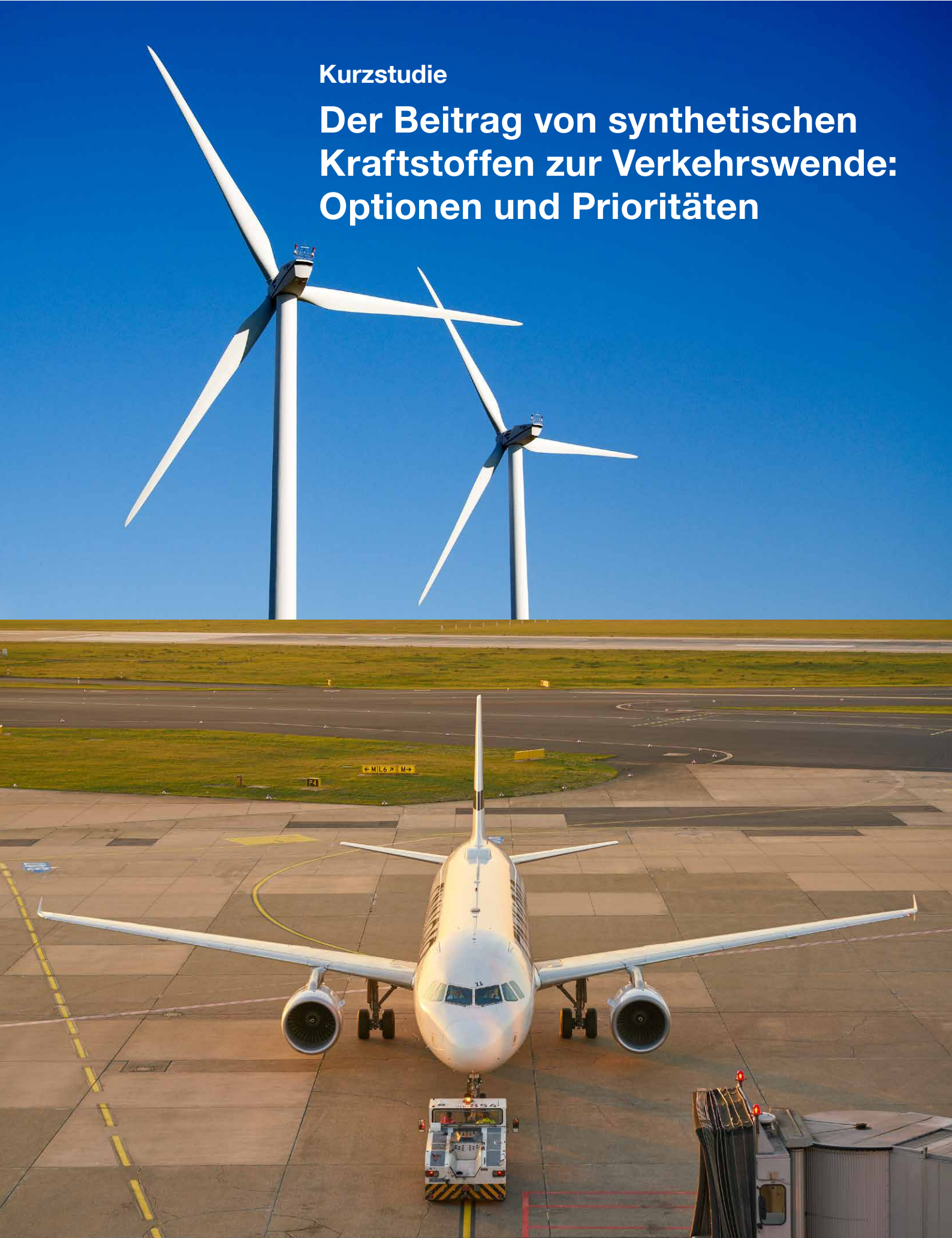


Kurzstudie

Der Beitrag von synthetischen Kraftstoffen zur Verkehrswende: Optionen und Prioritäten



Kurzstudie | April 2019

Der Beitrag von synthetischen Kraftstoffen zur Verkehrswende: Optionen und Prioritäten

Kurzstudie im Auftrag von
Greenpeace Deutschland

Dr.-Ing. Frederic Rudolph

Titel:

Der Beitrag von synthetischen Kraftstoffen zur Verkehrswende:
Optionen und Prioritäten

Datum: April 2019

Autor und Kontakt:

Dr.-Ing. Frederic Rudolph
E-Mail: frederic.rudolph@wupperinst.org
Telefon: +49-202-2492-230
Twitter: @fre_rud

Qualitätssicherung:

Prof. Dr.-Ing. Manfred Fishedick
Frank Merten

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	2
1 Rahmenbedingungen der Verkehrswende	3
2 Technische Einsatzmöglichkeiten und assoziierter Strombedarf	4
3 Die Möglichkeiten zur THG-Reduktion im Vergleich	7
4 Volkswirtschaftliche Effekte	12
5 Schlussfolgerungen	16
6 Literaturverzeichnis	17

1 Rahmenbedingungen der Verkehrswende

Diese Kurzstudie thematisiert den möglichen Beitrag von synthetischen Kraftstoffen zur Verkehrswende. Dabei werden Optionen ihrer Anwendung sowie ihre Vor- und Nachteile diskutiert und auf dieser Basis Prioritäten für deren Zukunft benannt.

In Hinblick auf die deutschen und internationalen Klimaschutzziele ist ein schneller und signifikanter Kurswechsel nötig, denn die klimarelevanten Emissionen im deutschen Verkehrssektor stagnieren seit Jahrzehnten: Im Jahr 1990 lagen die Treibhausgasemissionen im Sektor Verkehr bei 164 Mio. t CO₂e, im Jahr 2017 lagen sie mit 170,6 Mio. t sogar über dem Wert von 1990. Das Sektorziel der Bundesregierung, welches unter der Maßgabe erarbeitet worden war, den Klimawandel auf im globalen Mittel unter 2°C zu begrenzen, liegt für 2030 bei 95-98 Mio. t CO₂e (BMU 2016).

Berechnungen der einschlägigen Klimamodelle zufolge sollten die CO₂-Emissionen weltweit bis zur Jahrhundertmitte netto bei Null liegen, wenn der Temperaturanstieg gemäß dem Paris Agreement auf 1,5°C beschränkt werden soll (-45% in 2030 gegenüber 2010). Eine Begrenzung auf 2°C würde erfordern, dass dieses Ziel im Zeitraum 2065 bis 2080 zu erreichen wäre (-25% bis 2030, IPCC 2018).

Der Sachverständigenrat für Umweltfragen hatte bereits im Jahr 2005 in einem Sondergutachten die Strategie des Vermeidens, Verlagerns und Verbesserns als Gegenentwurf zum stetigen Verkehrswachstum ausgerufen (SRU 2005). Klimaschutzstrategien sehen stets eine Kombination konsistenter Maßnahmenbündel in diesen drei interdependenten Feldern vor.

Die Übersetzung des Dreiklangs aus Vermeiden, Verlagern und Verbessern bedeutet für den Klimaschutz u.a. die Beantwortung der Frage, wieviel erneuerbare Energien für den Sektor Verkehr bereitgestellt werden können und wie das Verkehrssystem unter dieser Bedingung sozio-ökonomisch möglichst vorteilhaft organisiert wird.

Synthetische Kraftstoffe können auf Basis erneuerbarer Energien produziert werden. Deren Potenziale in Deutschland sind seit der Jahrtausendwende vielfach diskutiert und analysiert worden. Gemäß einer Zusammenstellung von Wuppertal Institut/IEEJ/DIW Econ (2017) auf Basis von UBA (2014) und BMVI (2015) bemessen sich die technisch-ökologischen Potenziale erneuerbarer Energien in 2050 auf 1.654 TWh. Die tatsächliche Produktion lag 2018 bei 229 TWh. Im Vergleich zum aktuellen Nutzungsstand werden größere Kapazitätswachse vor allem im Bereich der Photovoltaik, Windkraft on- und offshore sowie der Geothermie für möglich gehalten. Dieses Potenzial steckt in ungefähre Größenordnung den Rahmen ab für die Stromnachfrage, wie sie in einem (nahezu) dekarbonisierten Deutschland 2050 erneuerbar bedient werden kann. Darüber hinaus gehende potenzielle Nachfrage nach Strom oder aus Strom abgeleiteten Produkten müsste importiert werden.

