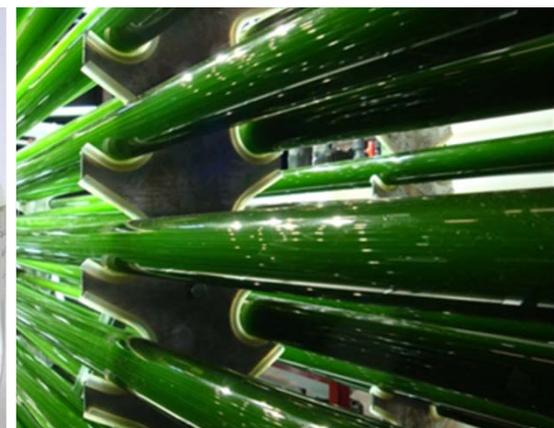
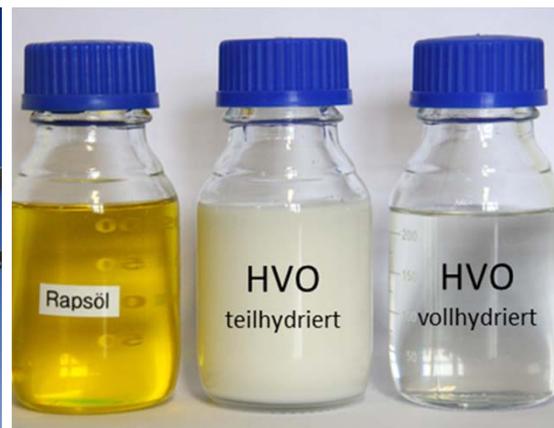
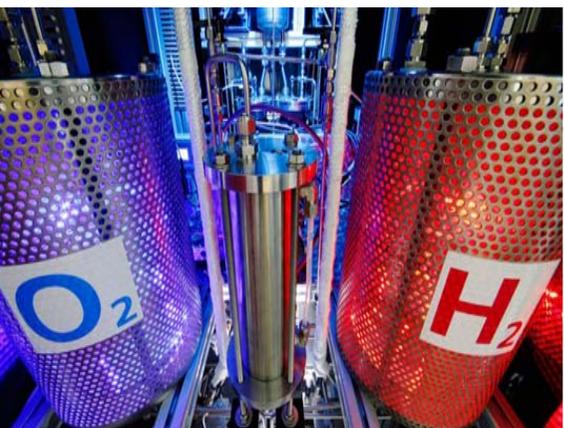


# Energiewende im Verkehr – Beitrag „treibhausgasreduzierter Kraftstoffe“

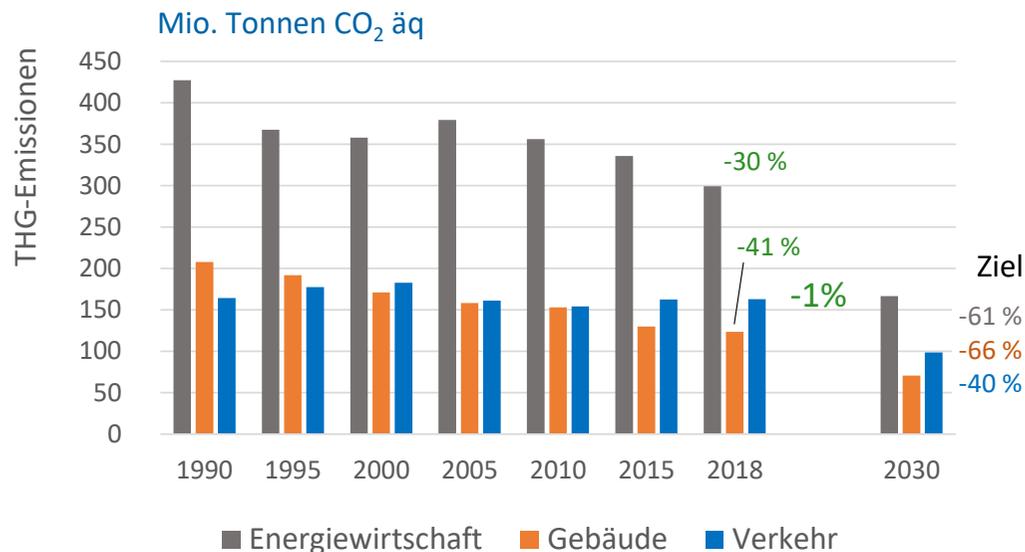


Thomas Kuchling, Andrej Awgustow, Sven Kureti

Veranstaltung der DGMK-Bezirksgruppe Hamburg-Bremen, Hamburg, 7. November 2019

## Einleitung

# Entwicklung der Treibhausgasemissionen und Ziele für 2030



### Wichtigstes Ziel:

THG-Minderung gegenüber 1990:

- Gesamt: 55-56 %
- Gebäude: 66-67 %
- Verkehr: 40-42 %
- Energiewirtschaft: 61-62%

### Instrumente:

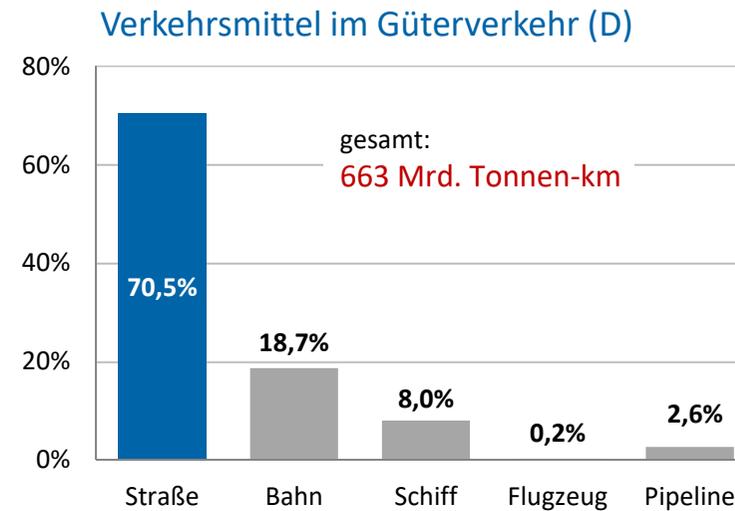
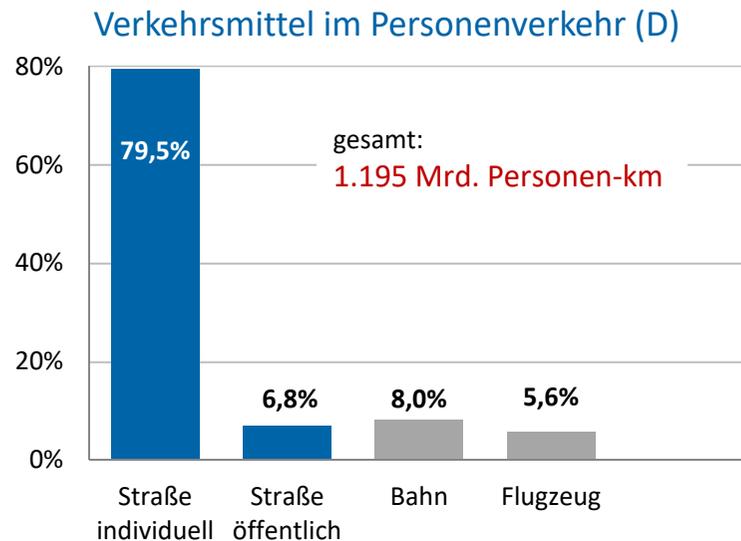
- Mindestanteile an Erneuerbarer Energie
- Mindestabsenkung der THG-Emissionen (relativ)
- im Verkehr: Flottengrenzwerte

- in den Handlungsfeldern Energiewirtschaft bzw. Gebäude THG-Minderungen von 30 % bzw. mehr als 40 % erreicht
- im Verkehr kaum Veränderung (→ daher im Fokus der politischen und öffentlichen Diskussion)

Ursache: Effizienzverbesserungen (~20 % für PKW) werden durch steigenden Transportbedarf kompensiert:

