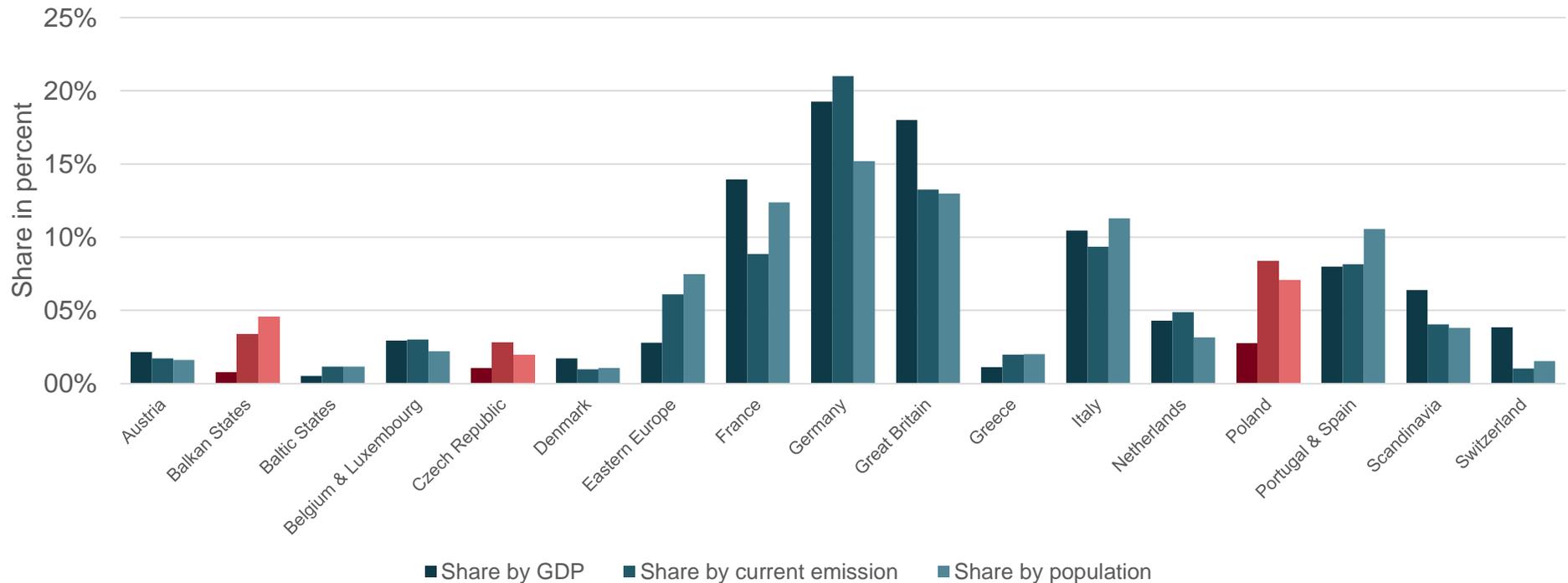
Modell Setup: Regionale Aufteilung

Region

- Austria
- Balkan States
- Baltic States
- Belgium & Luxembourg
- Czech Republic
- Denmark
- Europe East
- France
- Germany
- Greece
- Iberia
- Italy
- Netherlands
- Poland
- Scandinavia
- Switzerland
- United Kingdom



Szenario Definition: Verteilung des Emissionsbudgets



Verschiedene Pfade...

- **1.5°:** Limit von 24 GtCO₂
- **2°:** Limit von 49 GtCO₂
- **Business as usual (BAU):** kein Limit

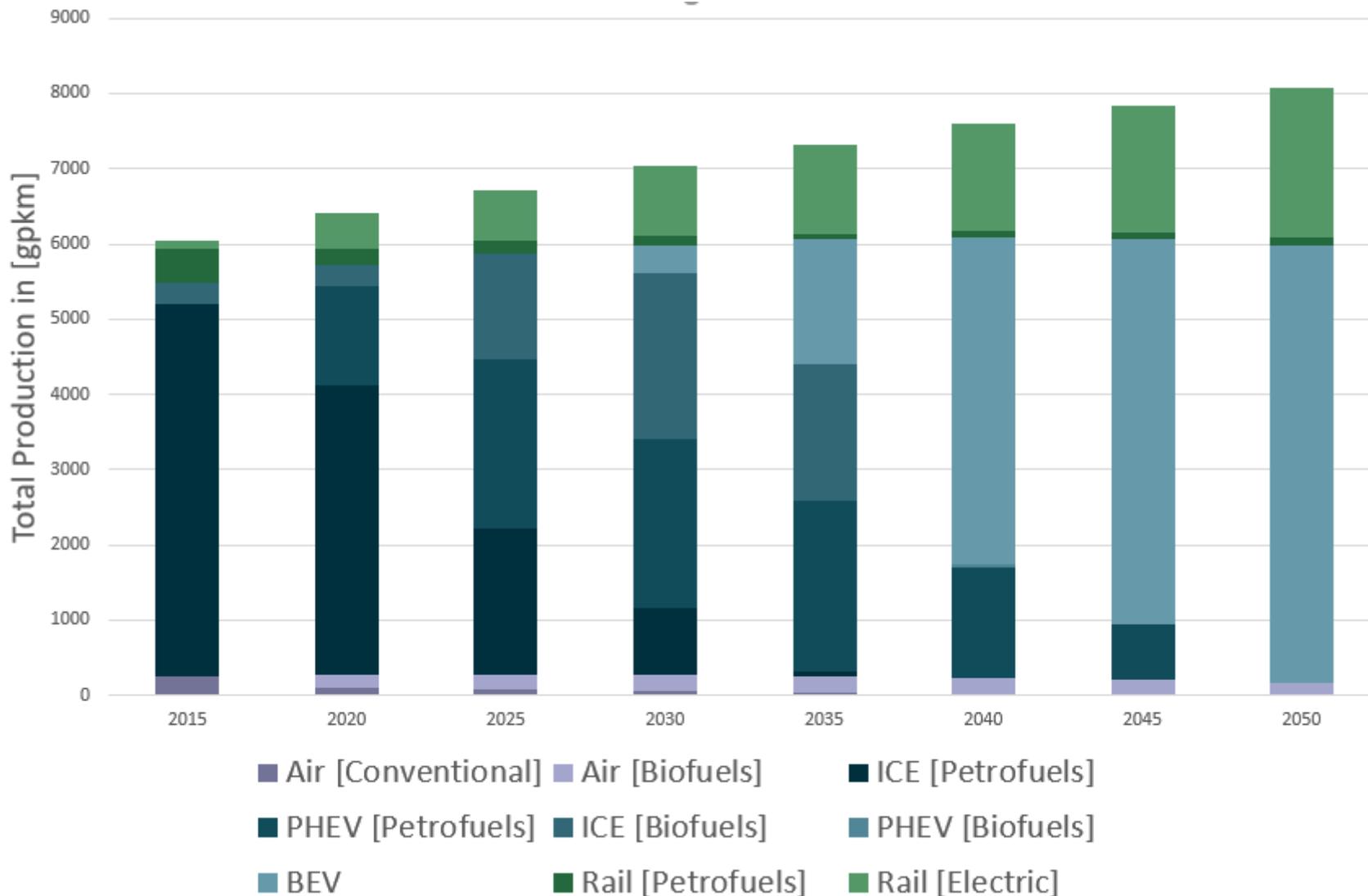
...und Verteilungen

- **Free Distribution**
- **Share by GDP**
- **Share by current emissions**
- **Share by population**