Vor diesem Hintergrund wird im Folgenden diskutiert, in welchen Anwendungsfeldern der Einsatz von synthetischen Kraftstoffen zweckmäßig erscheint. Es werden Einsatzmöglichkeiten dargestellt, alternative Minderungsoptionen aufgezeigt und mit den Einsatzmöglichkeiten von synthetischen Kraftstoffen verglichen, sowie ein Überblick über volkswirtschaftliche Effekte gegeben. Auf dieser Basis werden abschließend Schlussfolgerungen für den Beitrag synthetischer Kraftstoffe zur Verkehrswende abgeleitet und diese in Handlungsleitlinien (Prioritäten) übersetzt.

2 Technische Einsatzmöglichkeiten und assoziierter Strombedarf

Für klimaneutrale Individualmobilität kommen in der nahen Zukunft in erster Linie batterieelektrische Fahrzeuge in Frage. Alternativ können zukünftig Kraftstoffe marktfähig werden, die auf Basis erneuerbaren Stroms klimaneutral erzeugt werden. Bei dieser indirekten Elektrifizierung wird aus Wasser mithilfe von Strom im ersten Schritt Wasserstoff erzeugt (Elektrolyse). Dieser kann in Brennstoffzellenfahrzeugen als Kraftstoff genutzt werden oder der Wasserstoff wird in einem zweiten Schritt unter Zuführung von Kohlenstoffdioxid in synthetische gasförmige oder flüssige Kraftstoffe umgewandelt. Die entsprechenden Verfahren werden als Power-to-Gas (PtG) bezeichnet, im Fall von flüssigen synthetischen Kraftstoffen als Power-to-Liquid (PtL, vgl. Abbildung 2.1). Synthetische Kraftstoffe unterscheiden sich technisch nicht von ihrem herkömmlichen Pendant (Benzin, Diesel, Kerosin, Methan) und können in entsprechend vielfältiger Weise in heutigen Verbrennungsmotoren zum Einsatz kommen.

Synthetische Kraftstoffe verfügen über eine hohe Energiedichte und lassen sich so über lange Distanzen kostengünstig transportieren. Außerdem kann die gesamte Benzin-/Diesel-/Kerosin-Infrastruktur (Pipelines, Tankstellen) weiter genutzt werden, ebenso die bestehende Erdgasinfrastruktur (dena & LBST 2017). Vorteilhaft ist schließlich, dass synthetische Kraftstoffe langfristig stabil über Wochen, Monate und Jahre im Unterschied zu Strom gespeichert werden können und damit grundsätzlich als Speichermedium einen Beitrag zum Ausgleich des fluktuierenden Stromangebotes erneuerbarer Energien zu leisten in der Lage sind.

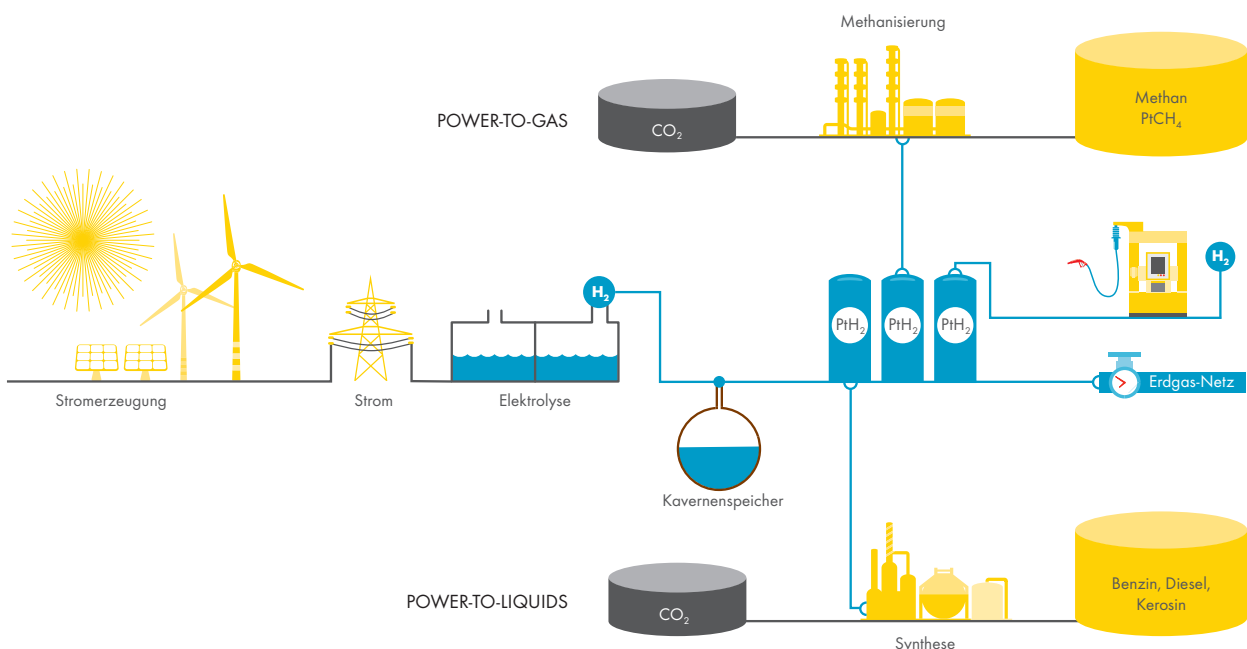


Abb. 2-1 Power-to-X Pfade. Quelle: Shell & Wuppertal Institut 2017

Die Zuführung von Kohlenstoff

Auch bei der Verbrennung synthetischer Kraftstoffe entstehen CO₂-Emissionen. Klimaneutral sind sie daher nur, wenn die gleiche Menge an CO₂-Emissionen aus anderen Prozessen eingebunden wird oder das CO₂ der Atmosphäre entzogen wird:

- Der für PtX-Konzepte nötige Kohlenstoff kann in relativ großen Mengen aus Industrieprozessen entnommen werden. Damit kann die Nutzungskaskade von CO₂ vor der Emission entsprechend verlängert werden. So lange dahinter jedoch weiterhin fossile Energieträger stehen, ist diese Nutzung und damit der synthetische Kraftstoff nicht klimaneutral. Dazu müsste diese Quelle mit einer Abtrennung aus der Luft (siehe 3. Punkt) gekoppelt werden.
- Alternativ kann der für die Syntheseprozesse notwendige Kohlenstoff auch aus Biomasse gewonnen werden. Beispielsweise entstehen in Biogas- und Kläranlagen sowie in Deponien Faulgase, die „eine gute Quelle für klimaneutrales CO₂ darstellen“ und als Quellen erschlossen werden können (Wuppertal Institut & IZES 2018, S. 11). Es handelt sich dabei in der Regel um dezentrale Anlagen mit begrenzten Potenzialen, die andere Standortfaktoren als die industriellen Quellen aufweisen.
- Schließlich kann das CO₂ auch aus der Umgebungsluft abgetrennt werden. Diese Variante ist je nach Verfahren auf der Basis der bisher verfügbaren Technologien mit hohen Kosten, Energiebedarf und Flächenverbrauch verbunden (ebd.).

Wirkungsgrade verschiedener Fahrzeugkonzepte

Gegenüber der direkten Nutzung von Strom in batterieelektrischen Fahrzeugen haben synthetische Kraftstoffe einen schlechten Wirkungsgrad: Bei der Umwandlung von Strom zu PtG oder PtL sind hohe Verluste in Kauf zu nehmen. Bei der Produktion von Wasserstoff (H₂) sind diese Umwandlungsverluste geringer als bei PtG und PtL, weil nur ein Umwandschritt benötigt wird und die Elektrolyse vergleichsweise effizient ist.

Abbildung 2.2 verdeutlicht den Gesamtwirkungsgrad der verschiedenen Antriebsarten durch eine Darstellung des benötigten Stroms für eine Fahrstrecke von 100 km.

