

Teilbericht 5 | November 2022

Nachfrageszenarien – Storylines und Herleitung der Entwicklung der Nachfrage nach Synfuels und Grundstoffen



Bericht aus dem
Teilprojekt A.II: SYN-Bedarfe

Christine Krüger

Larissa Doré

Autorinnen:

Christine Krüger, Dr. Larissa Doré

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH

Döppersberg 19

42103 Wuppertal

www.wupperinst.org

Unter Mitarbeit von:

Jacqueline Klingen (Wuppertal Institut)

Bitte den Bericht folgendermaßen zitieren:

Krüger, C., Doré, L. (2022). Nachfrageszenarien – Storylines und Herleitung der Entwicklung der Nachfrage nach Synfuels und Grundstoffen. MENA-Fuels: Teilbericht 5 des Wuppertal Instituts an das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). Wuppertal, Stuttgart, Köln, Saarbrücken.

Der Text dieser Publikation steht unter der Lizenz „Creative Commons Attribution 4.0 International“ (CC BY 4.0). Der Lizenztext ist abrufbar unter: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Danksagung

Dieser Bericht ist innerhalb des Forschungsvorhabens **MENA-Fuels – Roadmaps zur Erzeugung nachhaltiger synthetischer Kraftstoffe im MENA-Raum zur Dekarbonisierung des Verkehrs in Deutschland** entstanden. Er wird ergänzt durch weitere publizierte Berichte. Die Herausgeber danken allen beteiligten Forschungsinstituten, dem Fördermittelgeber und seinem Projektträger sowie den projektexternen Expertinnen und Experten aus Wissenschaft und Industrie für die konstruktive Zusammenarbeit und die wertvollen Beiträge zur vorliegenden Publikation.

Disclaimer

Das diesem Bericht zugrunde liegende Forschungsvorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) unter dem Förderkennzeichen 3EIV181A-C durchgeführt. Die Verantwortung für den Inhalt dieses Berichts liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Das hier verwendete Kartenmaterial dient lediglich der Veranschaulichung. Es beinhaltet keine offizielle Stellungnahme der Bundesrepublik Deutschland zu etwaigen umstrittenen Rechtspositionen von Drittstaaten.

Projektlaufzeit: Dezember 2018 – Juni 2022

Verbundpartner:

Wuppertal Institut (Koordination): PD Dr. Peter Viebahn
 Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt: Jürgen Kern
 Institut für ZukunftsEnergie- und Stoffstromsysteme: Juri Horst

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Impressum

Herausgeberin:

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH
Döppersberg 19
42103 Wuppertal
www.wupperinst.org

Ansprechperson:

PD Dr. Peter Viebahn (Verbundkoordinator)
Abteilung Zukünftige Energie- und Industriesysteme
peter.viebahn@wupperinst.org
Tel. +49 202 2492-306

Bildquellen:

Titelseite: GettyImages
Rückseite: eigene Darstellung

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis von Abkürzungen, Einheiten und Symbolen	6
Tabellenverzeichnis	8
Abbildungsverzeichnis	8
1 Hintergrund	9
2 Storylines	10
2.1 Grundlagen der drei Storylines	10
2.2 Szenario Brennstoffmix (BM)	11
2.3 Szenario Innovative Antriebe (EL)	12
2.4 Szenario Klassische Antriebe (SYN)	13
3 Energiebedarf des Verkehrs	14
3.1 Endenergiebedarf des Verkehrs im Szenario Brennstoffmix (BM)	14
3.2 Endenergiebedarf des Verkehrs in den Szenarien „Innovative Antriebe“ (EL) und „Klassische Antriebe“ (SYN)	17
3.3 Übertragung auf Europa	19
4 Energiebedarfe außerhalb des Verkehrs	20
4.1 Industrielle Nachfrage nach synthetischen Stoffen	20
4.2 Strom- und Wasserstoffnachfrage im umgebenden Energiesystem	23
5 Zusammenfassung: Entwicklung des Energiebedarfs in den drei Nachfrageszenarien	25
6 Literaturverzeichnis	26
7 Anhang	30
7.1 Energieeinsatz nach Transportmittel bei Nutzung verschiedener Kraftstoffe	30
7.2 Datenanhang Energienachfrage	31
7.2.1 Nachfrage aus dem Verkehrssektor	31
7.2.2 Nachfrage nach synthetischen Stoffen aus dem Industriesektor	35
7.2.3 Nachfrage des umgebenden Energiesystems	37

Verzeichnis von Abkürzungen, Einheiten und Symbolen

Abkürzungen

BCG	Boston Consulting Group
BDI	Bundesverband der Deutschen Industrie
BEniVer	Begleitforschung zur „Energiewende im Verkehr“
BEV	Batteriebetriebenes Elektrofahrzeug
BM	Szenario Brennstoffmix - Nachfrageentwicklung mit ausgewogenem Energieträgereinsatz im Verkehrssektor
dena	Deutsche Energie-Agentur
EE	Erneuerbare Energien
EL	Szenario Innovative Antriebe - Nachfrageentwicklung mit einem starken Fokus auf Effizienz und elektrische Fahrzeuge
FZJ	Forschungszentrum Jülich
LKW	Lastkraftwagen
LNF	Leichte Nutzfahrzeuge
MuSeKo	Projekt Multi-Sektor-Kopplung
PKW	Personenkraftwagen
SYN	Szenario Klassische Antriebe - Nachfrageentwicklung mit einem starken Fokus auf synthetische Kraftstoffe
THG	Treibhausgas
UBA	Umweltbundesamt