Anstieg gegenüber 1990:	Personentransport	37 %
	Gütertransport	75 %

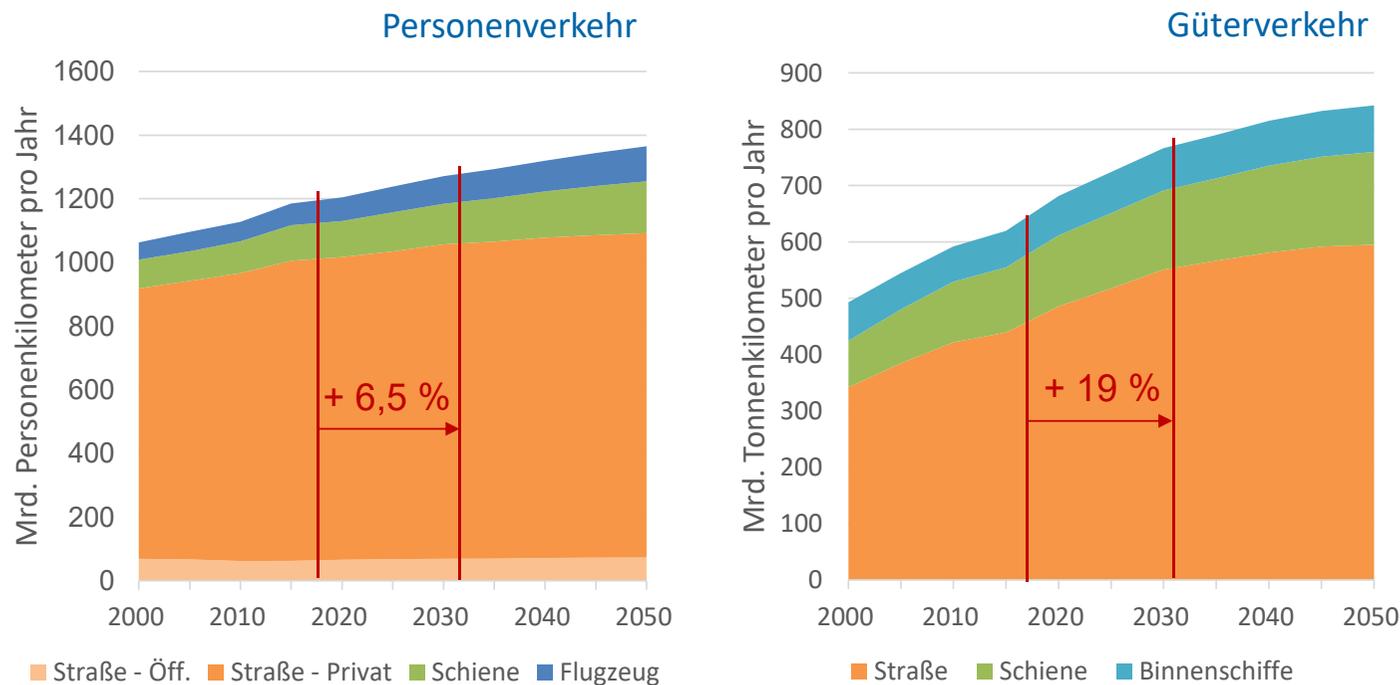
## Transportbedarf und Verkehrsmittel 2017



- der übergroße Anteil des Verkehrs wird auf der Straße abgewickelt
- Individualverkehr hat erheblichen Anteil an Transportleistung und damit verbunden an CO<sub>2</sub>-Emissionen

## EU Referenzszenario (2016)

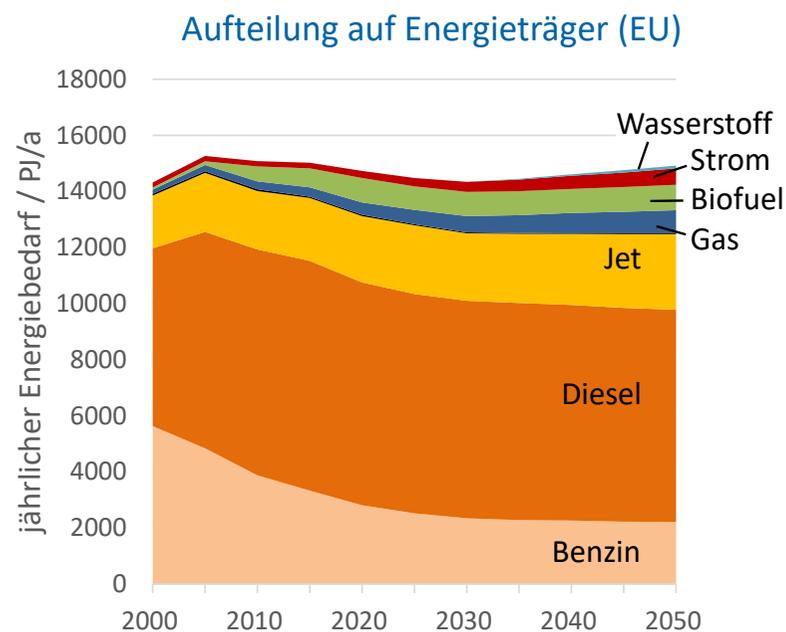
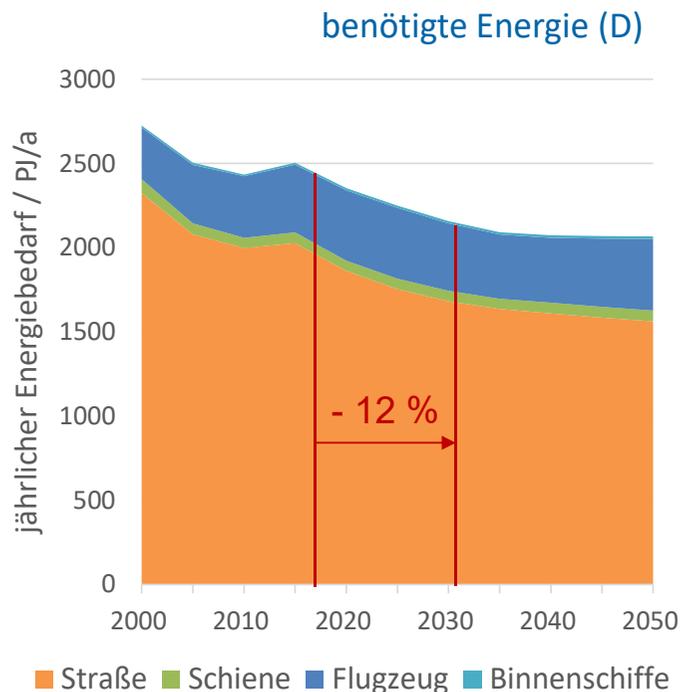
# Entwicklung des Transportbedarfs (Deutschland)



- Europäische Union geht von weiterem Wachstum des Transportbedarfs bis 2030 aus
- Anteil Personenverkehr am Endenergieverbrauch im Verkehr: 70 %

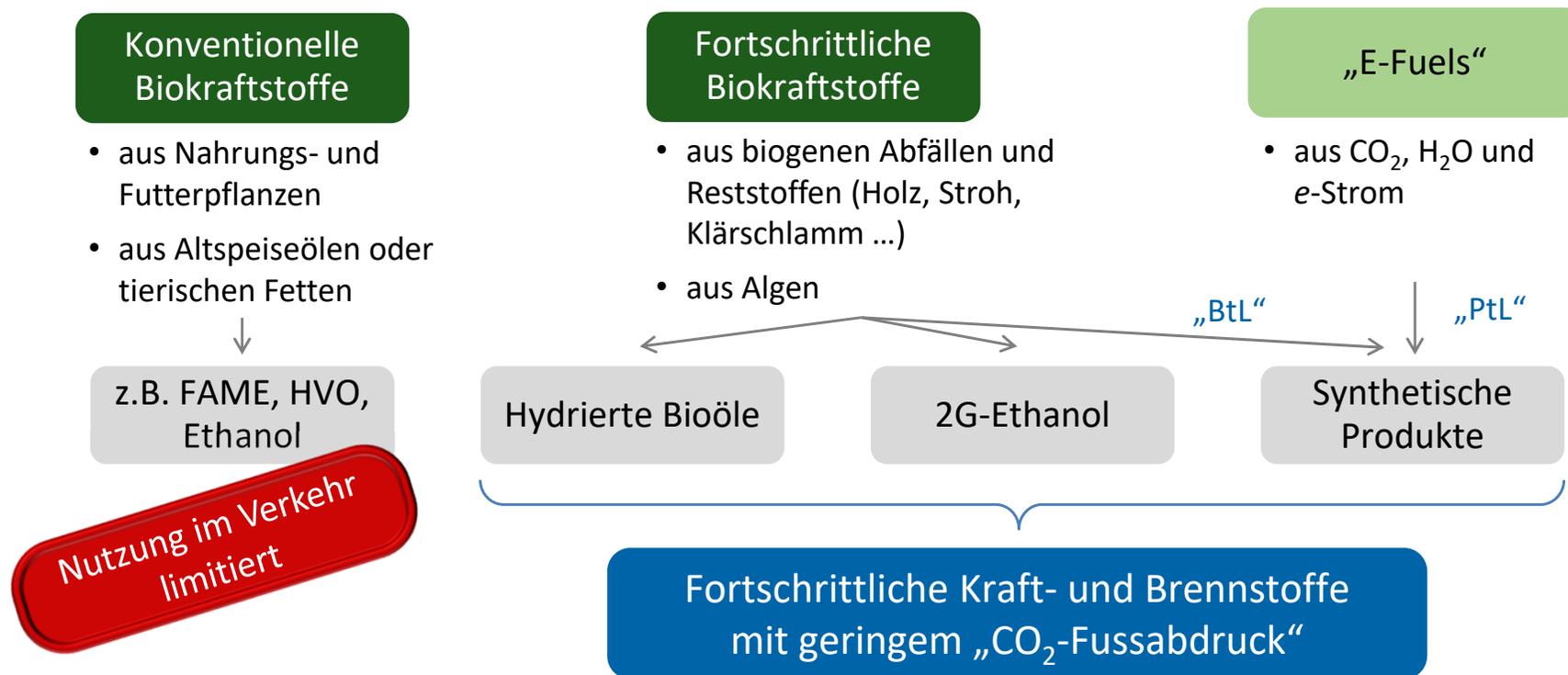
## EU Referenzszenario (2016)