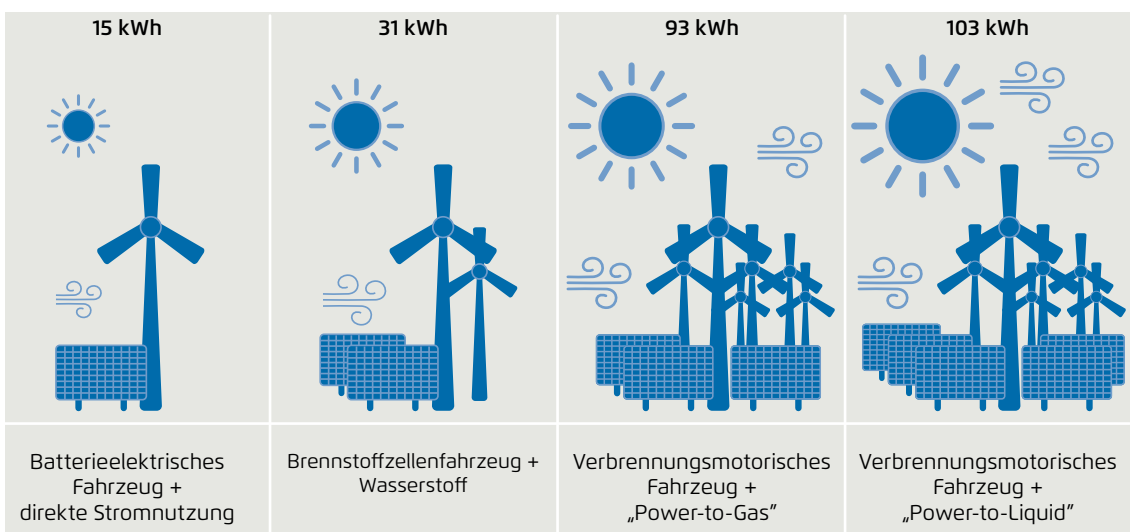


Abb. 2-2 Strombedarf aus erneuerbaren Energien für verschiedene Antriebs- und Kraftstoffkombinationen (pro 100km). Quelle: Agora Verkehrswende 2017 auf Basis von DLR/ifeu/LBST/DFZ 2015

Der Wirkungsgrad batterieelektrischer Pkw liegt gemäß Abbildung 2.2 von der Stromentnahme aus dem Netz bis zur Umsetzung in Fahrleistung bei rund 70%. H₂-Brennstoffzellen-Pkw haben demnach einen Gesamtwirkungsgrad von rund 34% und der Wirkungsgrad eines verbrennungsmotorischen Pkw mit PtL liegt durch weitere Energieverluste bei der Kraftstoffsynthese, Verflüssigung und deutlich weniger effizienten Verbrennung bei unter 11%.

Die in Abbildung 2.2 aufgeführten vier Optionen können zukünftig auch kombiniert werden, etwa als H₂-Hybrid-Pkw, welche eine wasserstoffbetriebene Brennstoffzelle als Range Extender für die Fahrzeugbatterie nutzen können, oder als PtL-Diesel-Sattelzüge mit zusätzlichem Elektromotor, die auf bestimmten Bundesautobahnen über Oberleitungen einen hohen elektrischen Fahranteil aufweisen.

Da batterieelektrisch betriebene Fahrzeuge aufgrund technologischer Verbesserungen und Fortschritte bei den Materialien immer höhere Reichweiten haben, werden sie zunehmend alltagstauglich. Je länger gefahrene Strecken werden, je weniger Schnellladestationen zur Verfügung stehen und je schwerer die Fahrzeuge sind, desto eher kommen allerdings andere Antriebe bzw. Kraftstoffe in Frage.

Das Wuppertal Institut (2017) hat in seinem Dekarbonisierungsszenario 2035 für Pkw vor diesem Hintergrund ein Szenario entwickelt, das von einer möglichst weitgehenden direkten Elektrifizierung ausgeht, nur bei mittelgroßen und großen Pkw ist der Anteil von H₂-Brennstoffzellenfahrzeugen und H₂-Hybrid-Fahrzeugen nennenswert (26%). Allerdings haben große Pkw nur einen geringen Marktanteil von 9%. Der Anteil verbrennungsmotorisch betriebener Pkw liegt im Szenario nur noch bei insgesamt 2%.

Als Option für lange Distanzen kommen im Personenverkehr zudem die schienengebundenen Verkehrsmittel und Fernbusse in Frage. Darüber hinaus kann der Anteil langer Distanzen durch Maßnahmen der Verkehrsvermeidung reduziert werden.

Im Güterverkehr sind klimaneutrale Alternativen zu synthetischen Kraftstoffen aufgrund des schieren Gewichts der Nutzfahrzeuge begrenzt und die Strategie der Verkehrsverlagerung weniger flexibel umsetzbar. Grundsätzlich besteht zwar die Möglichkeit der verstärkten Nutzung von Bahn und Binnenschiff, allerdings nur unter der Voraussetzung von massiven zusätzlichen Investitionen in die Infrastrukturen und einer verbesserten Steuerung. Flugverkehr ist klimaneutral generell nur über synthetische Kraftstoffe denkbar, deren Nutzung kann lediglich über Effizienz, Vermeidung und Verlagerung auf bestimmten Strecken eingeschränkt werden.¹

Als Zwischenfazit ist festzuhalten, dass der Einsatz von synthetischen Kraftstoffen mit hohem Strombedarf wegen hoher Wirkungsgradverluste einhergeht. Aufgrund technischer Fortschritte werden sich die Wirkungsgradverluste entlang der Prozesskette mit ziemlicher Sicherheit in signifikantem Umfang auf der Zeitachse reduzieren lassen, an den Relationen zum direktelektrischen Antrieb ändert dies aber nichts. Im landgebundenen Verkehr bieten sich für die verschiedenen Anwendungsfälle sinnvolle Alternativen.

¹ Ein massiver Einsatz von Biomasse wird an dieser Stelle nicht als Option betrachtet. Ohnehin ist fraglich, in welchem Ausmaß Biomasse über das Wechselspiel aus direkter und indirekter Landnutzung klimaneutral verwendbar ist.

3 Die Möglichkeiten zur THG-Reduktion im Vergleich

Die Verkehrsnachfrage in Deutschland setzt sich aus den verschiedenen Fahraufwänden der einzelnen Verkehrsträger zusammen. Das Flugzeug und der Pkw im Personenverkehr, sowie der Straßengüterverkehr weisen hohe spezifische Emissionen auf. Deren Verkehrsaufwände sind in der Konsequenz besonders klimarelevant.

Abbildung 3.1 vergleicht die Verkehrsaufwände (in Personenkilometer) verschiedener Klimaschutzszenarien, der Verkehrsverflechtungsprognose und dem IST 2015.² Es zeigt sich, dass sämtliche Klimaschutzpfade in 2030 eine Reduktion des Verkehrsaufwands gegenüber der Verkehrsverflechtungsprognose als hier angenommene Referenzentwicklung vorsehen. Solche Szenarien, die einen Horizont jenseits von 2030 haben, sehen zudem eine absolute Reduktion im Vergleich zum Niveau von 2015 vor (ifeu/infras/LBST 2016 und BCG & Prognos 2018 jeweils im Jahr 2050).

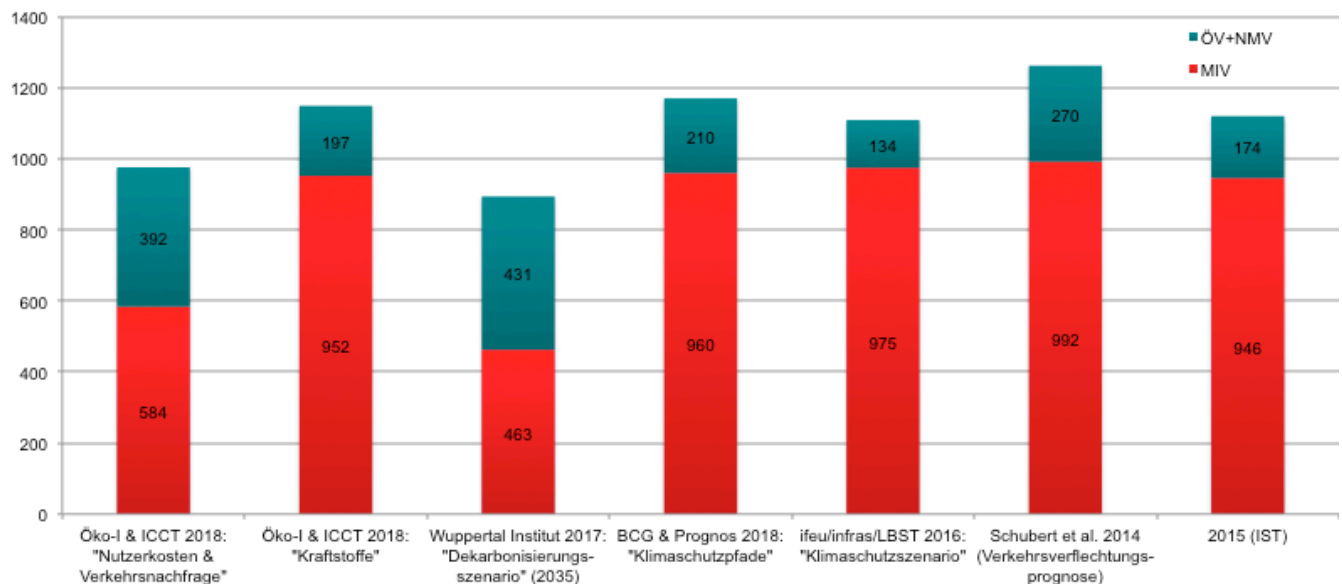


Abb. 3-1 Personenverkehrsaufwände und Verkehrsmittelanteile verschiedener Szenariostudien [Mrd. Pkm] (ohne Luftfahrt). Quelle: eigene Zusammenstellung