Abkürzungen – Länder und Regionen

AT	Österreich
BE	Belgien
CH	Schweiz
CZ	Tschechien
DE	Deutschland
DK	Dänemark
ES	Estland
FR	Frankreich
GB	Vereinigtes Königreich/ Großbritannien
GR	Griechenland
IT	Italien
LU	Luxemburg
NL	Niederlande
NO	Norwegen
PL	Polen
PT	Portugal
SE	Schweden

Einheiten und Symbole

°	Grad
%	Prozent
a	annum
C	Celsius
CH ₄	Methan
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
FZkm	Fahrzeugkilometer
GWh	Gigawattstunde
H ₂	Wasserstoff
KWh	Kilowattstunden
pkm	Personenkilometer
t	Tonnen
tkm	Tonnenkilometer
TWh	Terawattstunden

Tabellenverzeichnis

Tab. 2-1	Entwicklung der Verkehrsleistung -----	10
Tab. 2-2	Charakteristika der verschiedenen Szenarien zur Nachfrageentwicklung -----	11
Tab. 3-1	Energienachfrage des Verkehrs im zugrunde gelegten Szenario „Technologiemix 95“ -----	15
Tab. 7-1	Energieeinsatz nach Transportmitteln im Jahr 2050-----	30
Tab. 7-2	Nachfrage nach regenerativer Energie und synthetischen Kraftstoffen für den Verkehr nach Szenarien, Ländern und Jahren in GWh-----	31
Tab. 7-3	Nachfrage nach regenerativer Energie aus der Industrie nach Ländern und Jahren in GWh (identisch für alle drei Szenarien)-----	35
Tab. 7-4	Nachfrage des umgebenden Energiesystems nach Ländern und Jahren in GWh (identisch für alle drei Szenarien)-----	37

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2-1	Anteil der Energieträger an der Fahrleistung im Szenario Brennstoffmix im Jahr 2050-----	12
Abb. 2-2	Anteil der Energieträger an der Fahrleistung im Szenario Innovative Antriebe (EL) im Jahr 2050 -----	12
Abb. 2-3	Anteil der Energieträger an der Fahrleistung im Szenario Klassische Antriebe im Jahr 2050 -----	13
Abb. 3-1	Nachfrage nach regenerativer Energie und synthetischen Kraftstoffen im Verkehr im Szenario Brennstoffmix-----	17
Abb. 3-2	Nachfrage nach regenerativer Energie und synthetischen Kraftstoffen im Verkehr im Szenario Innovative Antriebe (EL)-----	18
Abb. 3-3	Nachfrage nach regenerativer Energie und synthetischen Kraftstoffen im Verkehr im Szenario Klassische Antriebe (SYN)-----	18
Abb. 3-4	Entwicklung der Nachfrage nach regenerativer Energie und synthetischen Kraftstoffen im Verkehr in den drei Szenarien-----	19
Abb. 4-1	Angenommene Produktionsrouten in der Stahlherstellung in Deutschland-----	20
Abb. 4-2	Angenommene Produktionsrouten in der Stahlherstellung in Europa-----	21
Abb. 4-3	Produktionsrouten für High Value Chemical (HVC) in der Petrochemie in Deutschland-----	21
Abb. 4-4	Energieträgernachfrage in der Petrochemie in Deutschland -----	22
Abb. 4-5	Nachfrage nach Wasserstoff und regenerativ erzeugten Kohlenwasserstoffen aus der Industrie im Jahr 2050 in Europa -----	22
Abb. 4-6	Nachfrage nach Strom und Wasserstoff aus dem umgebenden Energiesystem im Jahr 2050 in Europa-----	24
Abb. 5-1	Energienachfrage aller betrachteten Sektoren in Deutschland im Jahr 2050 -----	25

1 Hintergrund

Das Teilprojekt A.II des Vorhabens MENA-Fuels hat zum Ziel, kostenminimierte Kraftstoffversorgungspfade zu berechnen. Es geht der Frage nach, *wo welche Produkte hergestellt werden, wie diese transportiert werden oder welche Konversionsrouten genutzt werden*. Neben den Erneuerbaren Energien- (EE) Erzeugungspotenzialen und den Technologiedaten wie Kosten oder Effizienz für Energieerzeugung und -Umwandlung ist die Entwicklung der entsprechenden Nachfrage der wichtigste Parameter für diese Kraftstoffversorgungspfade. Entsprechende Fragen sind: *Wieviel Wasserstoff wird wann nachgefragt, wieviel synthetischer Diesel, wieviel THG-neutrales Kerosin? Welche anderen Kraftstoffe werden benötigt? Und wann ist die Nachfrage wie hoch?* Zu diesem Zweck werden drei mögliche Entwicklungen der Kraftstoffnachfrage entworfen, die eine Bandbreite möglicher Entwicklungen abdecken. Dabei bilden alle drei Szenarien die gleiche Verkehrsnachfrage ab, die aber mit unterschiedlichen Kraftstoffstrategien bedient wird.