Entwicklung des Verkehrssektors in Europa: Ergebnisse

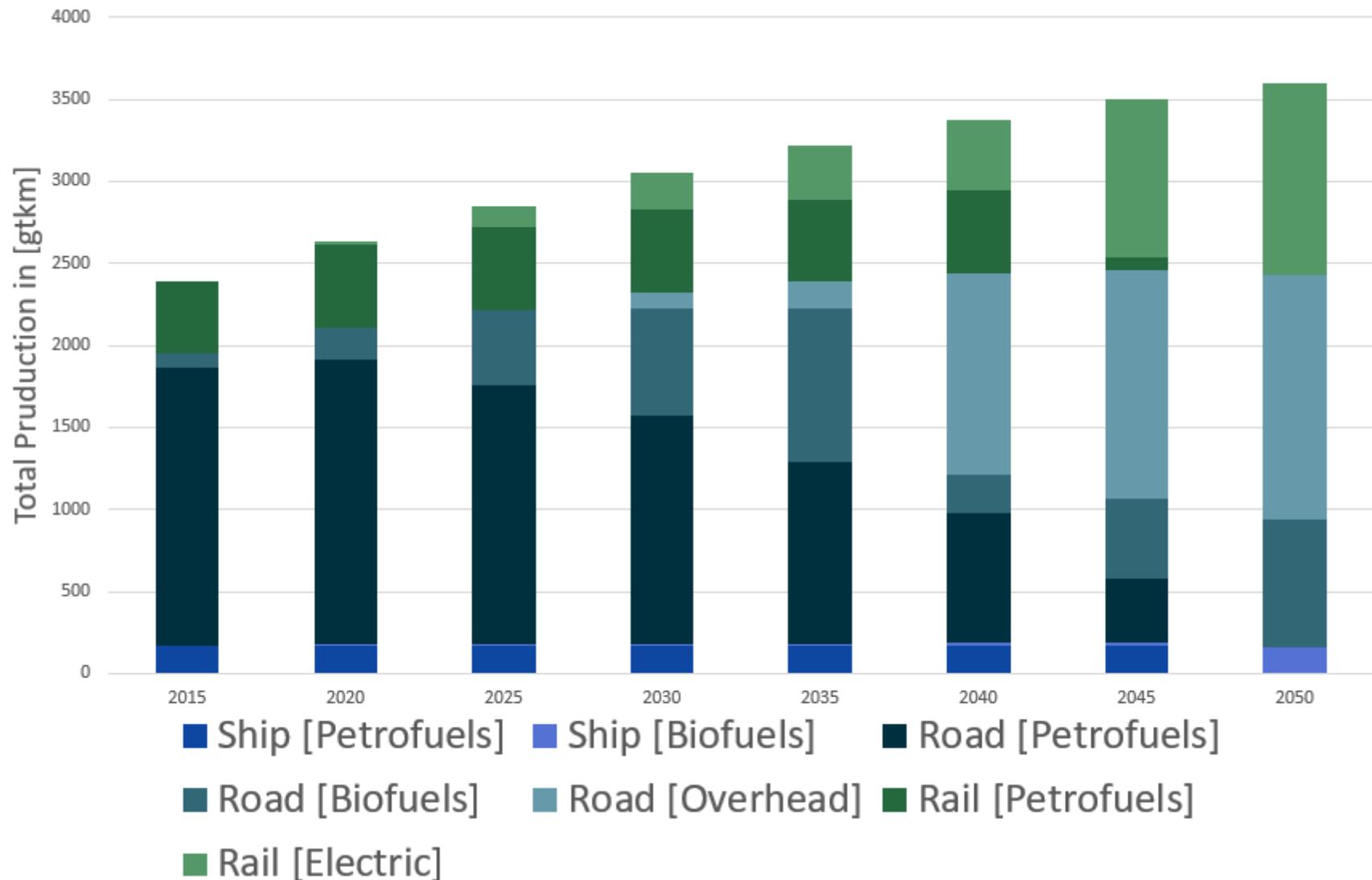
Basisszenario: 2°C, freie Verteilung der Emissionen