Abbildung 3.1 verdeutlicht außerdem die Entwicklung der modalen Anteile im Personenverkehr, indem zwischen motorisiertem Individualverkehr und nicht-motorisiertem Verkehr/öffentlichem Verkehr (ohne Luftfahrt) unterschieden wird. Hier wird deutlich, dass in der Tendenz in allen Szenarien gegenüber der Verkehrsverflechtungsprognose als Referenzentwicklung und dem IST 2015 (in Abbildung 3.1 rechts) nicht nur eine Reduktion der gesamten zurückgelegten Personenkilometer, sondern auch eine Reduktion des MIV-Anteils stattfindet.

Im Güterverkehr liegen viele einschlägige Klimaschutzszenarien (Öko-Institut & ICCT 2018; ifeu/infras/LBST 2016; IWES et al. 2015; Öko-Institut et al. 2016) im Jahr 2030 im Bereich des ermittelten Verkehrsaufwands der Verkehrsverflechtungs-

² Die Verkehrsverflechtungsprognose dient als Grundlage für die Ermittlung der Instandhaltungs- und Ausbaubedarfe bundeseigener Verkehrswege. Die erforderlichen finanziellen Mittel werden dann im Bundesverkehrswegeplan festgehalten, welcher derzeit einen Planungshorizont bis 2030 hat. Das IST bezeichnet hier die tatsächlich zurückgelegten Personenkilometer zum Vergleich mit den möglichen zukünftigen Entwicklungen und wird auch als Basisjahr bezeichnet.

prognose 2030 (837,6 tkm, Schubert et al. 2014) und weisen damit einen gegenüber heute deutlich höheren Verkehrsaufwand auf (655 Mrd. tkm in 2016, DIW 2017). Einzig die Szenariostudie aus dem Wuppertal Institut (2017) nimmt annahmehedingt (nämlich wegen der Stärkung regionaler Wirtschaftsverflechtungen) ein nur geringes Wachstum des Verkehrsaufwands im Vergleich zu heute an (710,8 Mrd. tkm in 2035). In den Klimaschutzszenarien werden die Anteile von Schiene und Binnenschiff gegenüber der Straße im Vergleich zur Verkehrsverflechtungsprognose größer. Insofern decken sich hier die Tendenzen mit dem Personenverkehr, dass alternative Verkehrsträger hinzugewinnen.

Eine Senkung der Verkehrsaufwände (Vermeidung) funktioniert in den Szenarien über veränderte Kilometerkosten und Motorisierungsraten, etwa über eine distanzbasierte Pkw-Maut. Auch im Stadtverkehr, wo in der Regel kurze Distanzen anfallen, kann durch entsprechende Steuerung eine signifikante Reduktion der Anzahl der motorisiert zurückgelegten Wege erreicht werden (siehe auch Öko-Institut et al. 2016, Wuppertal Institut 2017). Das „Klimaschutzszenario“ von ifeu/infras/LBST (2016) verweist auf die Verkehrs- und Siedlungsplanung, sowie auf die Abschaffung der Pendlerpauschale zur ökologisch sinnvollen Vermeidung.

Pkw-Umlaufsteuern, Kraftstoffsteuern oder eine distanzbasierte (Pkw-) Maut fungieren nicht nur als besonders effektive Verkehrsvermeidungs-, sondern auch als effektive Verkehrsverlagerungsmaßnahmen (vgl. Wuppertal Institut 2017, Öko-Institut & ICCT 2018). Maßnahmen, welche den Preis für Pkw-Mobilität erhöhen, gelten als reine Lenkungssteuern, wenn sie an die Bevölkerung zurückverteilt werden. Aus sozialen Gesichtspunkten ist für eine aufkommensneutrale Umsetzung ebenso Sorge zu tragen wie für die Steigerung der Verfügbarkeit alternativer Mobilitätsformen. Für die öffentliche Hand sind derartige Instrumente abgesehen von den Umsetzungskosten haushaltsneutral (Öko-Institut et al. 2016, Wuppertal Institut 2017). Auf kurzen Wegen im Stadtverkehr sind Verkehrsverlagerungen ebenfalls sehr wirksam (siehe auch ifeu/infras/LBST 2016 zum Fuß- und Radverkehr sowie ÖPNV).

BCG & Prognos (2018) benennen keine konkreten Politikinstrumente, bezeichnen Verlagerung aber im Personen- wie Güterverkehr als aus Klimasicht sinnvoll und effektiv. Es wird in diesem Zusammenhang auf die Notwendigkeit hingewiesen, solche Angebote auszubauen (siehe dazu auch ifeu/infras/LBST 2016).

Die Fahrzeugeffizienz

Die Erhöhung der Fahrzeugeffizienz wird in allen Klimaschutzpfaden, welche in Abbildung 3.1 aufgeführt werden, als effektives Strategieelement einbezogen. Eine Forcierung von Fahrzeugeffizienz gestalten Staaten aller Weltregionen inzwischen sehr effektiv über Standards (Atabani et al. 2011). Die EU verfügt zwar über eine Flottenemissionsnorm für Pkw, die CO₂-Emissionsstandards für schwere Nutzfahrzeuge befinden sich derzeit allerdings noch im Gesetzgebungsverfahren. Die Zielvorgabe der EU-Flottenemissionsnorm ist für die Hersteller erreichbar durch eine Kombination von Fahrzeugeffizienz, durchschnittlich kleineren Fahrzeugen und Antriebswechsel. Für die Zukunft ist eine Ausdifferenzierung in verschiedene Reduktionsziele denkbar, etwa zum spezifischen Gewicht und der Größe.

Weitere diskutierte, komplementäre Maßnahmen sind im Personenverkehr insbesondere die Einführung eines Tempolimits auf Autobahnen zur Reduktion des Ver-

brauchs, eine Veränderung der Dienstwagenbesteuerung, sowie die Erhöhung von Besetzungsgraden, etwa über Sharing Mobility (Wuppertal Institut 2017, Öko-Institut & ICCT 2018).

Die Rolle der synthetischen Kraftstoffe

Bis auf zwei Ausnahmen verwenden die in Abbildung 3.1 aufgeführten Szenarien synthetische Kraftstoffe bis 2030 nicht oder nur in geringem Umfang.

Erste Ausnahme ist das Szenario des Wuppertal Instituts (2017), welches einen nationalen Strombedarf von 70 TWh für synthetische Kraftstoffe (im Güterverkehr) vorsieht. Gleichzeitig liegt der Strombedarf für den Verkehr insgesamt in diesem Szenario wegen der umfangreichen Vermeidungs- und Verlagerungsstrategie (vgl. Abbildung 3.1) bei nur 235 TWh. Der vergleichsweise hohe Bedarf an PtL und PtG ist damit zu erklären, dass dieses Szenario das einzige in der Bandbreite der hier betrachteten Szenarien ist, welches einen 1,5°C-Pfad verfolgt und in der Konsequenz eine komplette Dekarbonisierung des Verkehrs bis 2035 vorsieht. Im Gegensatz zu den anderen Szenarien werden bereits 2035 fossiles Benzin oder Diesel nicht mehr getankt und diese (im Güterverkehr) vollständig (trotz der damit verbundenen Wirkungsgradverluste) durch synthetische Kraftstoffe ersetzt.³

Zweite Ausnahme bildet das Szenario „Kraftstoffe“ von Öko-Institut & ICCT (2018). Hier wird explizit auf synthetische Kraftstoffe gesetzt, wobei 2030 zusätzlich noch immer die fossilen Kraftstoffe Benzin und Diesel zum Einsatz kommen, die Kombination aber so gewählt wird, dass unter dem Strich mit der Begrenzung der Emissionen auf 98 Mio. t CO₂e das Sektorziel der Bundesregierung für 2030 erreicht wird.