# Prognose für Entwicklung des Energiebedarfs (Verkehr)



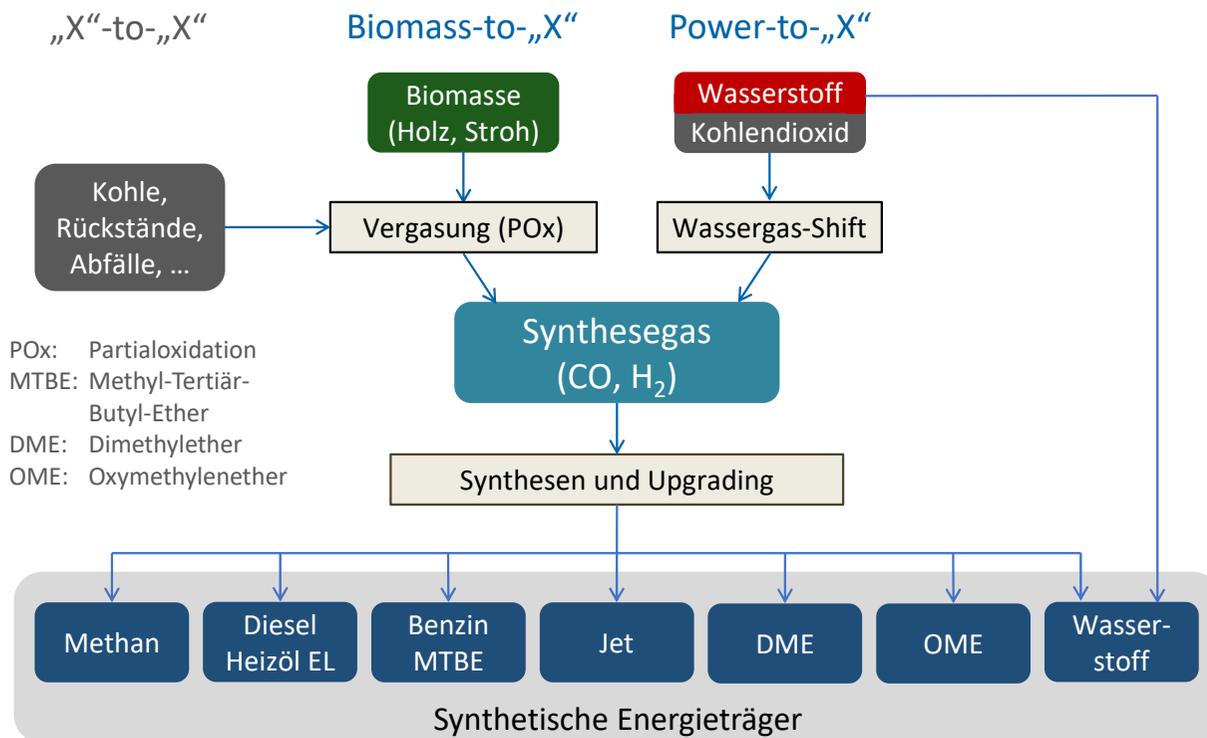
- Rückläufiger Energiebedarf für Deutschland, insbesondere im Straßenverkehr
- Flüssige Produkte spielen dominierende Rolle sowohl in der EU als auch in Deutschland

## Treibhausgasreduzierte Produkte - Einteilung und Begriffe



- insbesondere **synthetische Kraft- und Brennstoffe** besitzen das Potenzial, um klimapolitische Ziele zu erfüllen

## Synthetische Kraft- und Brennstoffe



- maßgeschneiderte Produkteigenschaften
- Technologien prinzipiell bekannt
- nahezu unbegrenzte Rohstoffbasis für Power-to-„X“
- Möglichkeit der chemischen „Stromspeicherung“ incl. Transport

→ Einspeisung Erdgasnetz  
 → Kraftstoff für Otto-Motoren

→ Brennstoffzellenfahrzeuge  
 → Direkteinsatz für H<sub>2</sub>-Motoren  
 → Reaktionsgas für Hydrierprozesse

## Bedarf an alternativen Kraftstoffen

### Betrachtete Szenarien

#### Szenario 1 derzeitiger Verbrauch

- Basis: heutiger Kraftstoffverbrauch und Transportbedarf
- maximale Ausnutzung der Rahmenbedingungen für konventionelle Biokraftstoffe
- moderate Elektrifizierung (ca. 3 Mio. E-Fahrzeuge)

#### Szenario 2 Steigerung Trans- portbedarf

- wie Szenario 1
- Berücksichtigung der **Steigerung des Transportbedarfs** bis 2030 gemäß BMVI-Prognose

#### Szenario 3 EU-Referenz (D)

- Anstieg des Transportbedarfs, **starke Effizienzsteigerung** (30 %)
- moderate Elektrifizierung (ca. 2,6 Mio. E-Fahrzeuge )
- relativ großer Anteil an Dieselfahrzeugen, mäßiger Anstieg von Gasfahrzeugen

#### Szenario 4 Klimaschutzplan Referenz

- **Projektion der derzeitigen Trends in die Zukunft**
- Effizienzsteigerung (20 %)
- moderate Elektrifizierung (ca. 3 Mio. E-Fahrzeuge)

#### Szenario 5 Klimaschutzplan Elektrifizierung

- **Verkehrsverlagerung und -reduzierung**
- **starke Effizienzsteigerung** (30 %)
- **starke Elektrifizierung** (ca. 10 Mio. E-Fahrzeuge)

# Bedarf an alternativen Kraftstoffen

## Betrachtete Szenarien

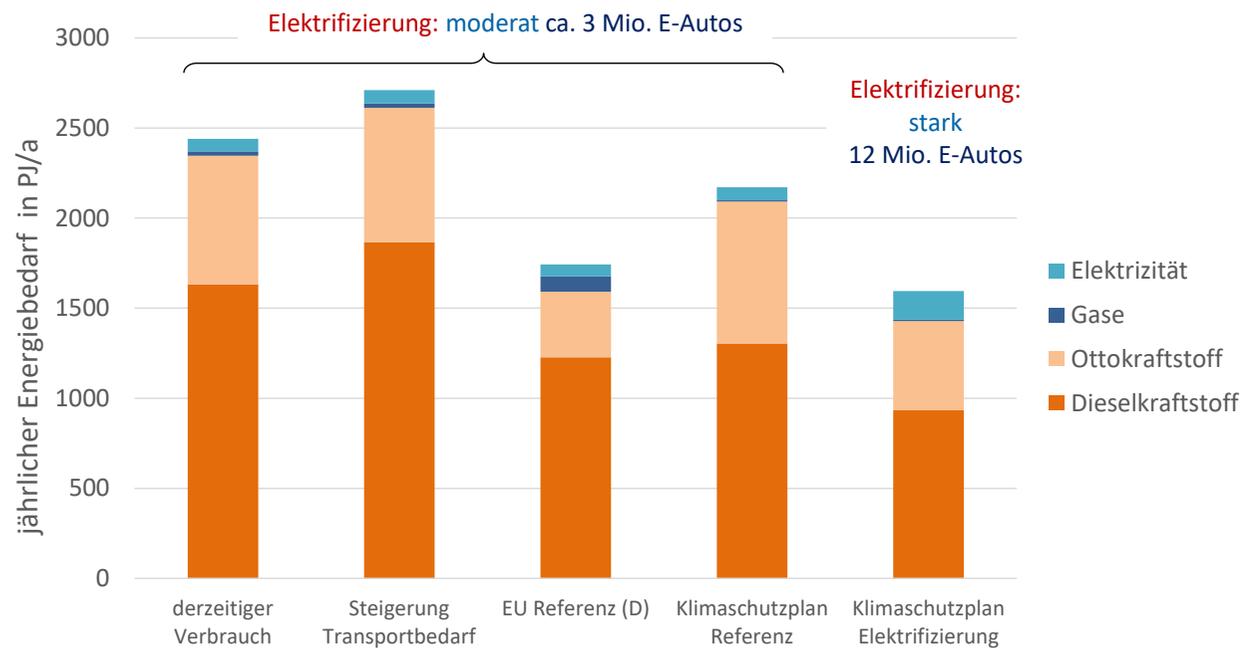
Szenario	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4	Szenario 5	
Beschreibung	derzeitiger Verbrauch	Steigerung Transportbedarf	EU Reference Szenario	Klimaschutzplan Referenzszenario	Klimaschutzplan Elektrifizierung	
<b>Transportbedarf (Straße/Schiene)</b>						
Personen (Mrd. Pers.-km)	1151	1262	1185	1213	1128	Bedarf
Güter (Mrd. Tonnen-km)	620	838	691	763	693	
<b>Energiebedarf (PJ)</b>						
gesamt	2439	2711	1741	2171	1596	Effizienz
• Dieselkraftstoff	1632	1866	1227	1304	934	
• Ottokraftstoff	714	746	364	788	495	
• Gase	24	25	84	8	7	
• Elektrizität	69	74	66	71	160	
davon:						
Straße	28	28	24	28	111	
Schiene	41	46	43	43	49	
<b>Anzahl E-Autos (10.000 km, 25 kWh/100 km)</b>						
Millionen Stück	3,1	3,1	2,6	3,1	10,0 <sup>*)</sup>	Elektrifizierung