Entwicklung des Personenverkehrs im Basisszenario



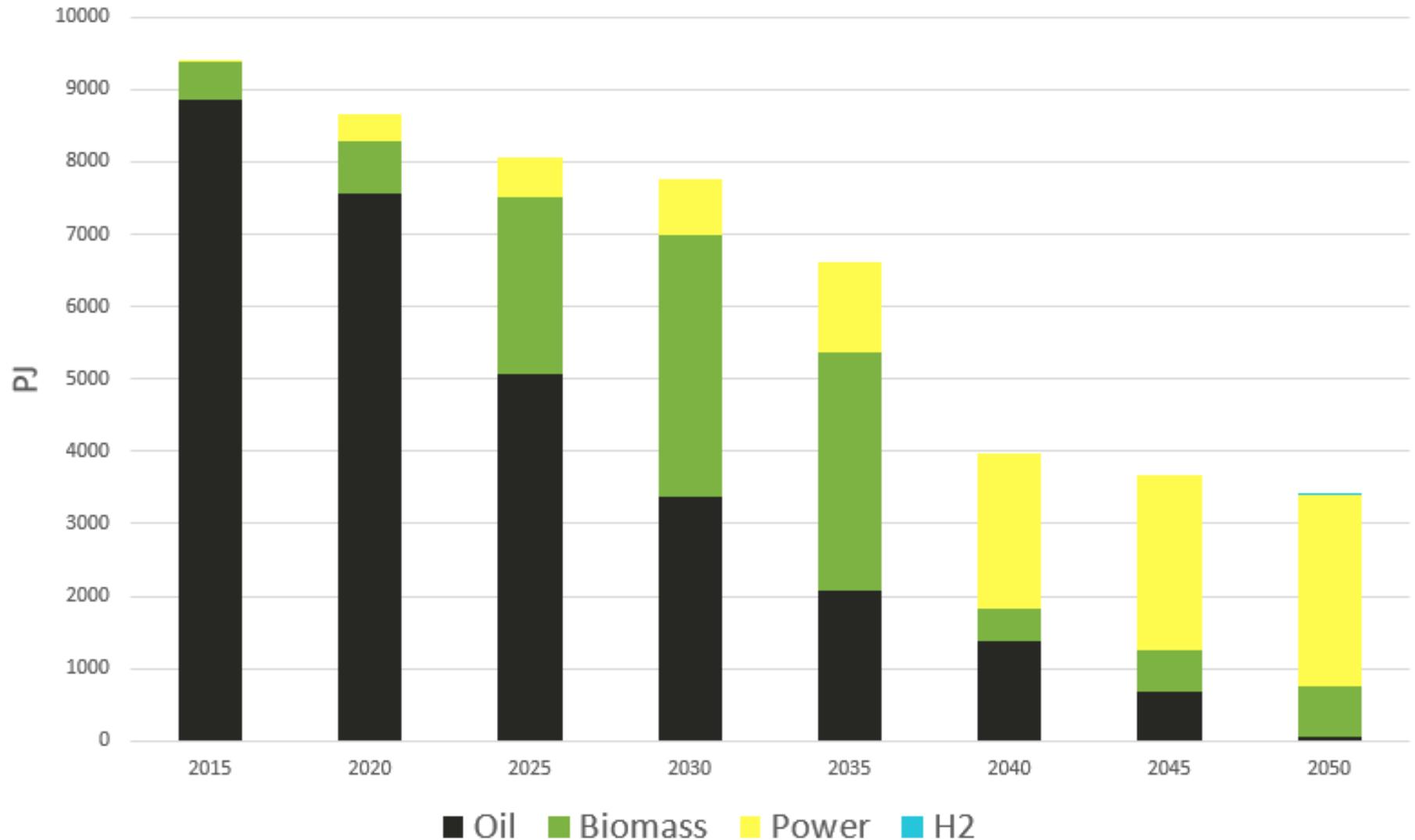
Quelle: Eigene Darstellung

Entwicklung des Güterverkehrs im Basisszenario



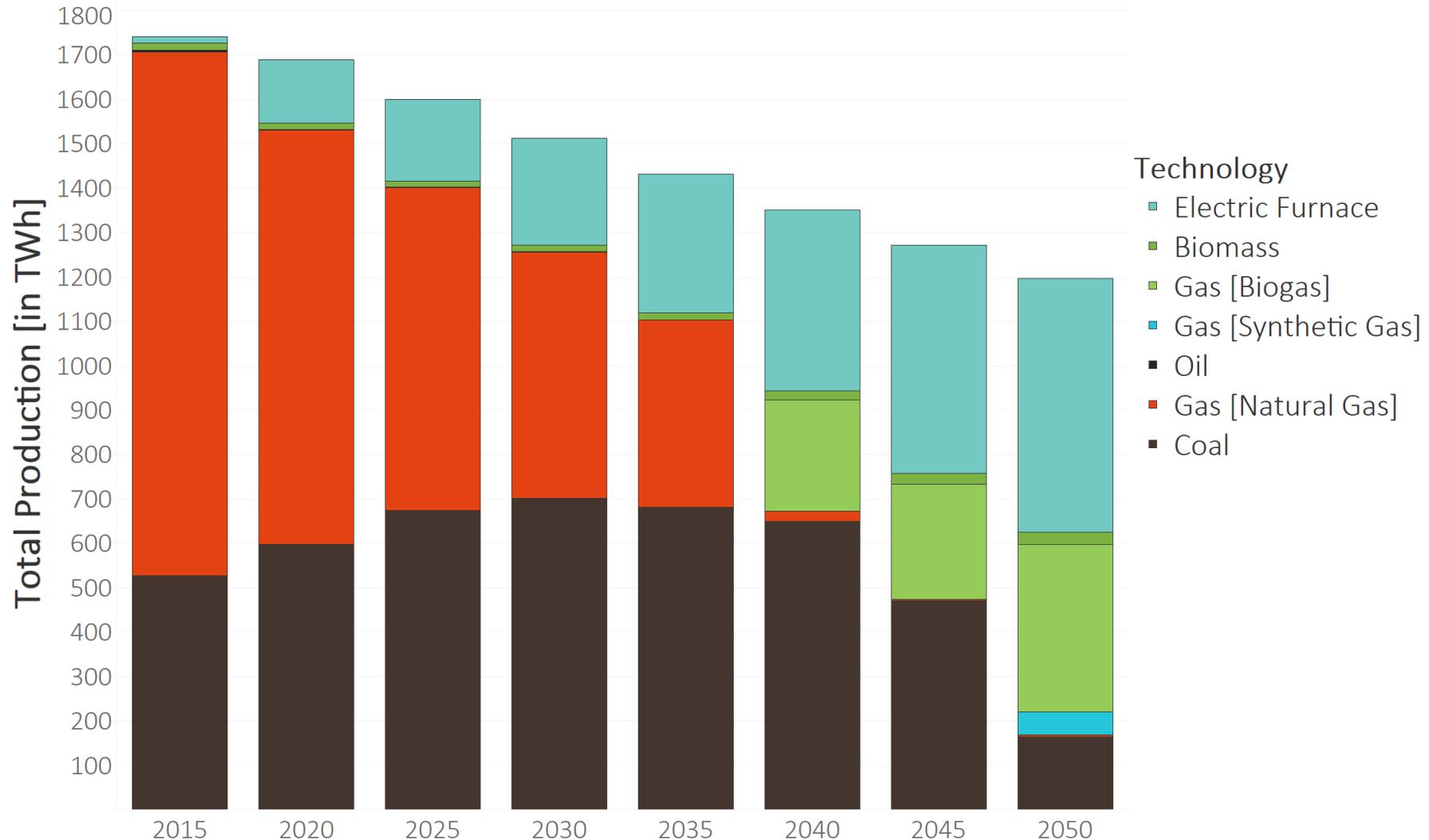
Quelle: Eigene Darstellung

Energieträger im gesamten Verkehrssektor im Basisszenario



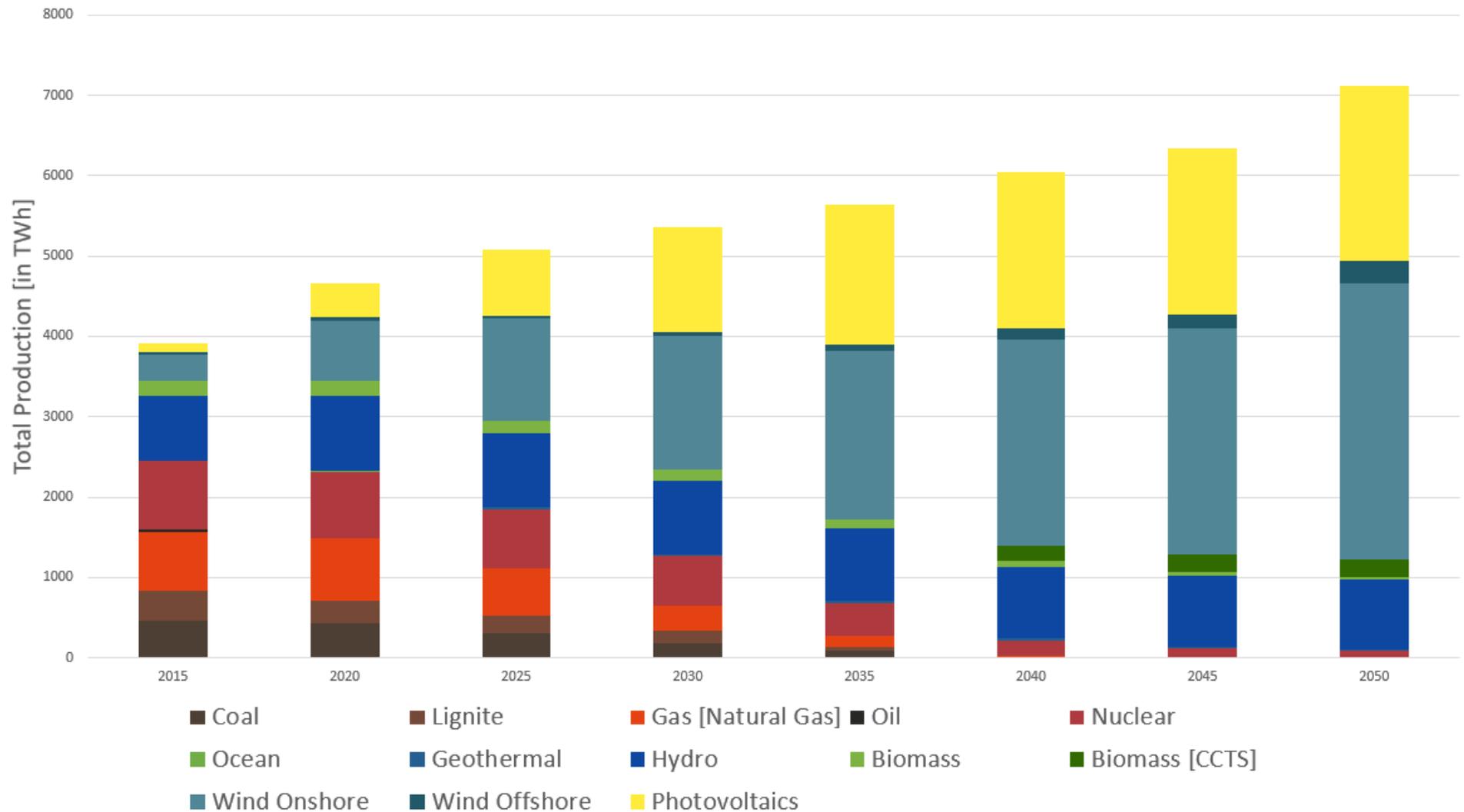
Quelle: Eigene Darstellung

Entwicklung der Hochtemperaturerzeugung 2°C



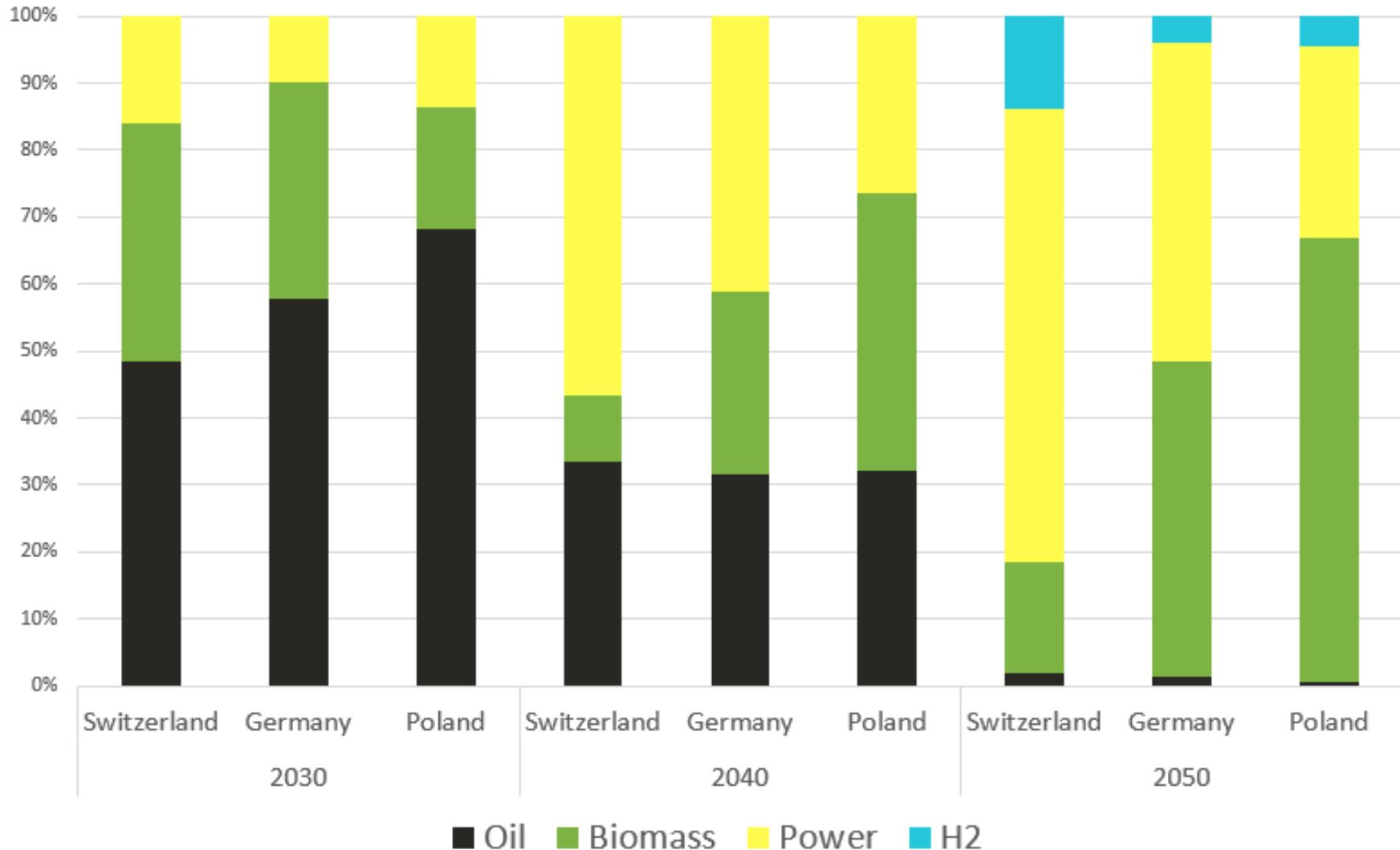
Quelle: Eigene Darstellung

Entwicklung der Stromerzeugung im Basisszenario



Quelle: Eigene Darstellung

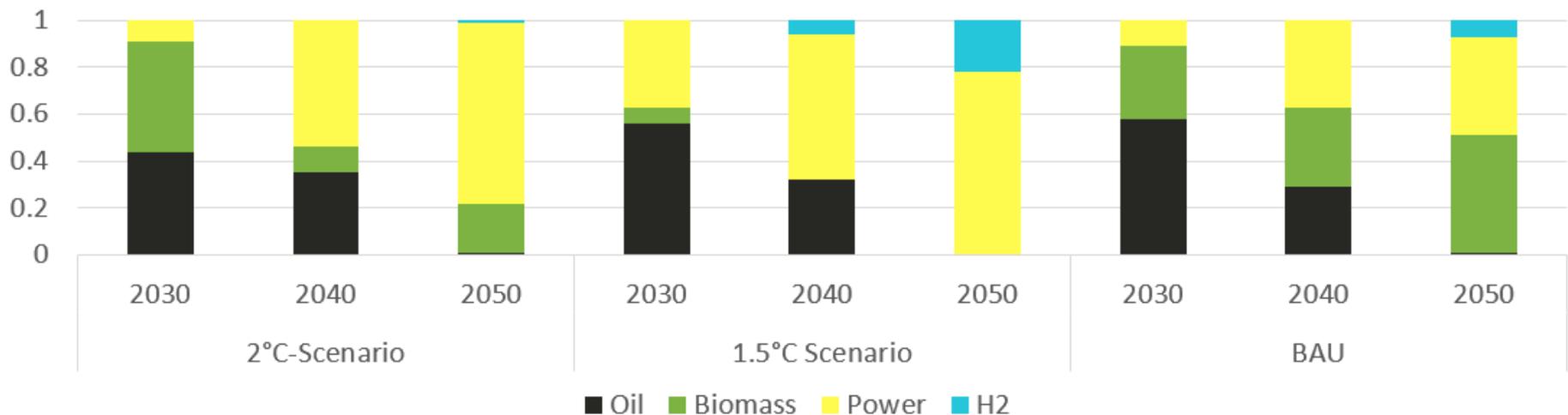
Dekarbonisierte Stromerzeugung begünstigt Elektromobilität



Quelle: Eigene Darstellung

Energieträger Verteilung im Vergleich

	2°C-Scenario			1.5°C Scenario			BAU		
	2030	2040	2050	2030	2040	2050	2030	2040	2050
Oil	44%	35%	1%	56%	32%	-	58%	29%	1%
Bio-mass	47%	11%	21%	7%	-	-	31%	34%	5%
Power	9%	54%	77%	37%	62%	78%	11%	37%	42%
H2	-	-	1%	-	6%	22%	-	-	7%



Quelle: Eigene Darstellung

CO₂-Ausstoß pro tkm/pkm unterscheidet sich vor allem mittelfristig



Quelle: Eigene Darstellung

Fazit

- Die Ergebnisse zeigen, dass **ambitionierte Klimaziele erreichbar sind**, technisch sowie wirtschaftlich. Der Verkehrssektor spielt dabei eine wesentliche Rolle.
- Technologische Entwicklung von elektrisch betriebenen Fahrzeugen, in Verbindung mit einem dekarbonisierten Stromsektor, sorgen für **hohe Anteile an Elektrifizierung im Verkehrssektor**.
- Die Nutzung von **Biomasse im Verkehr bietet sich vor allem mittelfristig** an. Später wird diese im Hochtemperatur-Wärmesektor genutzt, um schwer zu elektrifizierende Technologien zu ersetzen.
- **Wasserstoff** als Energieträger im Verkehrssektor wird **in extremen Klimaszenarien verwendet**, größtenteils als Ersatz für Biomasse.
- Die CO₂-Emissionen, vor allem im Verkehrssektor, **müssen rapide sinken**, wenn wir Klimaziele wie das 2°C Szenario noch erreichen möchten.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