Die Kraftstoffversorgung für den Verkehr ist nicht die einzige Dekarbonisierungsanstrengung, die mit der Nutzung von Wasserstoff und synthetischen Brennstoffen einhergeht: Auch im Energiesektor wird Wasserstoff für die regelbare Strom- und Wärmeerzeugung voraussichtlich eine wichtige Rolle spielen. Und insbesondere die Industrie braucht für ihre Dekarbonisierung bzw. Defossilisierung Wasserstoff und wasserstoffbasierte Produkte, um neue Prozesse zu betreiben oder fossile Rohstoffe zu ersetzen. Da die Versorgungsstrukturen für den Verkehr und das umgebende Energie- und Industriesystem wegen der möglichen konkurrierenden Nachfrage gemeinsam betrachtet werden, werden diese Sektoren in die hier entwickelten Nachfrageszenarien aufgenommen.

Die hier entwickelten Szenarien basieren auf Nachfrageentwicklungen aus bestehenden Studien, die zusammengeführt und angepasst werden. In diesem Rahmen findet keine eigene Verkehrsmodellierung statt. Eine integrierte Optimierung von Nachfrage- und Erzeugung wird ebenfalls nicht durchgeführt. Die hier entwickelten Nachfrageszenarien gehen als Eingangsgröße in die Modellierung der Kraftstoffbereitstellungspfade ein (→ *Teilbericht 6* und *Teilbericht 4*) das Ergebnis dieser Modellierung ist die Kraftstoffbedarfsdeckung in den drei Szenarien.

Der Zuschnitt der Nachfrageszenarien ist dementsprechend eng an die Erfordernisse der Versorgungsmodellierung geknüpft: Es sind nur die Sektoren beinhaltet, die im Modell abgebildet werden; so spielt die Entwicklung des Raumwärmebedarfs beispielsweise keine Rolle. Außerdem findet Energieerzeugung im Modell ausschließlich aus Wind- und Solarenergie statt und ist damit emissionsfrei, es wird also nur ein regenerativer Anteil des Energiesystems modelliert. Entsprechend beinhalten auch die Nachfrageszenarien ausschließlich diejenigen Anteile der Nachfrage, die aus Wind- und Solarenergie gedeckt werden können. Das bedeutet, dass die (kontinuierlich sinkende) Nachfrage nach konventionellen Kraftstoffen nicht beschrieben wird, sondern nur die nach synthetischen, emissionsfreien Alternativen. Ebenso werden fossile Feedstocks für die Industrie nicht berücksichtigt. Auch die Stromnachfrage ist reduziert um den Anteil, der aus konventionellen Kohle- oder Gaskraftwerken oder aus anderen EE wie Laufwasser oder Biomasse gedeckt wird.

2 Storylines

Für die Abschätzung der Bandbreite möglicher Entwicklungen werden hier drei verschiedene Storylines entwickelt. Diese Storylines unterscheiden sich in der Art der Antriebstechnologien und damit der Energieversorgung des Verkehrs, basieren aber auf den gleichen Fahrleistungen je Verkehrssektor, der Modal Split¹ ist identisch. Die Nutzenergie ist also deckungsgleich, lediglich die Form, in der diese bereitgestellt wird, unterscheidet sich zwischen den Storylines. Alle drei Storylines erreichen Treibhausgasneutralität des Verkehrs im Jahr 2050.

2.1 Grundlagen der drei Storylines

Die zugrunde liegende Verkehrsentwicklung wird aus der „Leitstudie integrierte Energiewende“ der Deutschen Energieagentur (dena), Szenario „Technologiemix95“ (Bründlinger et al., 2018) übernommen (siehe dazu auch Kapitel 3.1). Die folgende Tab. 2-1 fasst die wesentlichen Kennwerte dieser Verkehrsentwicklung zusammen, die allen drei Szenarien gemeinsam ist.

Tab. 2-1 Entwicklung der Verkehrsleistung

		2020	2030	2040	2050
Personenverkehr (Mrd. Pkm)	PKW	921	919	904	874
	Schienerverkehr	100	115	113	111
	Luftverkehr	67	74	78	76
Güterverkehr (Mrd. tkm)	Leichte Nutzfahrzeuge (<3,5 t)	94	105	110	109
	LKW (<12 t)	27	27	28	28
	LKW (>12 t)	487	495	503	503
	Schienerverkehr	134	169	203	239
	Binnenschifffahrt	56	59	71	86
	Luftverkehr	2	3	4	4

Quelle: Bründlinger et al. (2018)

Außerdem unterscheiden sich die Szenarien nicht hinsichtlich der Entwicklung der industriellen Bedarfe nach regenerativ erzeugtem Wasserstoff und Feedstocks und der Entwicklung des umgebenden Energiesystems (siehe dazu Kapitel 4). Auch wenn in diesen Bereichen ebenfalls unterschiedliche Entwicklungen möglich sind, wurden diese hier nicht variiert, um die Auswirkungen der Unterschiede in der Verkehrsstrategien sichtbar zu machen.

Die drei Szenario-Storylines unterscheiden sich folgendermaßen:

¹ Anteil eines Verkehrsträgers, z. B. Schienen- oder Straßengüterverkehr, am gesamten Verkehrsmarkt

- Das Szenario „Brennstoffmix“ (BM) stellt eine aus unserer Sicht plausible Entwicklung des Verkehrssektors dar, in der verschiedene Energieträger zum Einsatz kommen.
- Die Szenarien „Innovative Antriebe“ (EL) und „Klassische Antriebe“ (SYN) hingegen skizzieren Entwicklungen, die mit einem starken Fokus auf Effizienz und elektrische Fahrzeuge (Innovative Antriebe) beziehungsweise einem starken Fokus auf synthetische Kraftstoffe (Klassische Antriebe) einhergehen. Auch wenn beispielsweise eine höhere Nachfrage nach synthetischen Kraftstoffen oder Elektromobilität denkbar ist als im Brennstoffmix-Szenario, ist eine so ausgeprägte Fokussierung auf diese Technologien wie in diesen stark dorthin ausgeprägten Szenarien weniger wahrscheinlich; sie dienen hier dazu, die Bandbreite möglicher Entwicklungen aufzuspannen.