In dem Szenario ergibt sich für das Jahr 2030 ein Anteil von 25 Prozent strombasierter Kraftstoffe neben 6,8 Prozent Biokraftstoffen. Außerdem werden keine Instrumente zur Verlagerung ergriffen. Allerdings kommt es durch den Anteil von 25 Prozent synthetischer Kraftstoffe „zu einer Erhöhung der Nutzerkosten im MIV, wodurch dieser um 4 Prozent gegenüber der Referenzentwicklung zurückgeht“ (ebd., S. 43).

Der Strombedarf schnellte in dieser Variante wegen der umfangreichen Verwendung synthetischer Kraftstoffe in die Höhe. Benötigt werden 363 TWh in 2030, während der Strombedarf für die anderen Fahrzeugkonzepte 22 TWh bemisst. Das Szenario stellt nach Öko-Institut & ICCT (2018, S. 41) somit lediglich eine „theoretische Betrachtung“ dar. Es treffe keine Aussage darüber, ob strombasierte Kraftstoffe in dem hinterlegten Umfang verfügbar sein könnten oder ob deren Einsatz unter Beachtung von Nachhaltigkeitskriterien überhaupt möglich und sinnvoll wäre.

Die Studie nimmt für die Herstellung der strombasierten Kraftstoffe einen Wirkungsgrad von 40% an. Zum Vergleich: Der Inlandsabsatz des motorisierten Individual- und Güterverkehrs lag 2014 in Deutschland bei 410 und 188 TWh (insgesamt 598 TWh, DIW 2017). Bei einem Wirkungsgrad von 40% würde für eine solche Nachfrage zukünftig (theoretisch) ein Strombedarf von 1.026 und 469 TWh (insgesamt 1.494 TWh) entstehen, wenn man ausschließlich PtX verwendete.

³ In der langen Frist ergäben sich weitere Effizienzpotenziale und somit eine Reduktion des Bedarfs an PtX.

Flugverkehr und Schifffahrt

Der nationale Flugverkehr spielt im dichtbesiedelten Deutschland eine nur untergeordnete Rolle und ist auch in der diskutierten Szenarioliteratur nicht im Fokus der Betrachtungen. Das Wuppertal Institut (2017) schlägt im Binnenverkehr einen Ersatz durch den Ausbau schneller Bahnverbindungen vor. Vor allem im internationalen Flugverkehr ergibt sich in Hinblick auf seine perspektivische Dekarbonisierung aber eine hohe Nachfrage nach synthetischen Kraftstoffen. Tabelle 3.1 vergleicht die Nachfrage nach Kerosin in verschiedenen Szenarien zum internationalen Flugverkehr.

Tab. 3-1 Kerosinnachfrage in verschiedenen Szenarien (Inlandsabsatz im Personenverkehr, TWh_{th}). Quelle: eigene Zusammenstellung

Region	Jahr	Aviation transport estimates (CE Delft 2016)	Reference Technology Scenario (IEA 2017)	2°C Scenario (IEA 2017)	Wachstums-schätzungen (ICAO 2016)
EU-28 (2014: 561)	2030	686	573	447	keine Angabe
	2050	keine Angabe	548	349	keine Angabe
Welt (2014: 3.161)	2030	keine Angabe	4.223	3.348	3.700
	2050	keine Angabe	5.272	3.543	6.700

Betrachtet man den europäischen Flugverkehr, so steigt ohne Klimaschutzbemühungen der Kraftstoffbedarf mittelfristig an (vgl. Aviation transport estimates von CE Delft 2016 sowie das „Reference Technology Scenario“ der IEA 2017). Global findet in allen in Tabelle 3.1 aufgeführten Szenarien ein starkes Nachfragewachstum statt, selbst das „2°C Szenario“ der IEA (2017) rechnet global mit Wachstum über das Jahr 2030 hinaus. Zum Vergleich: Der deutsche Kerosin-Inlandsabsatz lag 2014 in der Höhe von 101 TWh (DIW 2017).

Würde die in Tabelle 3.1 genannte Nachfrage über synthetisches Kerosin befriedigt, so wären entsprechende Wirkungsgradverluste hinzunehmen. Eine Dekarbonisierung des deutschen Inlandsabsatzes für den Flugverkehr erfordert damit mittelfristig Strom aus erneuerbaren Energien in der Größenordnung von 200 TWh. Die PtL-Nachfrage für einen (dekarbonisierten) Güterschiffsverkehr läge in ähnlichen Größenordnungen zum Flugverkehr (vgl. CE Delft 2016, dena & LBST 2017).

Laut IWES (2017) lassen diese Zahlen aus heutiger Sicht vermuten, dass der starke Anstieg des globalen Luft- und Seeverkehrs einen möglichen Hochlauf von PtL-Bereitstellungskapazitäten bei weitem übersteigen würde, mindestens aber an die Grenzen führen würde. Dies lässt fraglich erscheinen, ob PtL dann für andere Sektoren (z.B. den industriellen Sektor, wie die chemische Industrie) überhaupt noch zur Verfügung stehen kann.

Insgesamt kann resümiert werden, dass die Verkehrsnachfrage in den Klimaschutzszenarien im Vergleich zum Referenzfall (hier die Verkehrsverflechtungsprognose) im Personenverkehr sinken muss. Einige Szenarien modellieren im Personenverkehr sogar eine Reduktion gegenüber dem Basisjahr, im Güterverkehr nur noch ein leichtes Wachstum. Tabelle 3.2 gibt eine Übersicht über die Schwerpunkte der in Abbildung 3.1 bereits aufgeführten und hier meistdiskutierten Szenarien.

Tab. 3-2 Eckpunkte verschiedener Klimaschutzszenarien (2030/35).
Quelle: eigene Zusammenstellung, vgl. Abbildung 3.1

Szenario	Nutzerkosten & Verkehrsnachfr.	Kraftstoffe	Dekarbonisierungsszenario	Klimaschutzpfade	Klimaschutzszenario
Quelle	Ö-I&ICCT 2018	Ö-I&ICCT 2018	WI 2017	BCG&Pro. 2018	if/inf/LBST 2016
Ambition	2°	2°	1,5°	2°	2°
Schwerpunkte Personenverkehr	Vermeidung, Verlagerung, Effizienz, direkte Elektrifizierung	Effizienz, PtX	Vermeidung, Verlagerung, Effizienz, direkte Elektrifizierung	Verlagerung, Effizienz, direkte Elektrifizierung	Vermeidung, Verlagerung, Effizienz, direkte Elektrifizierung
Schwerpunkte Güterverkehr	Verlagerung, Effizienz	Effizienz, PtX	Vermeidung, Verlagerung, Effizienz, direkte Elektrifizierung, PtX	Verlagerung, Effizienz, direkte Elektrifizierung	Vermeidung, Verlagerung, Effizienz, PtX
Umfang PtX [TWh _{el}]	0	363	70	0	ca. 50

zum Vergleich:

Technisches Potenzial erneuerbarer Energien in Deutschland 2050: 1.654 TWh_{el} (WI/IEEJ/DIW Econ 2017)

Potenzielle Nachfrage nach PtL im internationalen Flugverkehr 2030: 6.000+ TWh_{el}

Nachfrage internationaler Schiffsverkehr 2030: ähnliche Größenordnungen wie im Flugverkehr

Aufgrund der großen Energienachfrage des Sektors Verkehr ist die Strategie einer schlichten Elektrifizierung der Fahrzeugflotten nicht ausreichend. Eine Verkehrswende bedeutet die Kombination von Maßnahmen: möglichst wenig Wege und geringe Distanzen im motorisierten Individual- und Straßengüterverkehr, Erhöhung der Fahrzeugeffizienz, sowie Wechsel zu kleineren Pkw. Nur dann ist eine komplette Elektrifizierung der Fahrzeugflotte, sei sie direkt oder indirekt, unter der Bedingung eines beschleunigten Ausbaus erneuerbarer Energien sinnvoll und möglich. Importe von Strom oder synthetischen Kraftstoffen aus erneuerbaren Energien⁴ können ein wichtiger Baustein für den Klimaschutz sein, allerdings sind diesem bei weltweiten Klimaschutzanstrengungen allein durch den Luft- und Seeverkehr ebenfalls potenziell mengenmäßige Grenzen gesetzt. PtX-Kraftstoffe sind bevorzugt dort einzusetzen, wo kaum Alternativen bestehen.