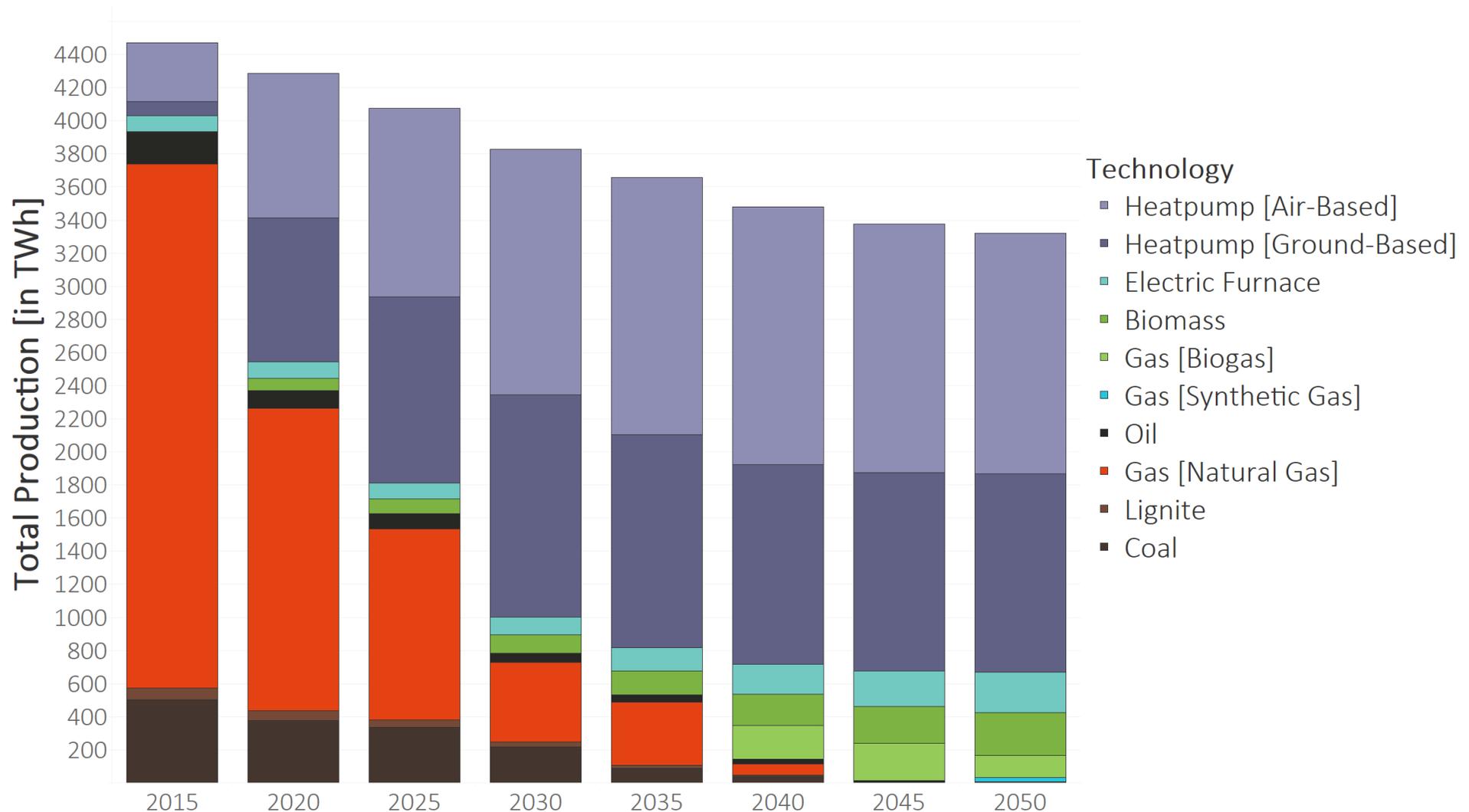


© pixabay

Karlo Hainsch
kh@wip.tu-berlin.de

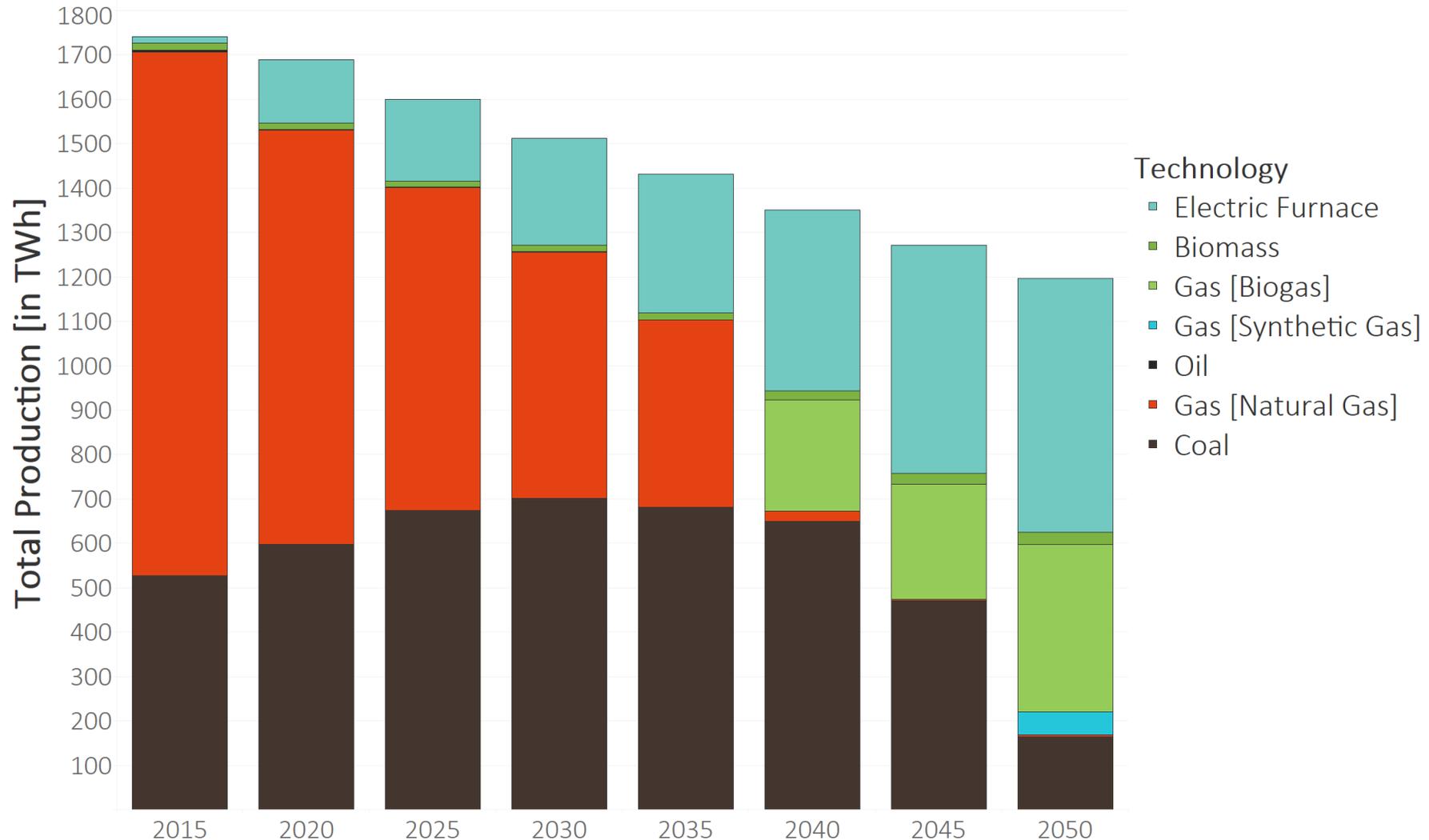
Back-Up Slides

Entwicklung der Niedrigtemperaturerzeugung 2°C



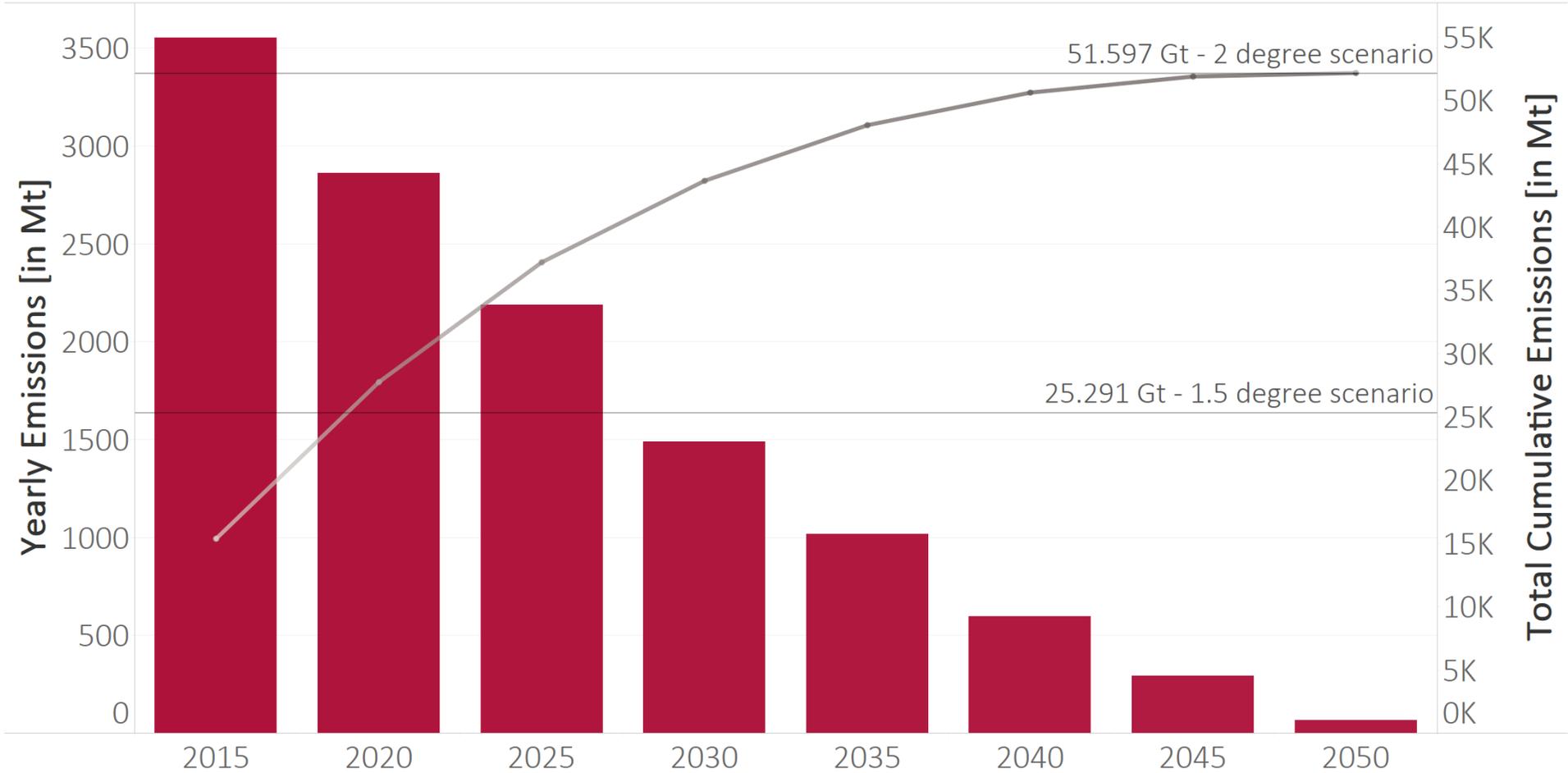
Source: Own Illustration

Entwicklung der Hochtemperaturerzeugung 2°C

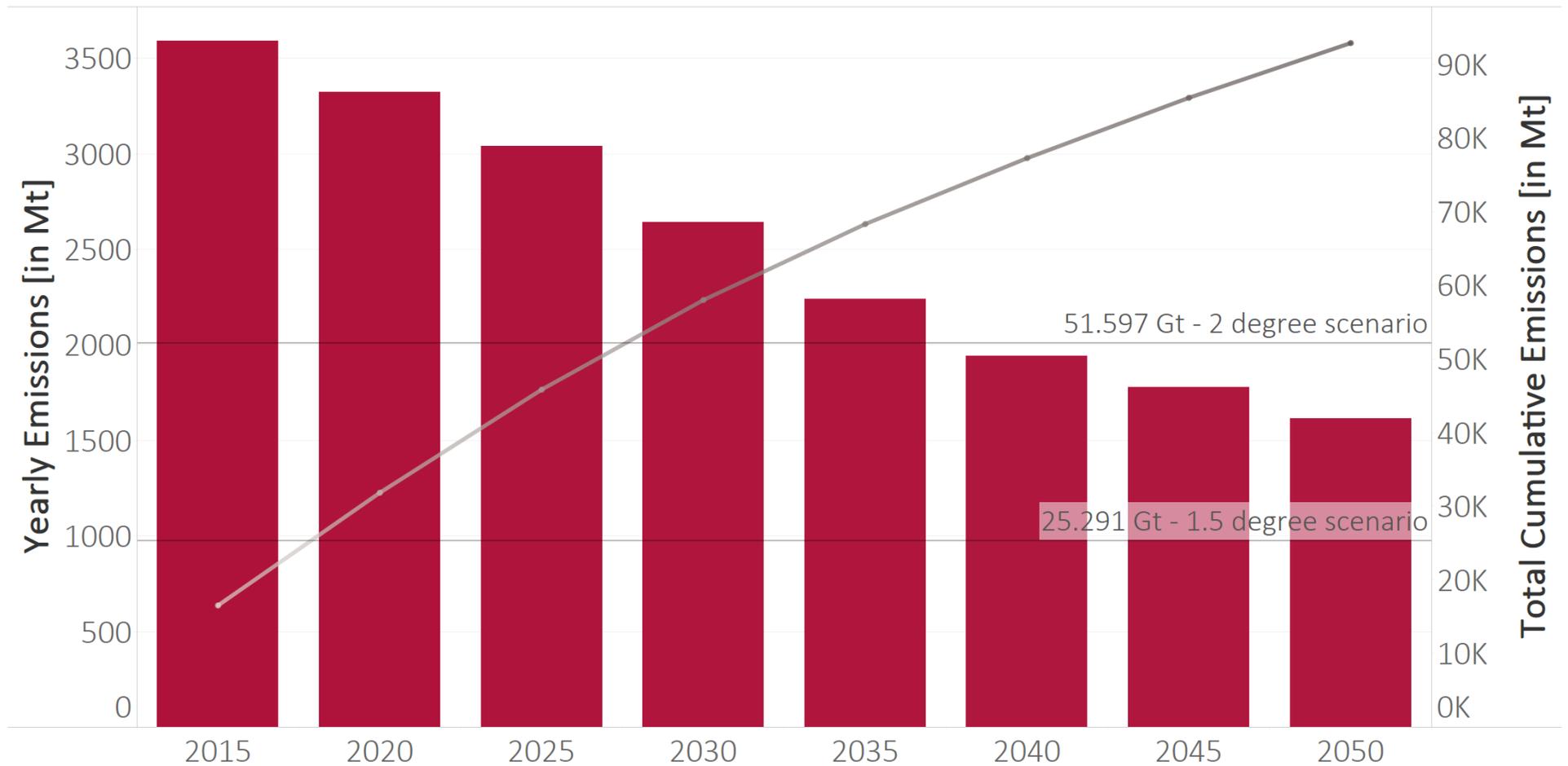


Source: Own Illustration