Basis

<sup>\*)</sup> 12.000 km/a

## Bedarf an alternativen Kraftstoffen

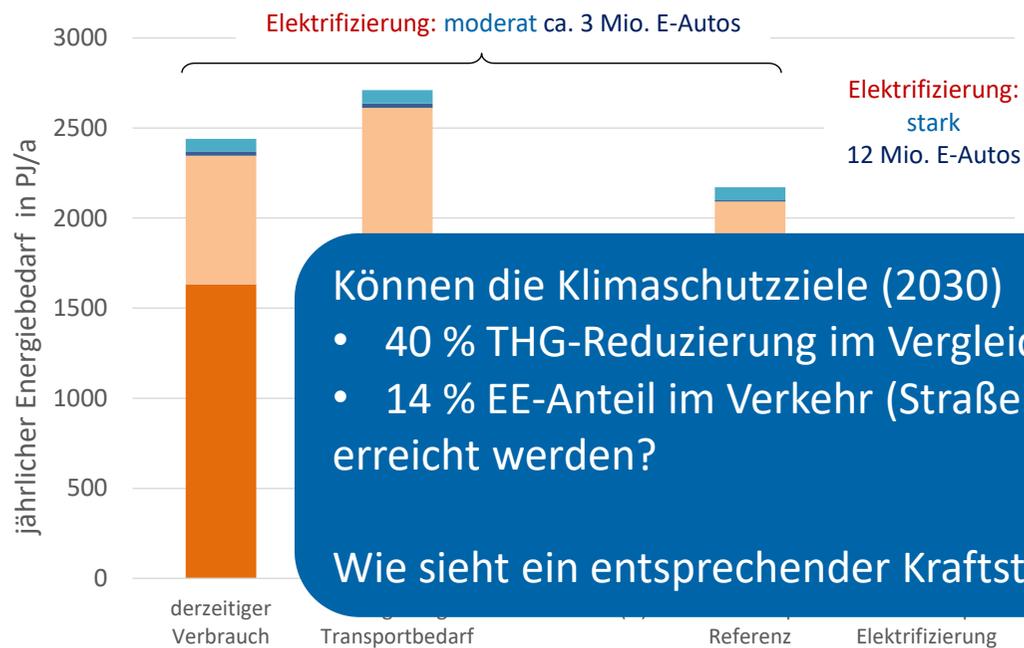
# Prognose für Energiebedarf im Verkehr (D, 2030)



- Szenarien 2 bis 4 berücksichtigen Steigerung des Transportbedarfs
- Reduzierung des Endenergieverbrauchs in den Szenarien 3 bis 5 durch Effizienzsteigerung
- Szenario 5 mit geringstem Energiebedarf (→ hohe Effizienzsteigerung und Elektrifizierung)

## Bedarf an alternativen Kraftstoffen

# Prognose für Energiebedarf im Verkehr (D, 2030)



Können die Klimaschutzziele (2030)

- 40 % THG-Reduzierung im Vergleich zu 1990
- 14 % EE-Anteil im Verkehr (Straße und Schiene) erreicht werden?

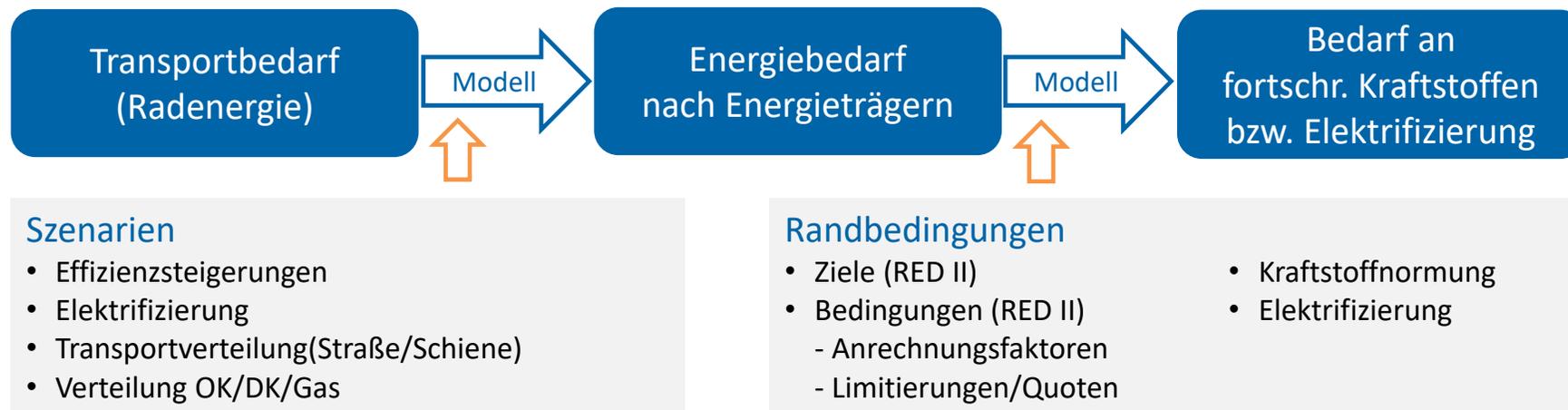


Wie sieht ein entsprechender Kraftstoff-Mix aus?

- Szenarien 2 bis 4 berücksichtigen Steigerung des Transportbedarfs
- Reduzierung des Endenergieverbrauchs in den Szenarien 3 bis 5 durch Effizienzsteigerung
- Szenario 5 mit geringstem Energiebedarf (→ hohe Effizienzsteigerung und Elektrifizierung)

## Modellierung

# Schematische Darstellung der Modellierung

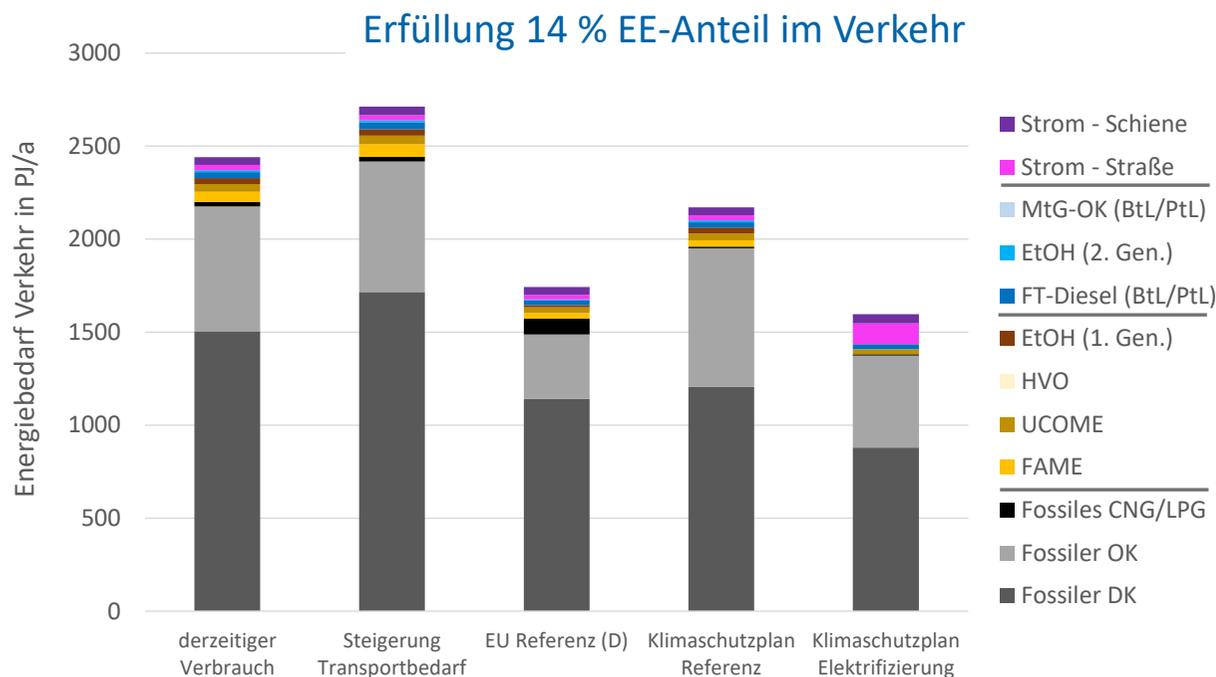


## Vorgehensweise

1. Schritt: sukzessive Berechnung
  - der maximal anrechenbaren bzw. zulässigen Anteile an **Biodiesel, UCOME, 1G-Ethanol, HVO** sowie
  - der minimalen Menge an **fortschrittlichen Biokraftstoffen** (Annex IX A-Kraftstoffe)
2. Schritt: **Berechnung der zusätzlich notwendigen Energiemengen zur Erfüllung der Klimaziele**
  - entweder **fortschrittliche Kraftstoffe** (FT-Diesel bis max. 26 Vol.-% und synthetisches Benzin)
  - oder **Strombedarf**