Tab. 2-2 stellt die zentralen Unterschiede und Gemeinsamkeiten der drei Szenarien zusammenfassend dar.

Tab. 2-2 Charakteristika der verschiedenen Szenarien zur Nachfrageentwicklung

	Innovative Antriebe (EL)	Brennstoffmix (BM)	Klassische Antriebe (SYN)
THG-Minderung gegenüber 1990 in Europa	95 % (1,5 °C), d. h. Klimaneutralität im Verkehr		
Verkehrsleistung / Modal Split	Aus „Leitstudie integrierte Energiewende“, Szenario „Technologiemix95“ (Bründlinger et al., 2018)		
Kraftstoff-Strategie im Verkehr	Sehr hoher Anteil BEV bzw. Oberleitungs-Lkw, Synfuels nur für Flugverkehr (Kerosin), sonst H ₂ und CH ₄	Technologie- und Brennstoffmix von BEV, H ₂ , CH ₄ , Methanol, synthetische Kraftstoffe	Sehr hoher Anteil Drop-In synthetische klassische Kraftstoffe (Benzin, Diesel, Kerosin); wenig BEV und CH ₄
Anteil synthetischer Kraftstoffe	Minimal	Mittel	Maximal
Industrie	Nachfrage nach Grundstoffen und Energie entwickelt sich mit der Implementierung von emissionsarmen Technologien stärker in Richtung H ₂ und synthetische Grundstoffe (Naphtha, Methanol, Ammoniak)		
Nachfrage aus dem umgebenden Energiesystem	Angelehnt an „Multi-Sektor-Kopplung“ Szenario THG95 (Fraunhofer IFAM et al., 2020)		

2.2 Szenario Brennstoffmix (BM)

Im Szenario „Brennstoffmix“ werden neben Strom und Wasserstoff synthetisches Methan, Methanol sowie synthetisches Kerosin, Diesel und Benzin nachgefragt (siehe Abb. 2-1). Elektrizität spielt eine wichtige Rolle im Schienenverkehr und im Personenverkehr und kommt auch im Straßengüterverkehr zum Einsatz. Der Luftverkehr wird größtenteils durch synthetisches Kerosin betrieben. Synthetisches Benzin und Diesel kommen im Straßenverkehr zum Einsatz. Methanol hat geringe Anteile an der Fahrleistung in allen Sektoren. Wasserstoff hat eine signifikante Rolle im Straßenverkehr und kommt auch in geringerem Umfang in allen anderen Verkehrsbereichen zum Einsatz.²

² Die Differenzierung der Verkehrsträger entspricht den Annahmen der zugrunde liegenden Studie von Bründlinger et al. (2018).

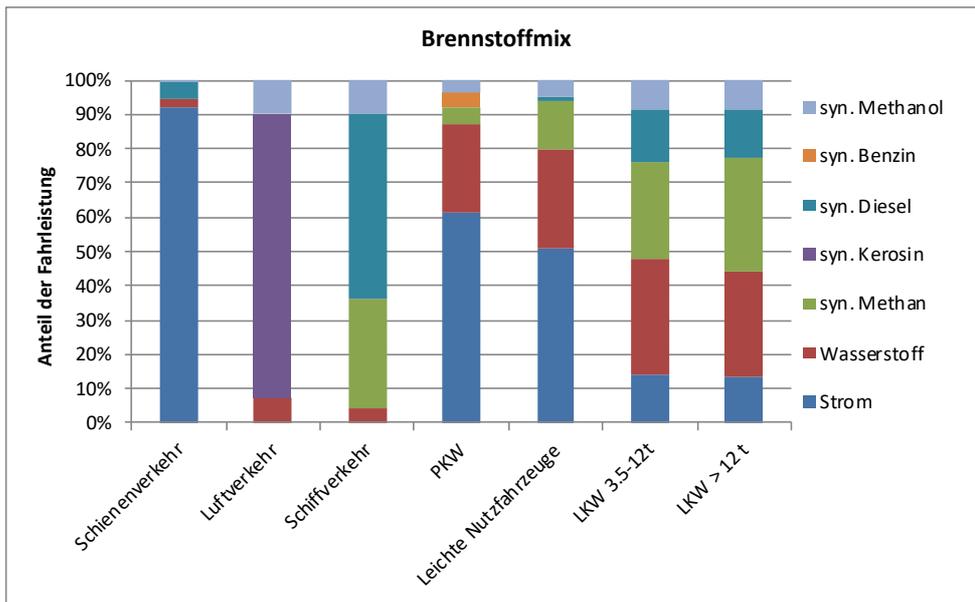


Abb. 2-1 Anteil der Energieträger an der Fahrleistung im Szenario Brennstoffmix im Jahr 2050

2.3 Szenario Innovative Antriebe (EL)

Das Szenario „Innovative Antriebe“ ist ein prototypisches Szenario. Es verzichtet weitestgehend auf synthetische Kraftstoffe und folgt einer klaren Effizienzstrategie. Der Verkehr wird so weit wie möglich auf effiziente Energieträger umgestellt, somit spielt Strom die größte Rolle, gefolgt von Wasserstoff (Szenarien-Kurzbezeichnung „EL“ für „elektrisch“). Synthetische Treibstoffe kommen nur im Flugverkehr in Form von Kerosin zum Tragen. Abb. 2-2 zeigt den Anteil, den die Energieträger an der Verkehrsleistung der verschiedenen Sektoren im Jahr 2050 in diesem Szenario haben.