Emissionen 2°C



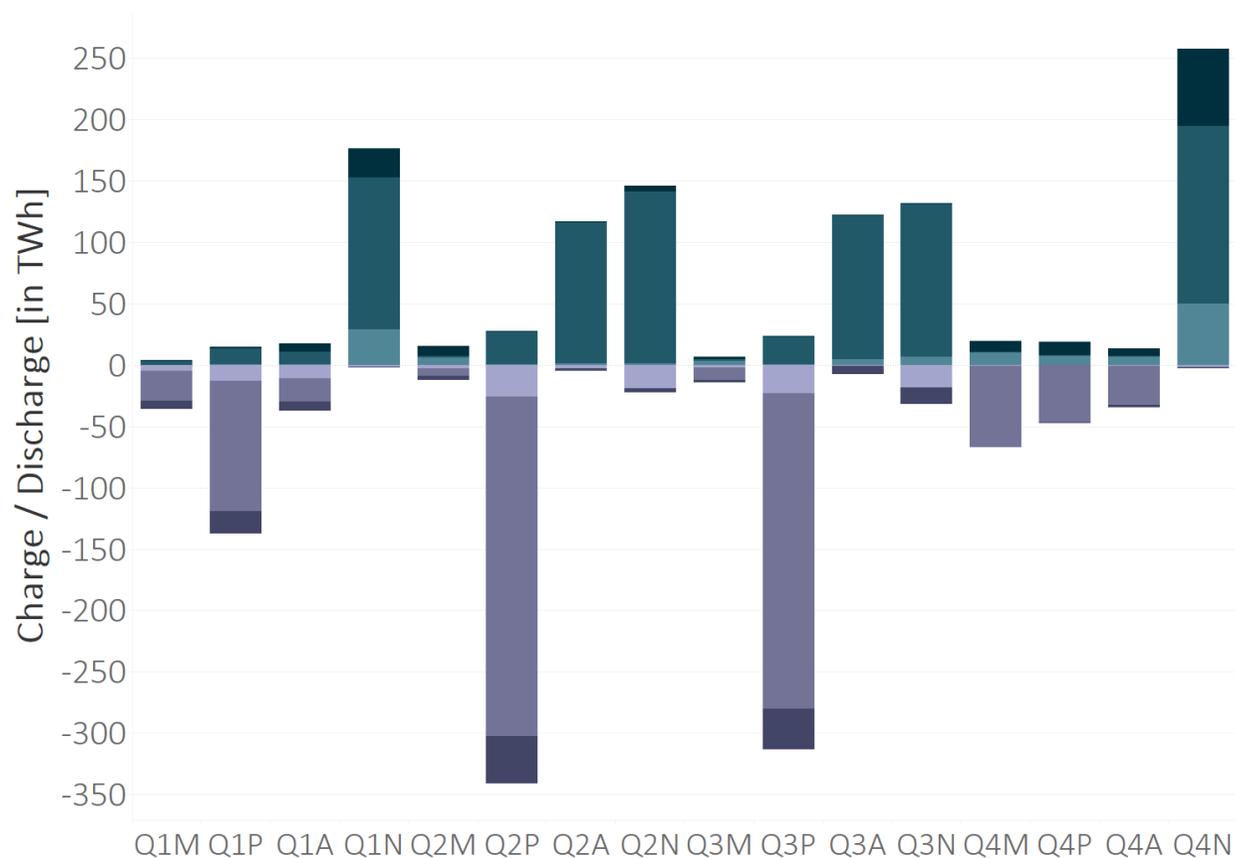
Emissionen BAU



Szenario Übersicht: Kosten des Gesamtsystems

Scenario	Free Distribution	Share by Current Emissions	Share by GDP	Share by Population	Free Distribution (BECCS disabled)
1.5° pathway	28.1%	31.6%	32.3%	31.6%	Infeasible*
2° pathway	Base Case	0.4%	3.1%	1.6%	0.1%
BAU pathway	-4.8%	-4.8%	-3.2%	-4.5%	-4.8%