## Ergebnisse

# Prognose Endenergiebedarf im Verkehr D (2030)

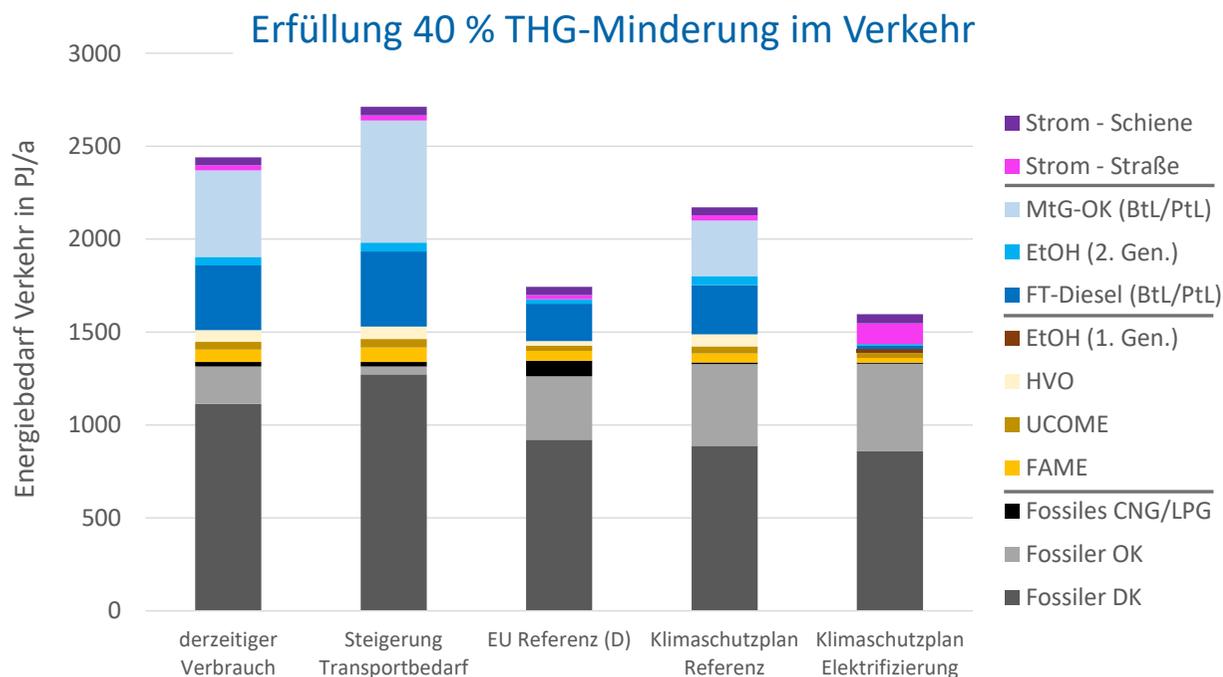


Bedarf an alternativen Kraftstoffen:  
**55 bis 200 PJ,**  
 davon fortschr. Kraftstoffe: **30 bis 50 PJ**

- 14%-Ziel weitgehend mit verfügbaren Biokraftstoffen erreichbar
- Hintergrund: Mehrfanganrechnung von fortschrittlichen Kraftstoffen und Elektroenergie

## Ergebnisse

# Prognose Endenergiebedarf D (2030)



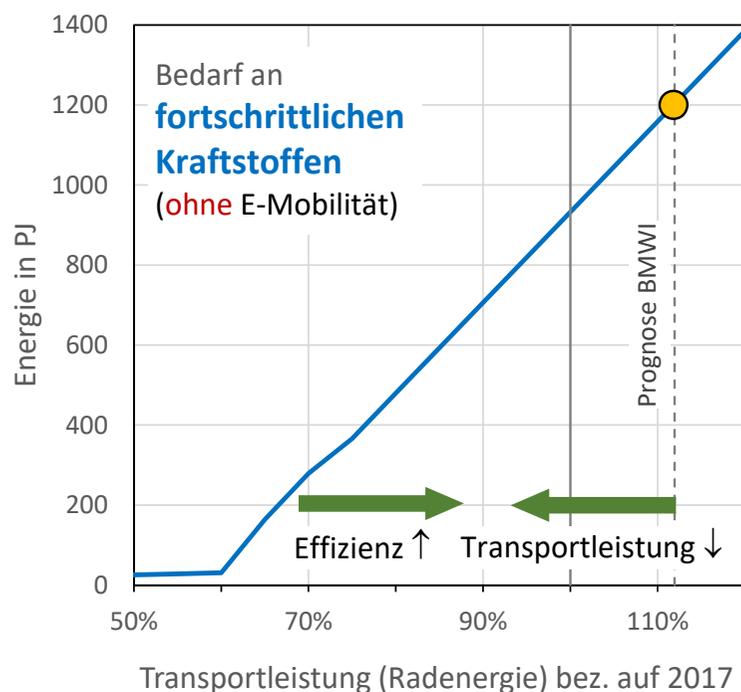
Bedarf an alternativen Kraftstoffen:  
**100 bis 1300 PJ**,  
 davon fortschr. Kraftstoffe: **30 bis 1100 PJ**

- für die Erfüllung des 40%-Ziels fortschrittliche Kraftstoffe erforderlich (wenn Zumischgrenze für paraffinische Produkte erreicht → synthetisches Benzin)
- zusätzlich technische und logistische Effizienzsteigerungen notwendig

## Ergebnisse

# Bedarf an fortschrittlichen Kraftstoffen

Erfüllung 40 % THG-Minderung

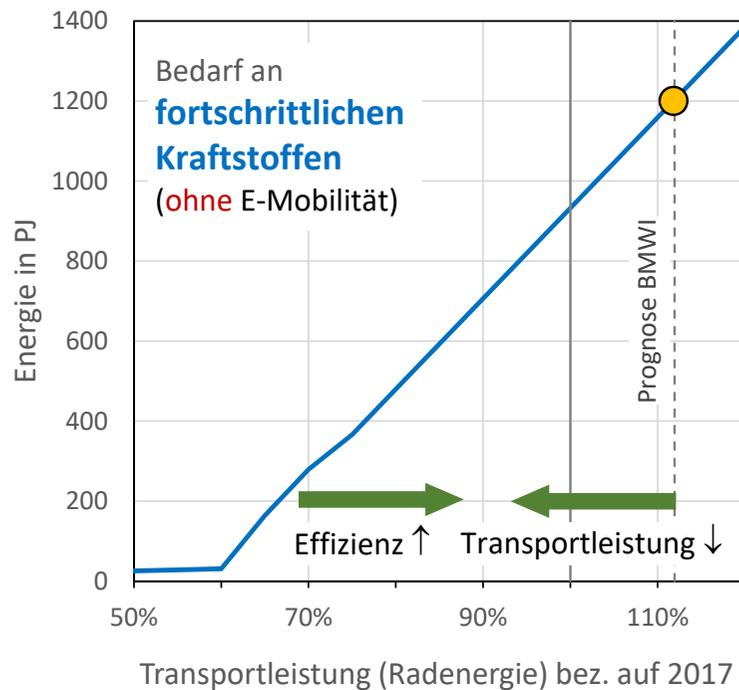


- Bedarf an fortschrittlichen Kraftstoffen zur Erfüllung des 40%-Ziels in Abhängigkeit vom der Transportleistung (relativ bez. auf 2017)
- alternative Kraftstoffe entsprechend Forderungen RED II
- Transportleistung als „Radenergie“ →  $\eta$ -unabhängig
- Effizienzsteigerungen → Bedarfskurve verschiebt sich nach rechts
- geringere Transportleistung → Arbeitspunkt bewegt sich nach links

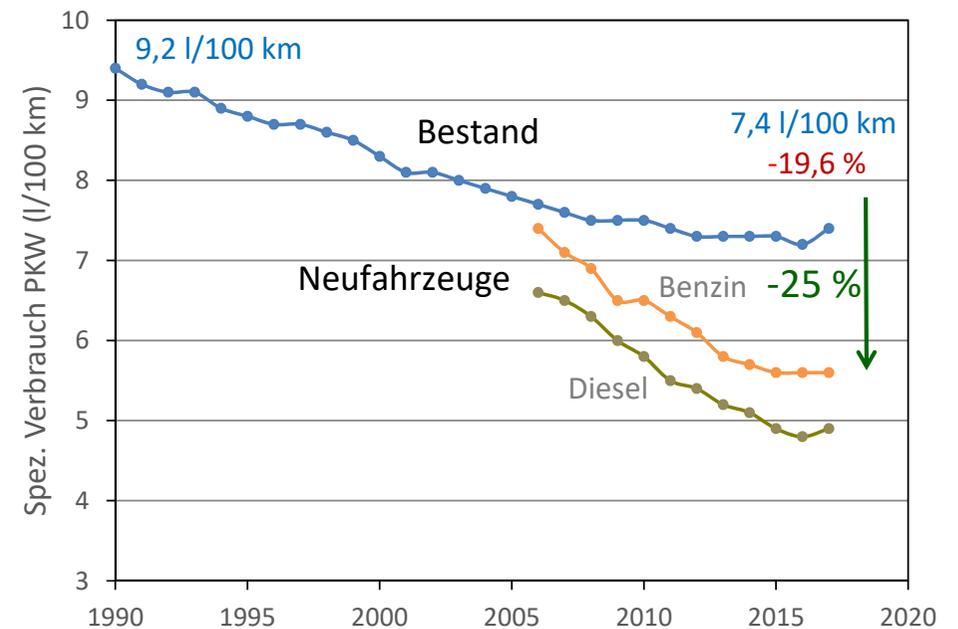
• Energiebedarf gesamt (Transport):	2.750 PJ
• <b>Fortschrittliche Kraftstoffe:</b>	<b>1.200 PJ</b>
• Strombedarf Straße:	0 PJ
• Strombedarf Schiene:	46 PJ