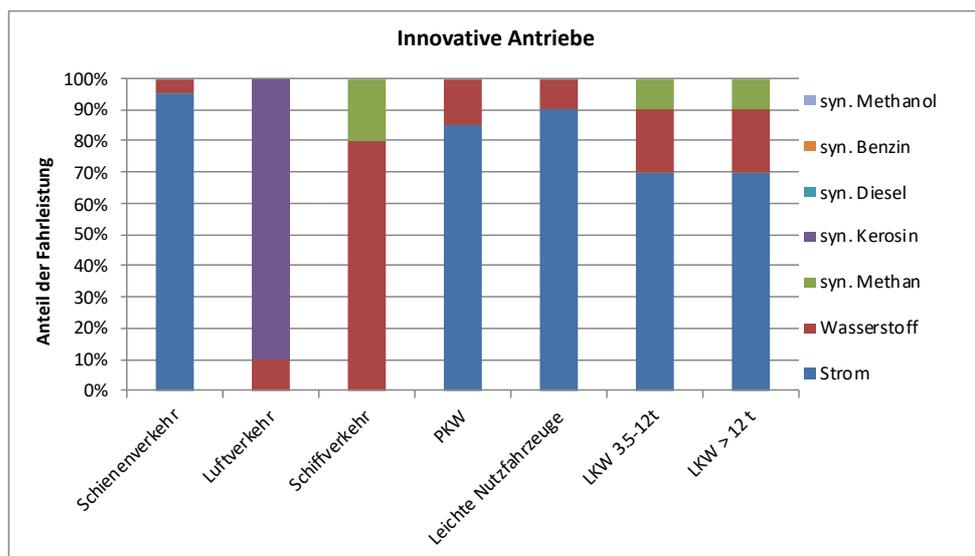


Abb. 2-2 Anteil der Energieträger an der Fahrleistung im Szenario Innovative Antriebe (EL) im Jahr 2050

Im Schienen- und Straßenverkehr ist Strom der mit Abstand wichtigste Energieträger, gefolgt von Wasserstoff; für den Gütertransport auf der Straße wird auch

synthetisches Methan eingesetzt. Wasserstoff wird in allen Verkehrsbereichen genutzt, insbesondere im Schiffsverkehr spielt er eine wichtige Rolle.

2.4 Szenario Klassische Antriebe (SYN)

Das Szenario „Klassische Antriebe“ ist ebenfalls ein prototypisches Szenario. Es zielt darauf ab, die Obergrenze der Nachfrage nach synthetischen Kraftstoffen abzubilden. In diesem Szenario ändern sich die Antriebstechnologien in den Fahrzeugen am langsamsten, es ist durch die Beharrungskräfte der aktuellen Strukturen gekennzeichnet. Um einen klimaneutralen Verkehr zu erreichen, müssen deswegen große Anteile synthetischer Kraftstoffe verwendet werden (Szenarien-Kurzbezeichnung „SYN“ für „synthetisch“; siehe Abb. 2-3). Solche Synfuels spielen im Zieljahr 2050 eine wichtige Rolle in allen Sektoren, insbesondere im Luftverkehr, der ausschließlich mit regenerativ erzeugtem Kerosin betrieben wird. Elektrizität wird im Straßen- und Schienenverkehr genutzt, hat jedoch deutlich geringere Anteile als in den anderen Szenarien. In diesem Szenario gibt es keine Nachfrage nach Wasserstoff.

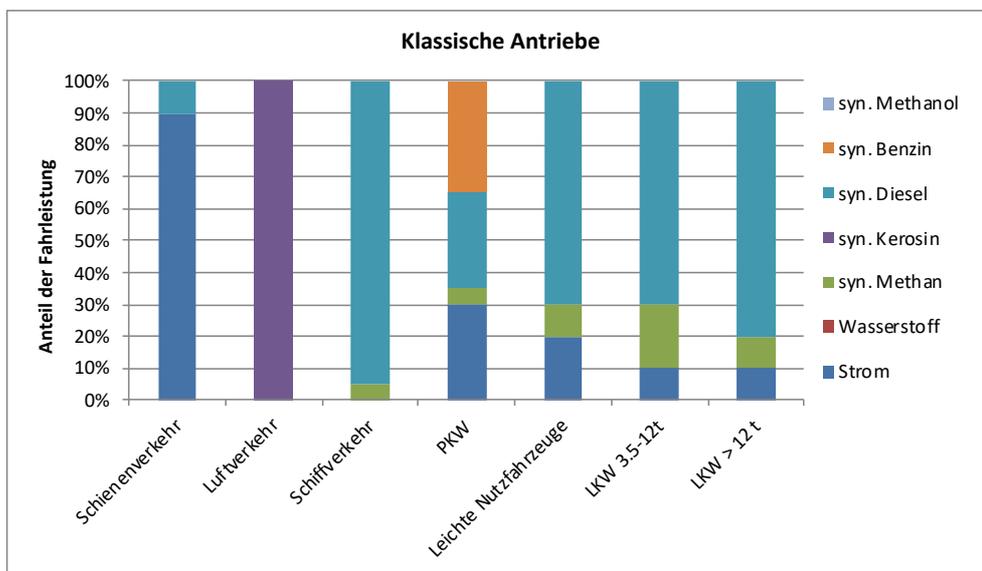


Abb. 2-3 Anteil der Energieträger an der Fahrleistung im Szenario Klassische Antriebe im Jahr 2050