Speicher Be- und Entladung 2°C

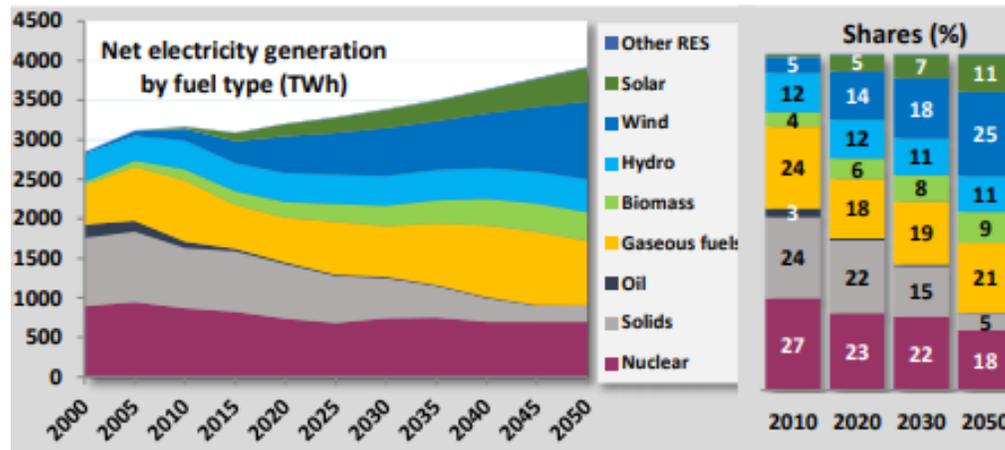


Technology / Mode

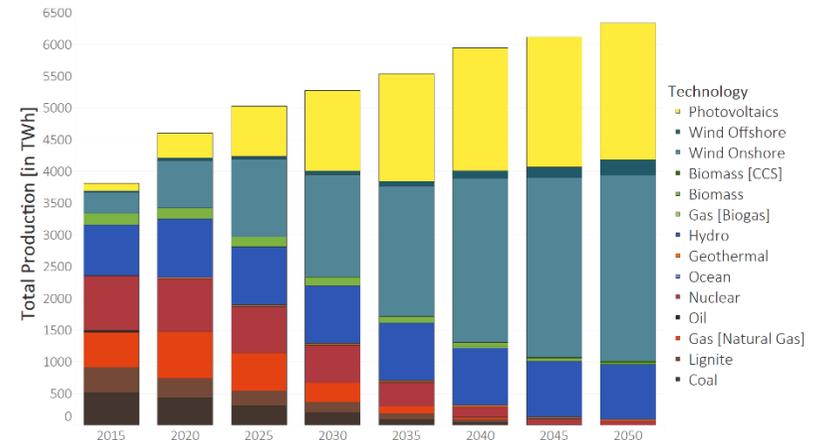
- Compressed Air Storage (Charge)
- Lithium-Ion Battery (Charge)
- Pumped Hydro Storage (Charge)
- Compressed Air Storage (Discharge)
- Lithium-Ion Battery (Discharge)
- Pumped Hydro Storage (Discharge)

Vergleich mit dem EU Reference Scenario 2016 – Stromerzeugung

EU Reference Scenario



GENeSYS-MOD v2.0

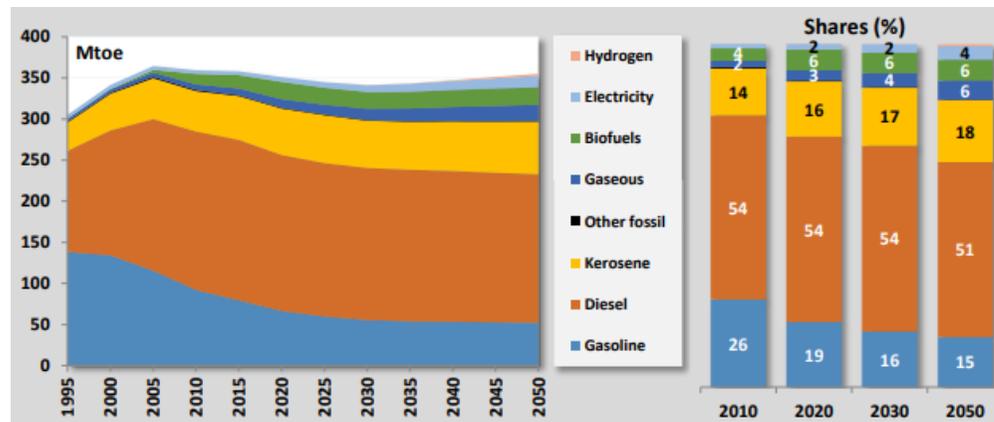


Source: European Commission (2016)

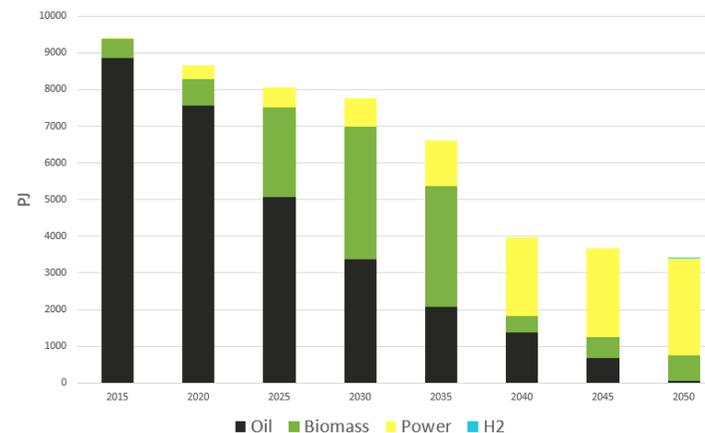
- Much higher shares of solar PV and Onshore Wind.
- Biomass, due to its limited potential, faces only small utilization in the power sector.
- Phase-out of coal and natural gas.
- No lifetime extension or capacity addition of nuclear power plants.
- Higher electricity demand due to sector coupling.