⁴ Als Exportländer kommen dabei vor allem die sonnen- und windreichen Regionen in Frage wie die Länder des Mittleren und Nahen Ostens, aber auch z.B. Australien und Chile.

4 Volkswirtschaftliche Effekte

Verschiedene Studien berechnen die volkswirtschaftlichen Kosten von synthetischen Kraftstoffen.⁵ Diese können als Kraftstoffgestehungskosten oder auch als Vermeidungskosten ausgewiesen werden. Erstere berechnen alle Kosten für die Stromerzeugung, Umwandlungsprozesse sowie Transport und Verteilung. Letztere setzen diese in ein Verhältnis zu den durch die Maßnahme (d.h. den Einsatz von synthetischen Kraftstoffen) eingesparten THG-Emissionen und vergleichen sie mit einem Referenzfall.

Wesentlicher kostenbestimmender Faktor sind bei den synthetischen Kraftstoffen PtG und PtL die Stromerzeugungskosten (nicht zuletzt wegen der hohen Umwandlungsverluste), sowie die Auslastung und Investitionskosten der Umwandlungsanlagen. Letztere sind kapitalintensiv und haben hohe Fixkosten. Sie benötigen daher hohe Volllaststunden und günstigen Strom (aus erneuerbaren Energien). Transportkosten sind hingegen zu vernachlässigen (Agora Verkehrswende et al. 2018).

Es zeigt sich, dass die Herstellung von synthetischen flüssigen Kraftstoffen auf Basis von Windkraftwerken in der Nordsee in den frühen 2020er Jahren etwa 20 bis 30 ct/kWh kosten könnte. Im Vergleich dazu wäre eine Kombination aus Photovoltaik und Windkraft in Nordafrika schon heute rund 40 Prozent günstiger (ebd.).

Die Kosten von synthetischen Kraftstoffen werden sich durch Skalen- und Lerneffekte mittel- bis langfristig vermutlich deutlich reduzieren und könnten unter optimistischen Annahmen auf bis zu 10 ct/kWh sinken. Abbildung 4.1 vergleicht die Ergebnisse zweier Studien (Agora Verkehrswende et al. 2018 & IWES 2017) für PtL und deren Kostenabschätzungen für 2030 und 2050 jeweils unterschieden nach Erzeugung in der Nordsee oder in Nordafrika.⁶ Im Vergleich mit den Kosten für Benzin (die hier auf rd. 6 ct/kWh abgeschätzt werden) sind synthetische Flüssigkraftstoffe im Jahr 2030 unabhängig vom Produktionsstandort gleichwohl noch immer 2-3 Mal so hoch (IWES 2017).

Entsprechend würden sich die Preise für die Endverbraucher (nach Steuern) bei der Verwendung synthetischer Kraftstoffe erhöhen: Setzt man für die Wirtschaft einen Anteil von 51 ct pro Liter fossiles Benzin und das 2,5fache für synthetisches Benzin an (127,5 ct, ohne Inflation), dann ergäben sich im Jahr 2030 bei gleichbleibendem Niveau der Energiesteuer von 65 ct und einer Umsatzsteuer von 19% Preise von 1,38 € für fossiles und 2,29 € für synthetisches Benzin.

Die Gestehungskosten einer europäischen Produktion an Offshore-Standorten übersteigen die Kosten an internationalen Standorten langfristig um den Faktor 1,6 (IWES 2017); in Abbildung 4.1, welche Windkraft offshore in der Nordsee mit einer Kombination aus Photovoltaik und Windkraft in Nordafrika vergleicht, um den Faktor 1,3.

⁵ Die betriebswirtschaftliche Sicht wird sich in der Praxis davon unterscheiden. Aus volkswirtschaftlicher Sicht sinnvolle Maßnahmen müssen sich nicht zwingend auch für einzelne Unternehmen lohnen und umgekehrt. Beispielsweise könnten Unternehmen andere Energieträgerpreise bezahlen.

⁶ Die Ergebnisse beider Studien weisen auf die große mögliche Bandbreite bei den Kosten hin, die hier nicht thematisiert wird. Die Bandbreiten entstehen über unterschiedliche Annahmen zu Kapitalkosten, Zinssätzen, Lernkurven etc. Hinsichtlich der Lernkurven sind hohe international installierte Kapazitäten an Elektrolyseuren und damit optimistische Annahmen unterstellt.

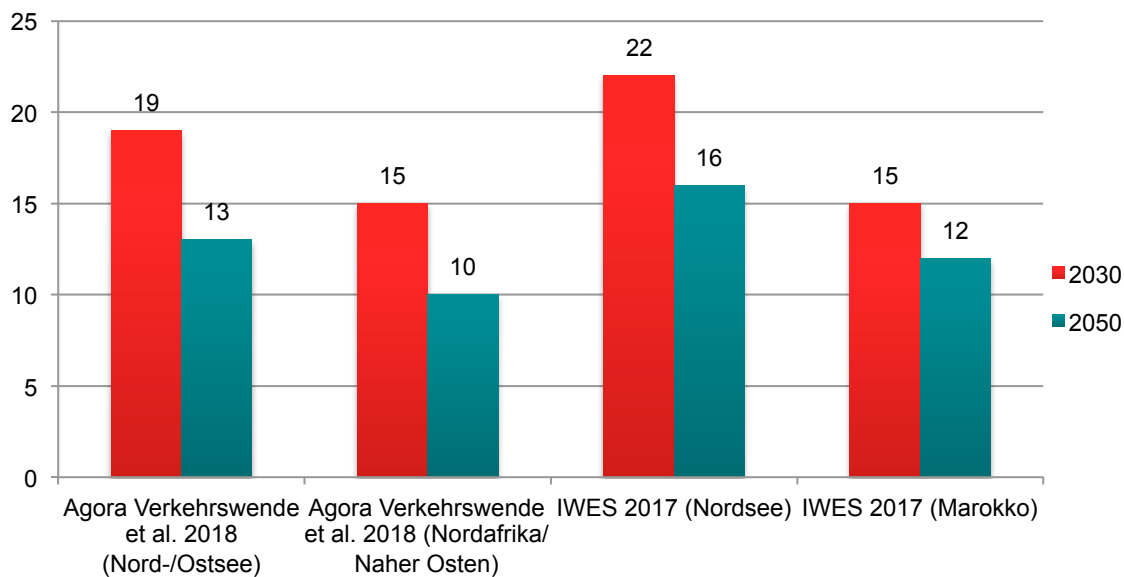


Abb. 4-1 Kosten von synthetischen Flüssigkraftstoffen [ct/kWh].

Quelle: eigene Zusammenstellung aus Agora Verkehrswende et al. 2018 und IWES 2017

Aufgrund der Kostenstruktur der synthetischen Kraftstoffe ist also wahrscheinlich, dass diese langfristig an geeigneteren Standorten im Ausland produziert und nach Deutschland importiert werden. Unabhängig von den Rahmenbedingungen in Deutschland ist davon auszugehen, dass ein globaler Markt für synthetische Kraftstoffe entstehen und der Großteil der Wertschöpfung im Ausland stattfinden wird.⁷

In diesem Zusammenhang ist kritisch zu hinterfragen, ob PtG- oder PtL-Anlagen auch perspektivisch in Deutschland wegen des geringen Aufkommens wirtschaftlich mit erneuerbarem „Überschussstrom“ betrieben werden können.⁸ Es sind „weder systemweite Stromüberschüsse noch Abregelungen Erneuerbarer-Energien-Anlagen aufgrund lokaler beziehungsweise regionaler Netzengpässe [...] in dieser Größenordnung in der absehbaren Zukunft zu erwarten“. Zudem stünden diese Anlagen in Konkurrenz zu „erheblich kostengünstigeren zuschaltbaren Lasten“ (Agora Verkehrswende et al. 2018, S. 16f.).