3 Energiebedarf des Verkehrs

3.1 Endenergiebedarf des Verkehrs im Szenario Brennstoffmix (BM)

Auswahl eines zugrunde zu legenden bestehenden Szenarios

Das zuvor beschriebene Szenario „Brennstoffmix“ stellt eine plausible Entwicklung des Verkehrssektors dar. Zunächst wird der Parametersatz für dieses Szenario zusammengestellt, im Folgenden werden dann von diesem ausgehend die Kraftstoffbedarfe der Szenarien „Innovative Antriebe“ und „Klassische Antriebe“ abgeleitet (siehe Kapitel 3.2).

Da im Rahmen dieses Vorhabens keine eigene Verkehrsmodellierung stattfinden kann, muss auf ein bestehendes Szenario zur Entwicklung der Energienachfrage aus dem Verkehr zurückgegriffen werden, das für die Zwecke dieser Untersuchung genutzt und angepasst wird. Dafür wurden zunächst die folgenden Studien gesichtet und auf ihre Eignung geprüft.

- BDI: Klimapfade für Deutschland (BCG und Prognos, 2018) und Klimapfade 2.0 (BCG, 2021)
- FZJ: Wege für die Energiewende (Forschungszentrum Jülich, 2020)
- dena: Leitstudie integrierte Energiewende (Bründlinger et al., 2018)
- UBA: Treibhausgasneutrales Deutschland (RESCUE-Studie; UBA, 2019)
- Entso-E: e-Highway2050 - Modular Development Plan of the Pan-European Transmission System 2050 (ENTSO-E, 2015)
- Klimaschutzszenarien der Europäischen Kommission (European Commission, 2018)³

Damit Szenarien für die Anwendung in diesem Kontext geeignet sind, müssen die Studien

- ein ehrgeiziges Klimaschutzziel im Verkehr abbilden (-95 bis -100 % im Jahr 2050 gegenüber 1990),
- die Verkehrsleistung geeignet differenziert ausweisen,
- die Kraftstoffnachfrage nach Energieträgern differenziert ausweisen (idealerweise differenziert nach herkömmlichen und synthetischen Kraftstoffen),
- die Entwicklung für den Zeitraum zwischen 2030 und 2050 beschreiben und
- idealerweise alle europäischen Länder abdecken (Kapitel 3.3).

Keines der zum Zeitpunkt dieser Arbeiten bekannten Szenarien erfüllt alle diese Kriterien; viele weisen die Nachfrage des Verkehrs nicht differenziert genug aus. Deswegen wurde entschieden, als Berechnungsbasis das Szenario „Technologiemix 95“ aus der „Leitstudie integrierte Energiewende“ (Bründlinger et al., 2018) heranzuziehen und von diesem ausgehend weitere Ableitungen für den Anwendungszweck zu

³ Die „Policy scenarios for delivering the European Green Deal“ waren zum Zeitpunkt dieser Analyse noch nicht veröffentlicht.

machen. Das Szenario „Technologiemix 95“ entspricht in der Energieträgerzusammensetzung in weiten Teilen der im Szenario „Brennstoffmix“ anvisierten Kombination und weist die Bedarfe des Verkehrs in ausreichender technologischer, sektoraler und zeitlicher Differenzierung aus. Tab. 3-1 zeigt die Struktur der Energieträgernachfrage des Verkehrs in dem Szenario „Technologiemix 95“.

Tab. 3-1 Energienachfrage des Verkehrs im zugrunde gelegten Szenario „Technologiemix 95“

[TWh/a]	2030	2050
Strom	72	86
Wasserstoff	18	92
LNG	28	42
Gas	76	52
Kerosin	105	89
Diesel	151	28
Benzin	103	12

Quelle: Bründlinger et al. (2018)

Um das Szenario „Technologiemix 95“ als Nachfrageszenario „Brennstoffmix“ im Projekt MENA-Fuels nutzen zu können, sind folgende Anpassungen notwendig:

- Einführen einer Methanolnachfrage
- Annahmen für die Entwicklung zwischen 2030 und 2050 sowie die Einführen eines Zwischenjahrs 2040
- Annahmen dazu, welcher Anteil der jeweiligen Nachfrage aus synthetischen Kraftstoffen bzw. strombasiert gedeckt wird
- Übertragung auf die europäischen Länder

Diese Schritte werden im Folgenden genauer beschrieben.

Einführen einer Methanolnachfrage

Entsprechend der im Kapitel 2.2 beschriebenen Szenariostoryline des Szenarios „Brennstoffmix“ soll Methanol ebenfalls eine signifikante Rolle spielen, ist jedoch im zugrunde liegenden Szenario „Technologiemix 95“ nicht abgebildet. Deswegen werden hier jeweils 10 % der Nachfrage nach Wasserstoff, synthetischem Erdgas, Diesel und Benzin durch Methanol ersetzt.