Vergleich mit dem EU Reference Scenario 2016 – Verkehrssektor

EU Reference Scenario



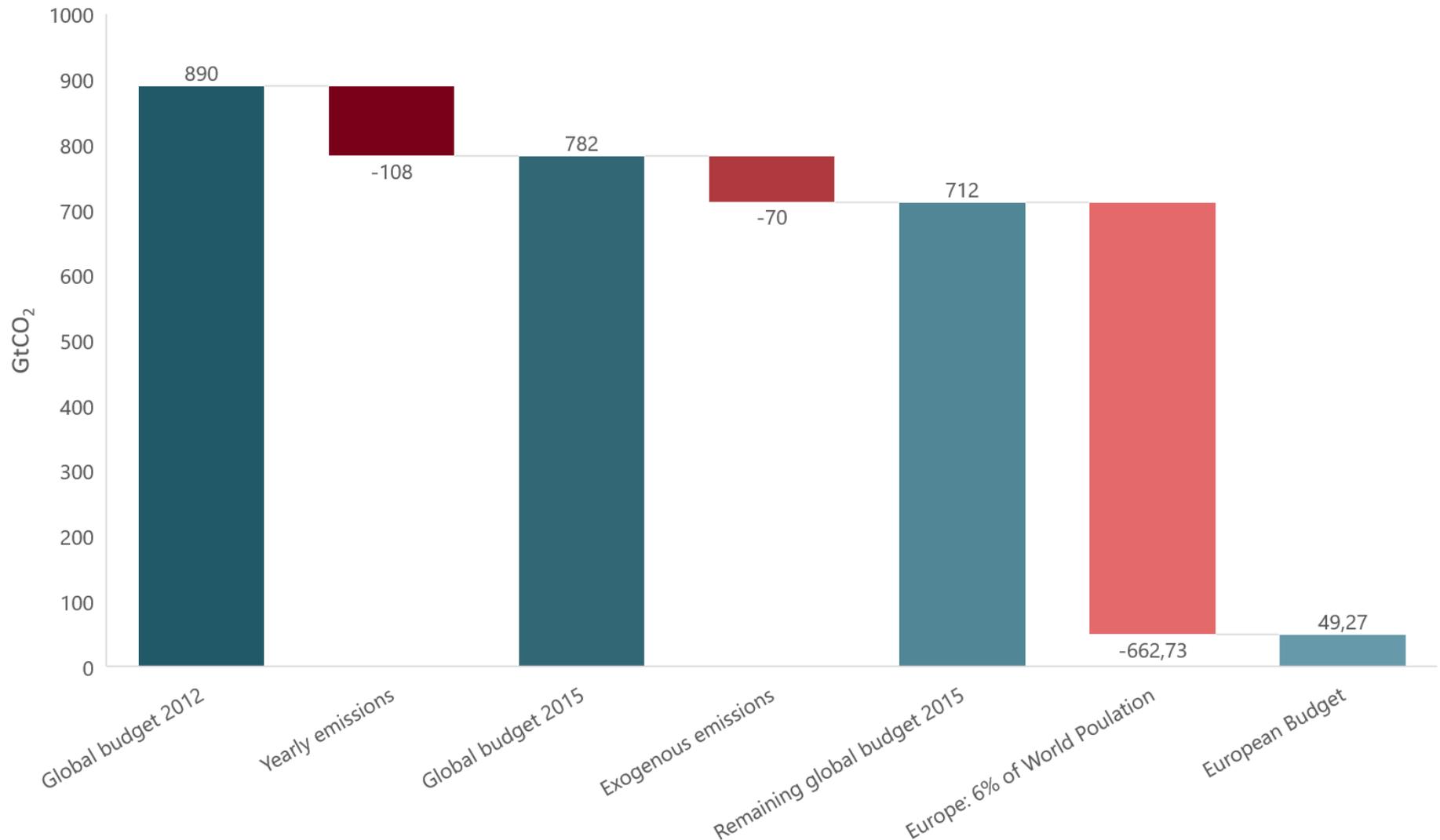
GENeSYS-MOD v2.0



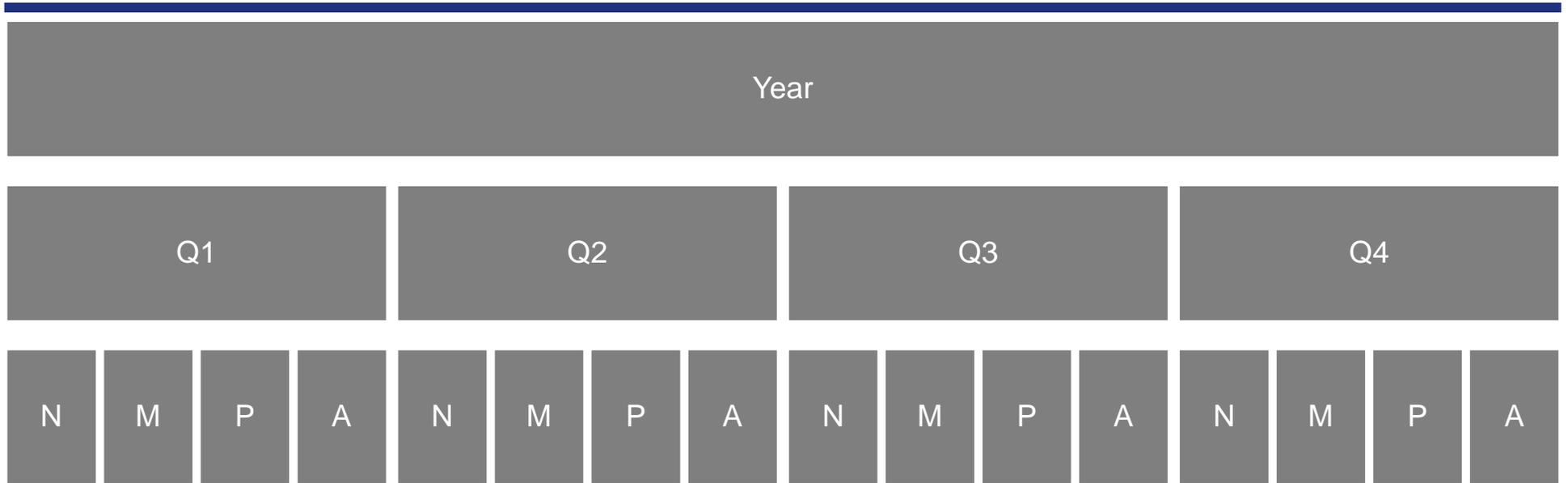
Source: European Commission (2016)

- Rapid phase-out of petroleum based products.
- Biomass much more important in the transition phase.
- Electricity much more important once the power sector is carbon-free.

CO₂-Budget Berechnung

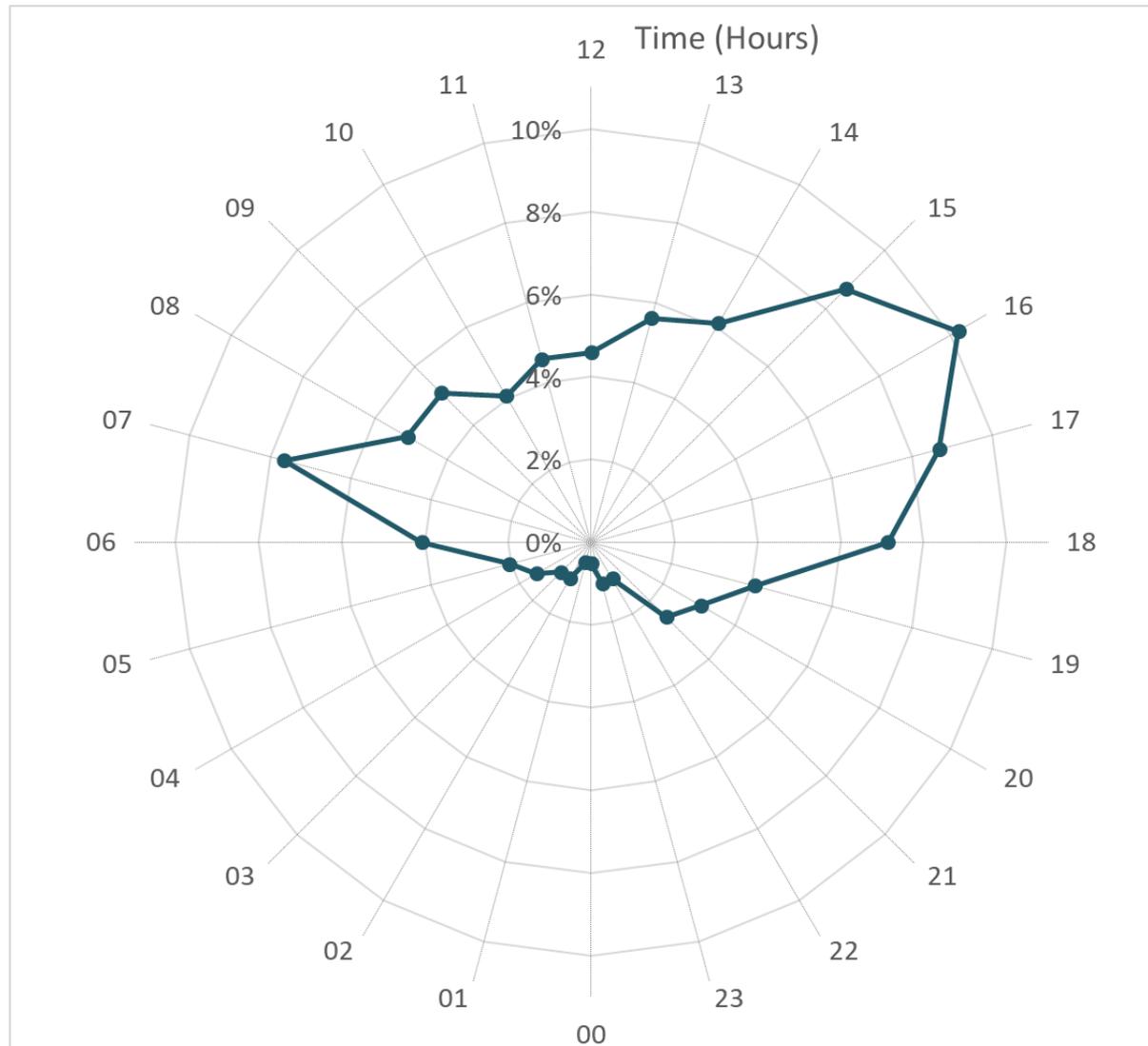


Zeitliche Auflösung



N: Night; M: Morning; P: Peak; A: Afternoon

Stündliche Verteilung der Personenverkehrsnachfrage



Source: Own Illustration, based on Gruschwitz and Follmer (2013).