## Bedarf an fortschrittlichen Kraftstoffen

Erfüllung 40 % THG-Minderung



Spezifischer Kraftstoffverbrauch

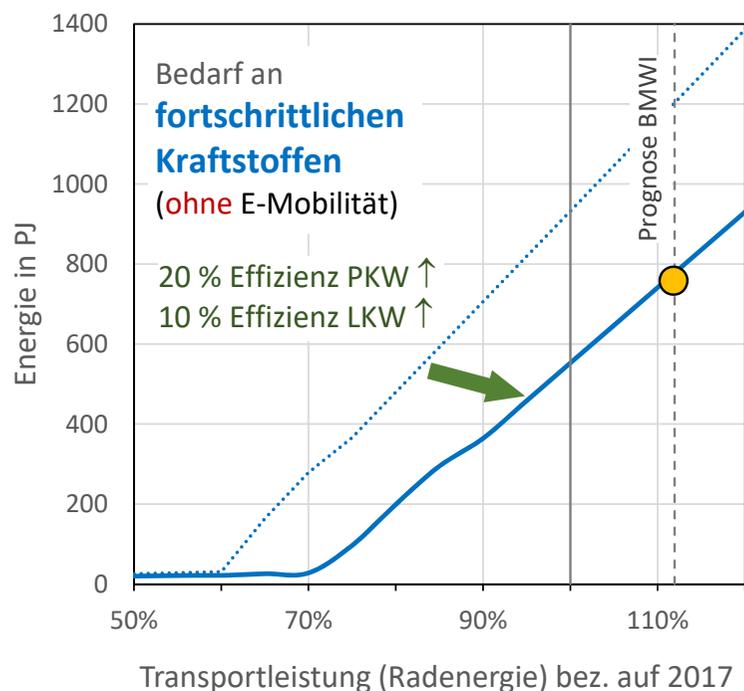


Quelle: BMVI: Verkehr in Zahlen 2018/2019; Umweltbundesamt

## Ergebnisse

# Bedarf an fortschrittlichen Kraftstoffen

Erfüllung 40 % THG-Minderung



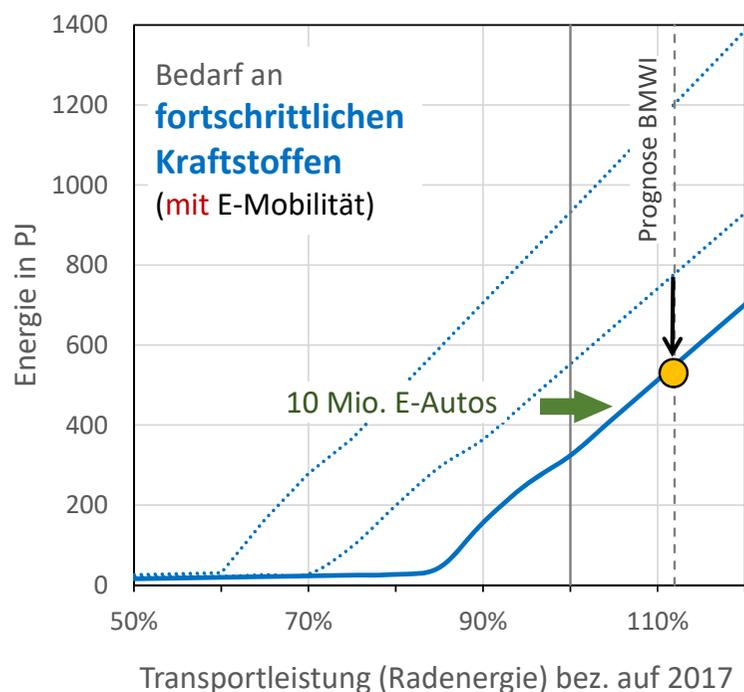
- Technisch realistische Effizienzsteigerung bei Antriebstechnik führt zu Verschiebung der Bedarfskurve (Lage, Anstieg)
- Reduzierung Gesamtenergiebedarf und des Bedarfs an Fortschrittlichen Kraftstoffen

• Energiebedarf gesamt (Transport):	2.300 PJ
• <b>Fortschrittliche Kraftstoffe:</b>	<b>760 PJ</b>
• Strombedarf Straße:	0 PJ
• Strombedarf Schiene:	46 PJ

## Ergebnisse

# Bedarf an fortschrittlichen Kraftstoffen

Erfüllung 40 % THG-Minderung



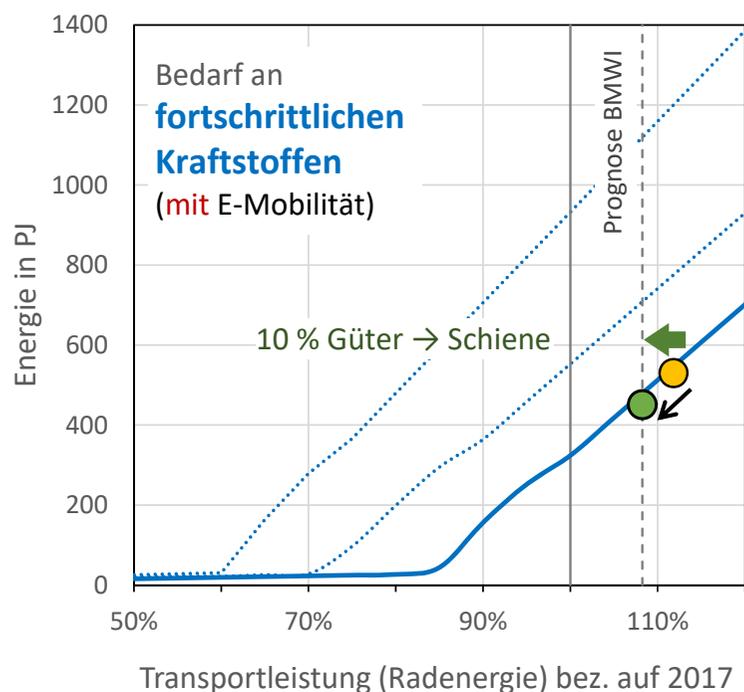
- Für Berechnung starke Elektrifizierung des Straßenverkehrs unterstellt (Annahme Klimaschutzplan Elektrifizierung):  
10 Mio. E-Autos (à 12.000 km/a)
- Wirkungsgradvorteil ca. Faktor 2 -2,5
- CO<sub>2</sub>-Fussabdruck des Strom wird nicht dem Verkehr zugeordnet  
2018: 132 g/MJ  
2030: 65 g/MJ

• Energiebedarf gesamt (Transport):	2.150 PJ
• Fortschrittliche Kraftstoffe:	530 PJ
• Strombedarf Straße:	110 PJ
• Strombedarf Schiene:	46 PJ

## Ergebnisse

# Bedarf an fortschrittlichen Kraftstoffen

Erfüllung 40 % THG-Minderung



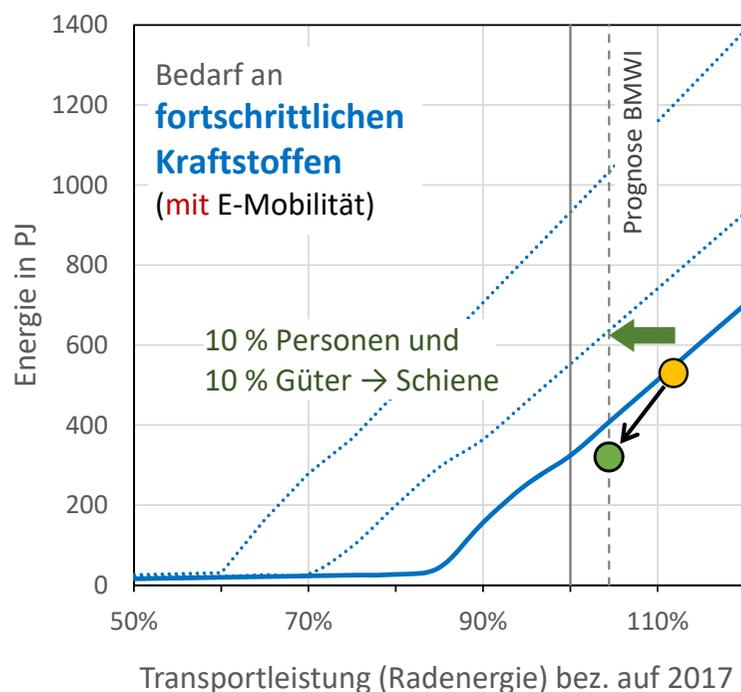
- Verkehrsverlagerung von Straße auf Schiene: Steigerung der „logistischen Effizienz“
- für gegebene Transportleistung weniger Radenergie erforderlich  
→ im Diagramm wandert Bedarfslinie nach links