Annahmen für die Entwicklung zwischen 2030 und 2050

Für die Entwicklung der Nachfrage nach Strom für die Elektromobilität sowie für Wasserstoff wird angenommen, dass diese zwischen 2030 und 2050 linear ansteigen, entsprechend wird für das Jahr 2040 interpoliert. Bei den Nachfragen nach Erdgas und Kerosin wird ebenfalls davon ausgegangen, dass diese sich linear entwickeln. Bestehende Studien wie beispielsweise die dena E-Fuels Studie (dena, 2017) nehmen

an, dass die Nachfrage nach konventionellem Diesel und Benzin bereits bis 2040 deutlich zurückgeht: Dort werden im Zeitraum zwischen 2030 und 2040 bereits ca. 60 % (im Szenario „More-Electric“) bzw. 75 % (im Szenario „Progressed-Mix“) des Rückgangs zwischen 2030 und 2050 erreicht. Das Nachfrageszenario „Brennstoffmix“ geht, basierend auf der dena-Leiststudie „Integrierte Energiewende“ (Bründlinger et al., 2018), von einer vergleichsweise hohen Gesamtreduktion aus und entsprechend von einer bis 2040 eher geringen Minderung des fossilen Anteils der Kraftstoffe um 60 %.

Annahmen für die Anteil der jeweiligen Nachfrage aus synthetischen Kraftstoffen bzw. strombasierten Energieträgern

Konventionelle Kraftstoffe wie Benzin oder Diesel sind nicht Gegenstand der hier angestellten Modellierung; diese fokussiert auf die Bereitstellung regenerativ erzeugter Kraftstoffe. Entsprechend muss aus der Gesamtnachfrage nach Kraftstoffen der regenerativ zu deckende Anteil isoliert werden.

Es wird angenommen, dass ab 2030 für Strom und Wasserstoff in der Mobilität ausschließlich regenerativer Strom verwendet wird. Erdgas kann aus konventionellen, biogenen und synthetischen Quellen bezogen werden. Die dena-Leitstudie „Integrierte Energiewende“ (Bründlinger et al., 2018) geht davon aus, dass im Sektor Stromerzeugung in 2030 4 %, in 2040 37 % und in 2050 71 % des Erdgases synthetisch erzeugt wird. Diese Annahme wird hier auf die Nutzung von Erdgas im Verkehrssektor übertragen.

Angelehnt an die dena-E-Fuels Studie (dena, 2017) wird hier davon ausgegangen, dass in 2030 jeweils 10 % der Nachfrage nach Kerosin, Diesel und Benzin synthetisch gedeckt werden. Die Gesamtnachfrage nach Kerosin geht zwischen 2030 und 2050 nur geringfügig zurück. Um einen kontinuierlichen Ausbau der Erzeugungskapazitäten für synthetisches Kerosin zu bekommen, wird für das Szenario „Brennstoffmix“ angenommen, dass dieses in 2040 zu 60 % und in 2050 zu 100 % synthetisch erzeugt wird. Diesel und Benzin werden in 2050 ebenfalls vollständig strombasiert erzeugt. Aufgrund des hohen Rückgangs der Gesamtnachfrage nach diesen Stoffen wird für das Szenario „Brennstoffmix“ jedoch in 2040 nur ein Anteil von 30 % (Diesel) bzw. 22 % (Benzin) als synthetisch angenommen, da die Nachfrage nach synthetischen Kraftstoffen sonst die Nachfrage in 2050 übersteigen würde, was zum Aufbau später ungenutzter Kapazitäten führen würde.

Diese Anpassungen des zugrunde liegenden dena-Szenarios „Technologiemix 95“ (Bründlinger et al., 2018) führen zu der in Abb. 3-1 gezeigten Entwicklung der Nachfrage nach regenerativ erzeugtem Strom und Kraftstoffen für den Verkehr im Szenario „Brennstoffmix“.

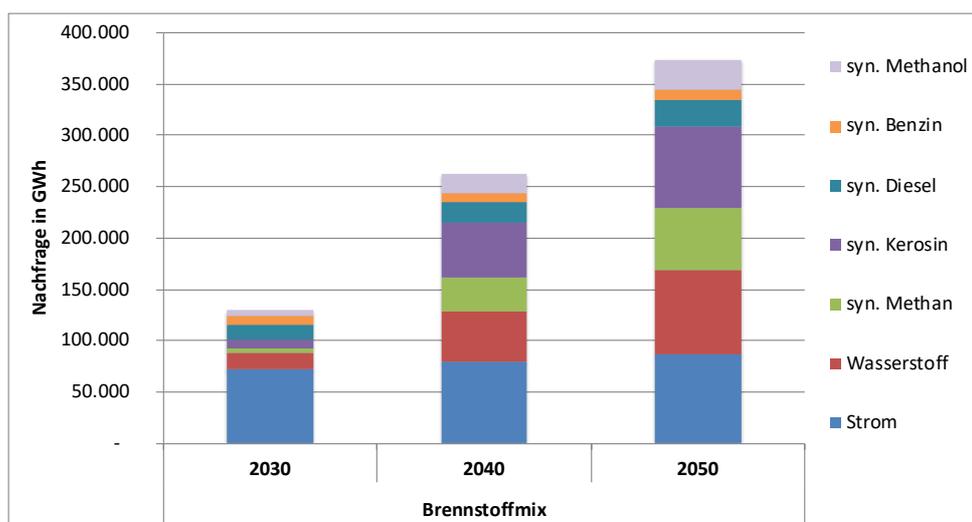


Abb. 3-1 Nachfrage nach regenerativer Energie und synthetischen Kraftstoffen im Verkehr im Szenario Brennstoffmix

3.2 Endenergiebedarf des Verkehrs in den Szenarien „Innovative Antriebe“ (EL) und „Klassische Antriebe“ (SYN)

Die Szenariovarianten „Innovative Antriebe“ und „Klassische Antriebe“ unterscheiden sich vom Szenario „Brennstoffmix“ hinsichtlich des Technologiemieses, der für die Deckung der Verkehrsbedarfe genutzt wird. Die Verkehrsleistung unterscheidet sich nicht zwischen den Szenarien; das Ziel der Treibhausgasneutralität im Jahr 2050 gilt ebenfalls für alle drei Szenarien.