Die hohen Kraftstoffgestehungskosten wirken sich auch auf die Vermeidungskosten vom Ersatz von Benzin und Diesel durch synthetische Kraftstoffe aus. Diese liegen gemäß einer Studie von BCG & Prognos (2018) höher als Maßnahmen zur Verlagerung auf die Schiene und das Binnenschiff im Güterverkehr, zur Verlagerung auf Bus und Bahn im Personenverkehr, die (weitere) Elektrifizierung des Schienenverkehrs, die Fahrzeugeffizienz von Pkw und Lkw, LKW-Oberleitungen auf den meistbefahrenen Bundesautobahnen, sowie Antriebswechsel von Pkw, leichten Nutzfahrzeugen und Bussen auf Erdgas, H₂-Brennstoffzelle und Batterie. Generell wird Verlage-

⁷ Wobei damit für Deutschland dennoch beschäftigungspolitische Chancen verbunden sein können. Geopolitische Risiken und Effekte für die Handelsbilanz sind möglicherweise ähnlich wie bei fossilen Kraftstoffen.

⁸ Im Stromnetz muss sich zu jeder Zeit etwa so viel elektrischer Strom befinden wie benötigt wird. Die Differenz zwischen dem benötigten und dem erzeugten Strom schwankt aber aufgrund der fluktuierenden Einspeisung von Strom aus erneuerbaren Energien je nach Wind- und Sonnenverfügbarkeit. Kann das Stromnetz keine Energie mehr aufnehmen und stehen auch keine adäquaten Speichermöglichkeiten bereit, stellen die Betreiber derzeit ihre Anlagen ab, obwohl die Anlagen wetterbedingt Strom produzieren könnten. Dieser nicht direkt genutzte Strom wird auch als Überschussstrom bezeichnet.

rungsmaßnahmen, der Elektrifizierung des Schienenverkehrs und der Fahrzeugeffizienz von LKW mit Verbrennungsmotor in dieser Studie ein volkswirtschaftlicher Nutzen gegenüber einem Referenzfall zugerechnet (vgl. Abbildung 4.2). Die kumulierten Vermeidungskosten vom Einsatz synthetischer Kraftstoffe liegen demnach bei über 200 € pro eingesparter Tonne CO₂e gegenüber der Referenz, also der Fortschreibung laufender Anstrengungen.

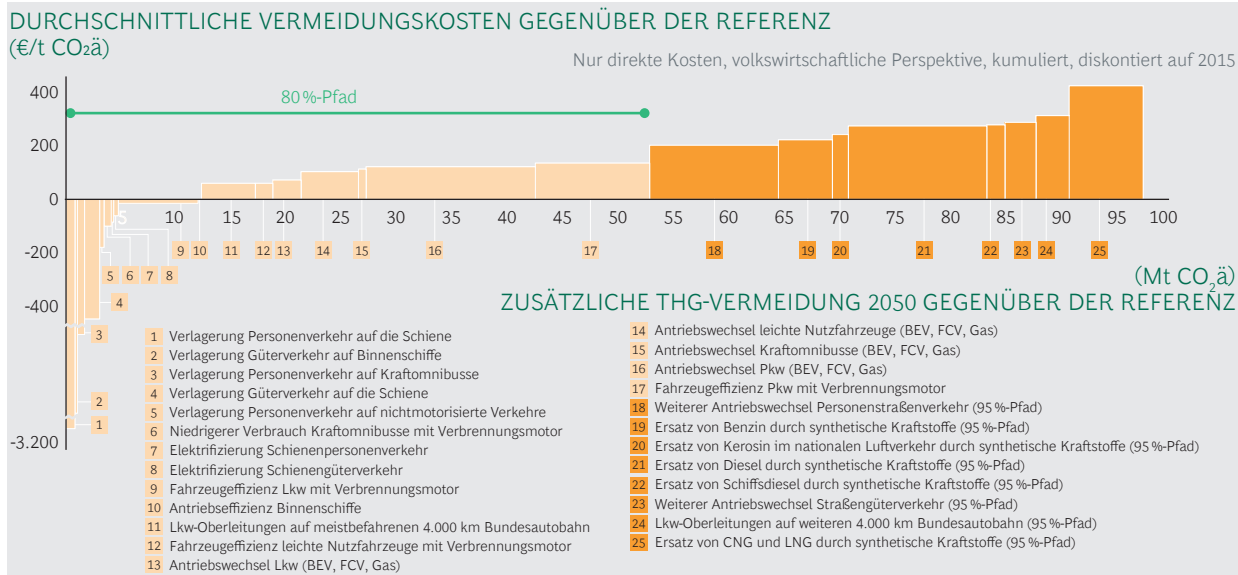


Abb. 4-2 THG-Vermeidungskostenkurve im Sektor Verkehr. Quelle: BCG & Prognos 2018 (S. 194)

THG-Vermeidung bezieht sich auf verursachte Emissionen 2050 und stellt die Abweichung gegenüber den THG-Emissionen der Referenz im Jahr 2050 dar. Vermeidungskosten zeigen direkte volkswirtschaftliche Vermeidungskosten. Sie ergeben sich aus kumulierter THG-Vermeidung 2016 – 2050, kumulierten Kosten und Einsparungen 2016 – 2050 und sind auf das Jahr 2015 diskontiert. Investitionen sind mit einem volkswirtschaftlichen Realzinssatz von 2 % annualisiert. Stromkosten wurden in allen Sektoren mit Systemkosten, Importe mit Grenzübergangspreisen bewertet. Die Maßnahmen in hellem orange umfassen einen Reduktionspfad um 80%, diejenigen in dunklem orange um 95% gegenüber 1990.

BCG & Prognos (2018) kommen daher zu dem Schluss, dass

- Verkehrsverlagerung die volkswirtschaftlichste Maßnahme ist,
- ein Ausbau von Oberleitungen für den Schwerlastverkehr verhältnismäßig geringe Mehrkosten verursacht und
- synthetische Kraftstoffe in einem Emissionsreduktionspfad von 80% bis zur Jahrhundertmitte aus Kostengesichtspunkten eher nicht zur Anwendung kommen sollten.⁹

Außerdem wird festgestellt, dass Elektromobilität bei Pkw und leichten Nutzfahrzeugen im Verkehrssektor den größten Hebel zur Reduktion von klimarelevanten Emissionen darstellen (ebd.).

⁹ Allerdings ginge dieser Pfad auch nicht konform mit dem 2°-Ziel.

Ähnliche Schlüsse ziehen Öko-Institut/KIT/infras (2016) in einer Studie für das Umweltbundesamt, in der volkswirtschaftliche Gesamtkosten verschiedener Optionen verglichen werden. Demnach macht die volkswirtschaftliche Kostenrechnung offensichtlich, dass „die direkte Nutzung von Strom, wenn es technisch möglich ist und es realistische Umsetzungskonzepte in der Anwendung gibt, die bevorzugte Energieversorgungsstrategie für einen treibhausgasneutralen Verkehrssektor ist“ (Öko-Institut/KIT/infras 2016, S. 84). Selbst bei starken Effizienzsteigerungen der übrigen Antriebskonzepte PtL, PtG und H₂ besitzt die direkte Elektrifizierung demnach weiterhin einen so erheblichen Wirkungsgradvorteil, dass sie zu den geringsten Mehrkosten gegenüber dem Referenzszenario führt.

Verkehrsvermeidungs- und -verlagerungsstrategien berücksichtigt die Studie nicht, es wird aber darauf hingewiesen, dass diese „die im Verkehrssektor aufzubringenden Kosten für eine Dekarbonisierung voraussichtlich deutlich verringern“ (ebd.).

Abschließend lässt sich festhalten, dass aus volkswirtschaftlicher Sicht Maßnahmen zur Verlagerung, Verbesserung der Fahrzeugeffizienz und eine Strategie der direkten Elektrifizierung (auch in dieser Reihenfolge) günstiger sind als der Einsatz von synthetischen Kraftstoffen. Kosten von Maßnahmen zur Verkehrsvermeidung werden in der einschlägigen Literatur nicht explizit berücksichtigt, vermutlich weil sie als Suffizienzmaßnahmen interpretierbar sind und kostenseitig (wenn überhaupt substantielle Kosten entstehen) in jedem Fall unterhalb der Kosten technischer Maßnahmen liegen dürften.