• Energiebedarf gesamt (Transport):	2.110 PJ
• <b>Fortschrittliche Kraftstoffe:</b>	<b>450 PJ</b>
• Strombedarf Straße:	<b>110 PJ</b>
• Strombedarf Schiene:	<b>63 PJ</b>

## Ergebnisse

# Bedarf an fortschrittlichen Kraftstoffen

Erfüllung 40 % THG-Minderung



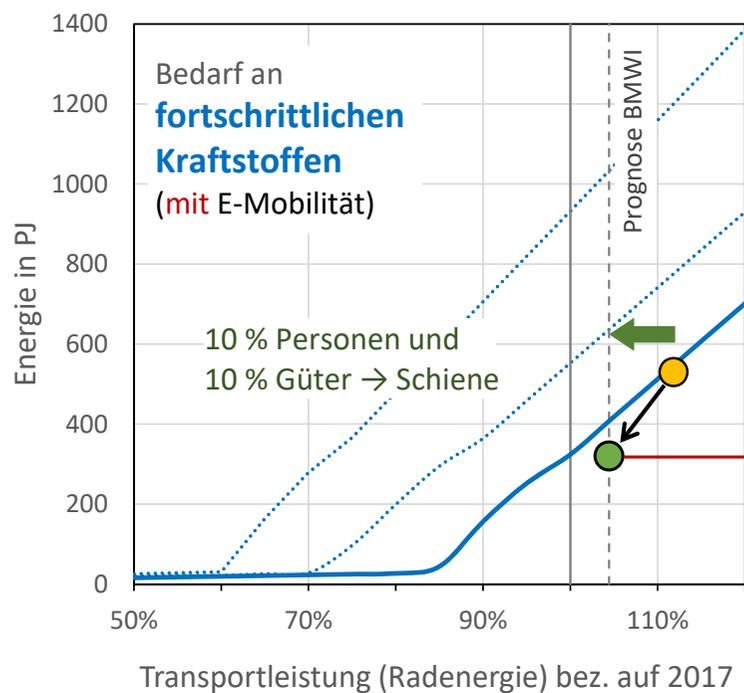
- Verkehrsverlagerung von Straße auf Schiene: Steigerung der „logistischen Effizienz“
- für gegebene Transportleistung weniger Radenergie erforderlich → im Diagramm wandert Bedarfslinie nach links
- Arbeitspunkt liegt unterhalb der Bedarfskurve, da Bahnverkehr elektrisch

• Energiebedarf gesamt (Transport):	1.990 PJ
• <b>Fortschrittliche Kraftstoffe:</b>	<b>320 PJ</b>
• Strombedarf Straße:	110 PJ
• Strombedarf Schiene:	86 PJ

# Ergebnisse

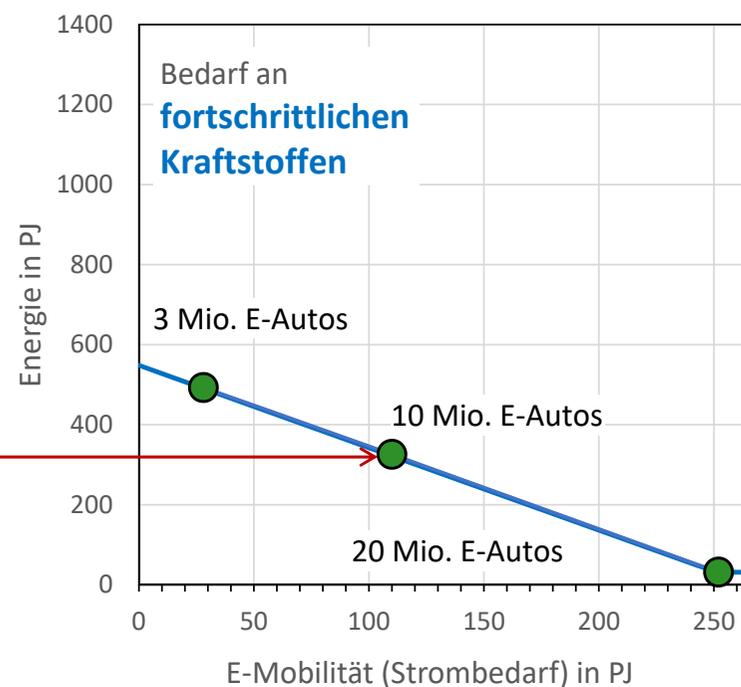
## Bedarf an fortschrittlichen Kraftstoffen

Erfüllung 40 % THG-Minderung



320 PJ  
 ≈ 7,5 Mio. t

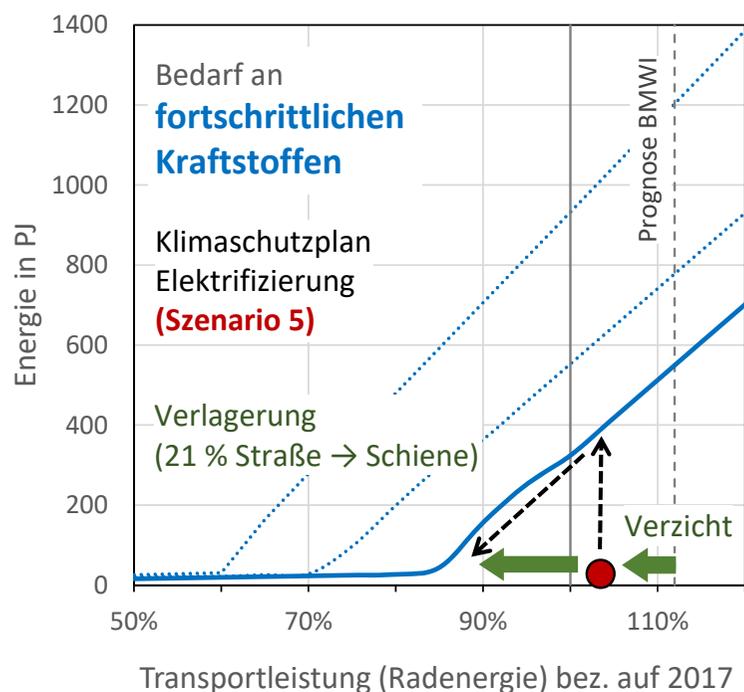
Erfüllung 40 % THG-Minderung



## Ergebnisse

# Bedarf an fortschrittlichen Kraftstoffen

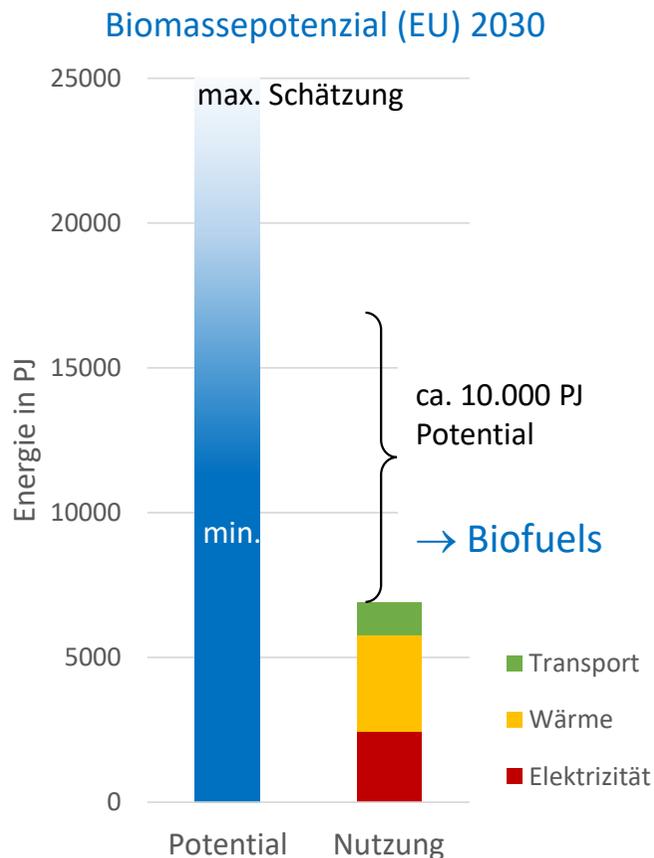
Erfüllung 40 % THG-Minderung



- Elektrifizierungsszenario des Klimaschutzplan basiert auf geringerem Transportbedarf (Verzicht gegenüber Prognose)
- Szenario kommt ohne zusätzliche fortschrittlichen Kraftstoffe aus  
→ Erhebliche „logistische“ Effizienzverbesserungen (Verkehrsverlagerung) erforderlich
- neben dem Verzicht müssten etwa 20 % des Verkehrs (Personen und Güter) von der Straße auf die Schiene verlagert werden (→ 121 PJ Strom)

• Energiebedarf gesamt (Transport):	1.600 PJ
• <b>Fortschrittliche Kraftstoffe:</b>	<b>28 PJ</b>
• Strombedarf Straße:	<b>110 PJ</b>
• Strombedarf Schiene:	<b>49 PJ</b>

## Biomassepotenzial - Nutzungskonkurrenz

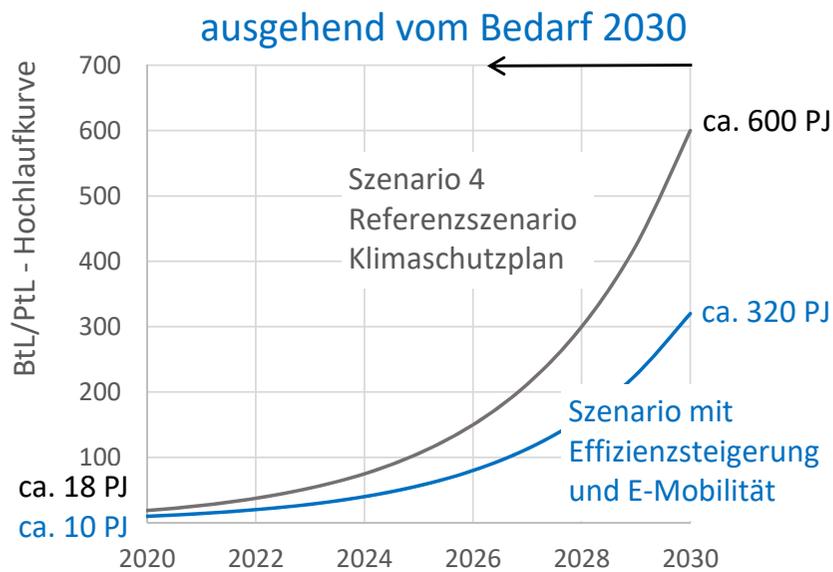


- Bioenergie wird heute EU-weit gehandelt
- Aufteilung des Potenzials entsprechend Bevölkerungsanteil (D: 16 %)
- Zusätzliches freies Potenzial ca. 10.000 PJ davon für D: 1.600 PJ
- Fortschrittliche Biokraftstoffe: ca. 800 PJ = 19 Mio. Tonnen

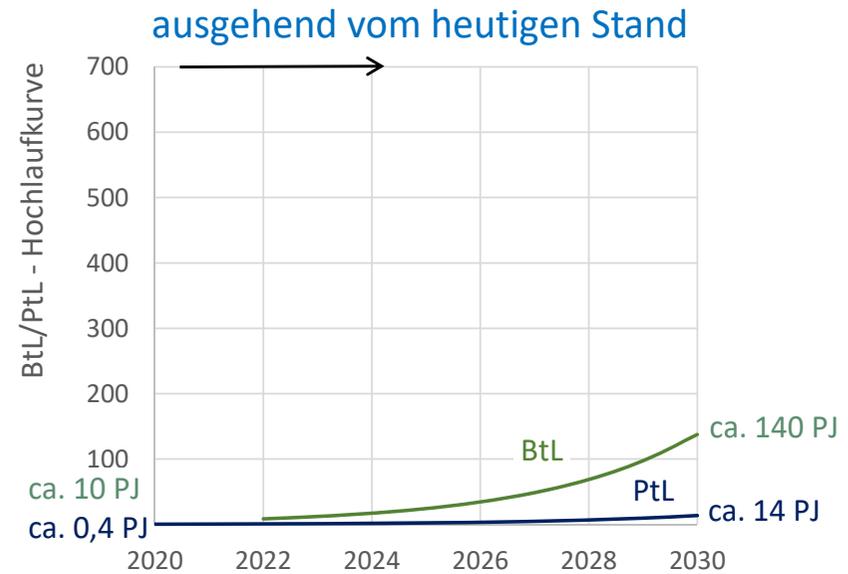
Prognose Nutzung: *Sustainable and optimal use of biomass for energy in the EU beyond 2020.* (2017)

# Prognose – Technologiehochlauf

## Hochlaufkurven



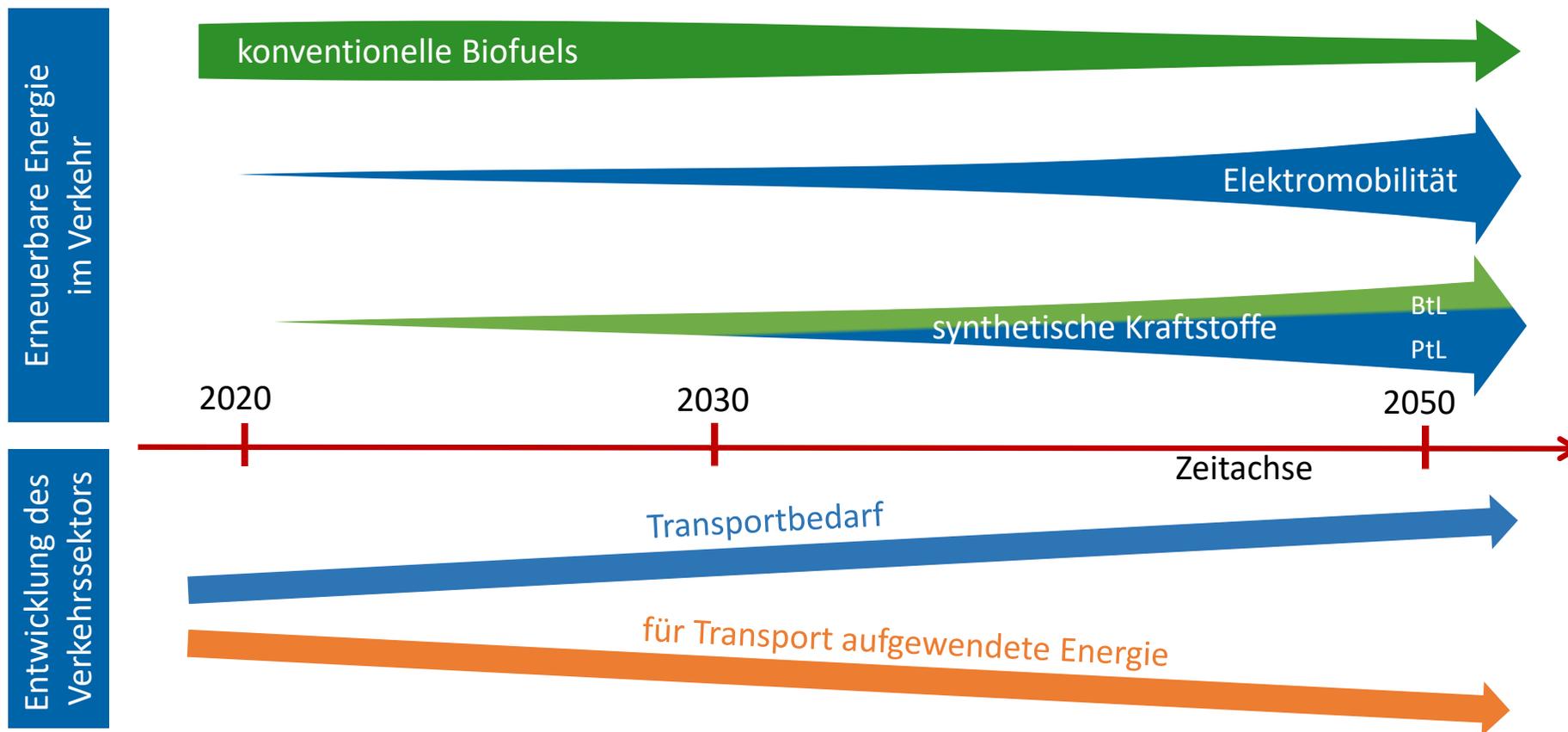
Annahme: Verdopplungzeit Kapazität 2 Jahre



Annahme: Verdopplungzeit Kapazität 2 Jahre

- bei Verdopplung der Kapazität aller 2 Jahre:
  - 2020: ca. **3 %** → 2025: ca. **18 %**
  - der benötigten Kapazität für 2030
- aktuell meist Demoanlagen in Betrieb
- E-Fuels tragen erst nach 2030 zur Absenkung der THG-Emissionen bei
- **Dringender Handlungsbedarf** (Berücksichtigung Planungsphase!!)

## Entwicklung bis 2050 (schematisch)



### Zusammenfassung



- mit verfügbaren Biokraftstoffen und moderater Elektrifizierung ist 14%-Ziel 2030 erreichbar
- THG-Minderung von 40 % im Verkehr setzt erhebliche Menge an fortschrittlichen Kraftstoffen voraus, selbst bei ambitionierter Elektrifizierung
- ohne THG-reduzierte Kraftstoffe erhebliche Effizienzverbesserungen (technisch und logistisch) und Verzicht erforderlich
- Abschätzungen zum Markthochlauf zeigen dringenden Handlungsbedarf
- gegenwärtiger Entwicklungsstand legt nahe, dass der Hochlauf für BtL-Technologien schneller als für E-Fuels gelingt
- die für die Erfüllung der Ziele 2030 erforderliche Biomasse steht europaweit zur Verfügung, auch unter Einbeziehung der Nutzungskonkurrenzen zum Strom- und Wärmemarkt
- für ambitionierte Ziele 2050 ist Biomassepotenzial nicht ausreichend, langfristig daher PtX erforderlich