5 Schlussfolgerungen

Nach konsequenter Umsetzung von Vermeidungs-, Verlagerungs- und Verbesserungsmaßnahmen können synthetische Kraftstoffe als eine weitere Option im Portfolio der Klimaschutzstrategien zur kompletten Dekarbonisierung des deutschen und internationalen Verkehrssektors beitragen. Zu erwägen ist dabei stets, dass ihr Gesamtwirkungsgrad aufgrund der zahlreichen Umwandlungsschritte unvorteilhaft und ihre Herstellung entsprechend teuer ist. Die Möglichkeit der Herstellung synthetischer Kraftstoffe in Deutschland ist auf der Basis der Verfügbarkeit erneuerbarer Energien sehr begrenzt. Global bestehen grundsätzlich hohe Potenziale in sonnen- und windreichen Ländern, jedoch darf auch hier nicht vernachlässigt werden, dass jede Form der Energiebereitstellung mit Auswirkungen verbunden ist. Dies gilt auch für erneuerbare Energien (z.B. Flächenbedarf), so dass insgesamt ein entsprechend effizienter Umgang mit den Potenzialen angezeigt ist.

Anreize für alternative Mobilitätsangebote und Verkehrsmittel sowie Nachfragesteuerung über den Preis und gezielte Regulation sind weiterhin prioritäre Strategien für die nötige Vermeidung verkehrsbedingter Emissionen. Vermeidung und Verlagerung sind effektiv und im Vergleich zur Referenzentwicklung ohne ambitionierten Klimaschutz mit geringen volkswirtschaftlichen Kosten und häufig gar Nutzen verbunden.

Fahrzeugeffizienz und Antriebswechsel hin zu direkter Elektrifizierung (batterieelektrische Pkw, Oberleitungs-Lkw) haben im Vergleich zu synthetischen Kraftstoffen erhebliche Vorteile. Hinzu kommen im Verbund vorgelagerter Optionen solche, die die Systemeffizienz erhöhen, etwa Tempolimits und die Erhöhung der Besetzungsgrade durch Car- oder Ridesharing.

Synthetische (flüssige) Kraftstoffe haben zudem auch einen schlechteren Wirkungsgrad als Antriebssysteme mit Wasserstoff-Brennstoffzelle. Insofern wäre aus Klimaschutzsicht sehr zu begrüßen, dass Fahrzeugkonzepte mit Brennstoffzelle für große Pkw und Lkw bzw. lange Distanzen möglichst bald marktfähig werden. Für Busse und Züge sind diese Möglichkeiten heute schon gegeben und in der breiten Erprobung. Brennstoffzellenfahrzeuge wären in der Anwendung nach Möglichkeit den synthetischen Kraftstoffen vorzuziehen.

Für die Dekarbonisierung des internationalen Flug- und Seeverkehrs sind hingegen kaum Alternativen zu synthetischen Kraftstoffen absehbar. Deshalb sind sie hier bevorzugt einzusetzen. Außerdem sollte in diesen Bereichen Nachfragesteuerung und Verkehrsmittelleffizienz so organisiert werden, dass die globale Nachfrage die nachhaltigen Bereitstellungsoptionen von PtL nicht übersteigt.

6 Literaturverzeichnis

Agora Verkehrswende 2017: Mit der Verkehrswende die Mobilität von morgen sichern. 12 Thesen zur Verkehrswende. Berlin: Agora Verkehrswende.

Agora Verkehrswende, Agora Energiewende und Frontier Economics (2018): Die zukünftigen Kosten strombasierter synthetischer Brennstoffe. Berlin: Agora Verkehrswende

Atabani, A.E.; Badruddin, I. A.; Mekhilef, S.; Silitonga, A.S. (2011): A review on global fuel economy standards, labels and technologies in the transportation sector. In: Renewable and Sustainable Energy Reviews 15, pp. 4586–4610

BCG & Prognos 2018: Klimapfade für Deutschland. BCG/Prognos: Berlin/München/Hamburg/Basel

BMU 2016: Klimaschutzplan 2050. Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung. Berlin: Zarbock

BMVI (2015): Räumlich differenzierte Flächenpotentiale für erneuerbare Energien in Deutschland. Berlin/Bonn: BMVI/BBSR

CE Delft (2016): The share of aviation and maritime transport in the EU's transport related fossil fuel demand. Delft: CE Delft

dena & LBST (2017): E-Fuels – The potential of electricity-based fuels for low-emission transport in the EU. Berlin: dena

DIW 2017: Verkehr in Zahlen 2017/2018. Hamburg: DVV Media Group

DLR/ Ifeu/ LBST/ DFZ 2015: Erneuerbare Energien im Verkehr, Potenziale und Entwicklungsperspektiven verschiedener erneuerbarer Energieträger und Energieverbrauch der Verkehrsträger. Studie im Rahmen der Wissenschaftlichen Begleitung, Unterstützung und Beratung des BMVI in den Bereichen Verkehr und Mobilität mit besonderem Fokus auf Kraftstoffen und Antriebstechnologien sowie Energie und Klima.

IEA 2017: Energy Technology Perspectives 2017. Paris: OECD/IEA

ifeu, infras, LBST 2016: Klimaschutzbeitrag des Verkehrs bis 2050. Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes. Dessau-Rosslau

ICAO (2016): On Board. A sustainable future. Montreal: ICAO

IPCC 2018: Global Warming of 1.5°C. Summary for Policymakers. Switzerland: IPCC

IWES et al. 2015: Interaktion EE-Strom, Wärme und Verkehr. Kassel u.a.

IWES 2017: Mittel- und Langfristige Potenziale von PtL und H₂-Importen aus internationalen EE-Vorzugsregionen. Teilbericht im Rahmen des Projektes: KLIMWIRKSAMKEIT ELEKTROMOBILITÄT. Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES). Kassel.

Öko-Institut, KIT, infras 2016: Erarbeitung einer fachlichen Strategie zur Energieversorgung des Verkehrs bis zum Jahr 2050. Texte 72/2016. Dessau: Umweltbundesamt.

Öko-Institut, DLR, ifeu, INFRAS 2016: Renewbility III: Optionen einer Dekarbonisierung des Verkehrssektors. Berlin: BMUB

Öko-Institut & ICCT 2018: Klimaschutz im Verkehr: Maßnahmen zur Erreichung des Sektorziels 2030. Berlin: Agora Verkehrswende

Schubert, Markus et al. 2014: Verkehrsverflechtungsprognose 2030. Zusammenfassung der Ergebnisse. Freiburg/München/Aachen/Essen: BVU/ITP/IVV/planco

Shell & Wuppertal Institut 2017: Energie der Zukunft? Nachhaltige Mobilität durch Brennstoffzelle und H₂. Hamburg: Shell Deutschland

SRU 2005: Umwelt und Straßenverkehr. Hohe Mobilität - Umweltverträglicher Verkehr, Berlin: Hausdruck

UBA 2014: Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050. Dessau: Umweltbundesamt

Wuppertal Institut 2017: Verkehrswende für Deutschland: Der Weg zu CO₂-freier Mobilität bis 2035. Hamburg: Greenpeace e.V.

Wuppertal Institut/IEEJ/DIW Econ 2017: Energy transition as a central building block of a future industrial policy. Wuppertal: Wuppertal Institut

Wuppertal Institut & IZES 2018: Technologiebericht 4.4 Verfahren der CO₂-Abtrennung aus Faulgasen und Umgebungsluft innerhalb des Forschungsprojekts TF_Energiewende. Wuppertal: Wuppertal Institut

➔ **Kein Geld von Industrie und Staat**

Greenpeace ist eine internationale Umweltorganisation, die mit gewaltfreien Aktionen für den Schutz der Lebensgrundlagen kämpft. Unser Ziel ist es, Umweltzerstörung zu verhindern, Verhaltensweisen zu ändern und Lösungen durchzusetzen. Greenpeace ist überparteilich und völlig unabhängig von Politik, Parteien und Industrie. Rund 590.000 Fördermitglieder in Deutschland spenden an Greenpeace und gewährleisten damit unsere tägliche Arbeit zum Schutz der Umwelt.

Impressum

Greenpeace e.V., Hongkongstraße 10, 20457 Hamburg, Tel. 040/3 06 18-0 **Pressestelle** Tel. 040/3 06 18-340, F 040/3 06 18-340, presse@greenpeace.de, www.greenpeace.de
Politische Vertretung Berlin Marienstraße 19–20, 10117 Berlin, Tel. 030/30 88 99-0 **V.i.S.d.P.** Benjamin Stephan **Foto** Titel: © Francisco Rivotti/Greenpeace, shutterstock