- Im Szenario „Innovative Antriebe“ wird eine klare Effizienzstrategie verfolgt. Der Verkehr wird so weit wie möglich auf möglichst effiziente Energieträger umgestellt, die direkte Elektrifizierung wird bevorzugt, gefolgt von der Wasserstoffnutzung. Synthetische Treibstoffe kommen hier nur im Flugverkehr zum Tragen.
- Im Gegensatz dazu wird im Szenario „Klassische Antriebe“ von einer langsamen Änderung der Antriebstechnologien ausgegangen; es ist durch die Beharrungskräfte der aktuellen Strukturen gekennzeichnet. Um einen klimaneutralen Verkehr zu erreichen, müssen aus diesem Grunde zum großen Teil synthetische Drop-In Kraftstoffe verwendet werden.

Methodisch wird für die beiden Szenariovarianten in gleicher Weise vorgegangen. Es werden zunächst Zielgrößen für den Anteil der jeweiligen Kraftstoffe an der Fahrleistung der Verkehrsträger im Zieljahr 2050 definiert (beschrieben in Kapitel 2; Abb. 2-2 und Abb. 2-3).

Anschließend wird berechnet, wie viel Energie dafür jeweils aus den verschiedenen Energieträgern eingesetzt werden muss, dafür werden die im Anhang (Kapitel 0) beschriebenen Umrechnungsfaktoren genutzt. Die Fahrleistung je Verkehrsträger ist somit in allen Szenarien die gleiche, die Endenergienachfrage der jeweiligen Energieträger ergibt sich dann aus dem definierten Anteil der Energieträger und des Energieverbrauchs je Transporteinheit. Durch die unterschiedliche Effizienz der Nutzung der unterschiedlichen Kraftstoffe ergeben sich somit unterschiedlich hohe Endenergienachfragen trotz konstanter Verkehrsleistung.

Für die Herleitung des Kraftstoffbedarfs in den Jahren 2030 und 2040 wird angenommen, dass sie insgesamt in ähnlichem Tempo wie im Szenario „Brennstoffmix“ vonstattengeht, in welchem im Jahr 2030 bereits 35 % der Nachfrage aus dem Zieljahr 2050 erreicht werden, im Jahr 2040 dann 70 %.

Damit ergibt sich die im Folgenden dargestellte Entwicklung der Nachfrage nach regenerativ erzeugtem Strom und Kraftstoffen für den Verkehr in den Szenarien „Innovative Antriebe“ (Abb. 3-2) und „Klassische Antriebe“ (Abb. 3-3). Im Szenario „Klassische Antriebe“ führt dieser Ansatz dazu, dass bereits 2030 größere Mengen an synthetischem Diesel und Kerosin nachgefragt werden; also ein früher Hochlauf dieser Technologieroute notwendig ist.

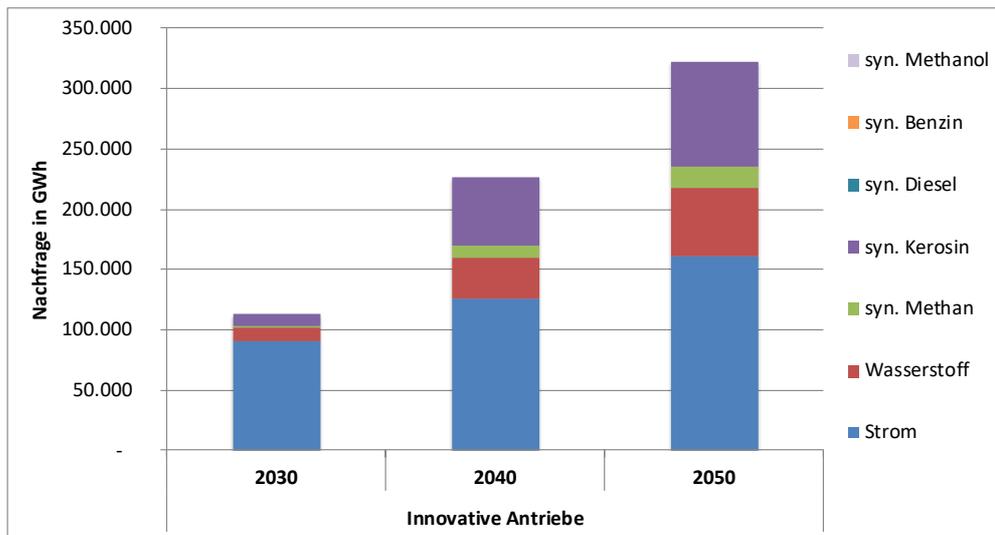


Abb. 3-2 Nachfrage nach regenerativer Energie und synthetischen Kraftstoffen im Verkehr im Szenario Innovative Antriebe (EL)

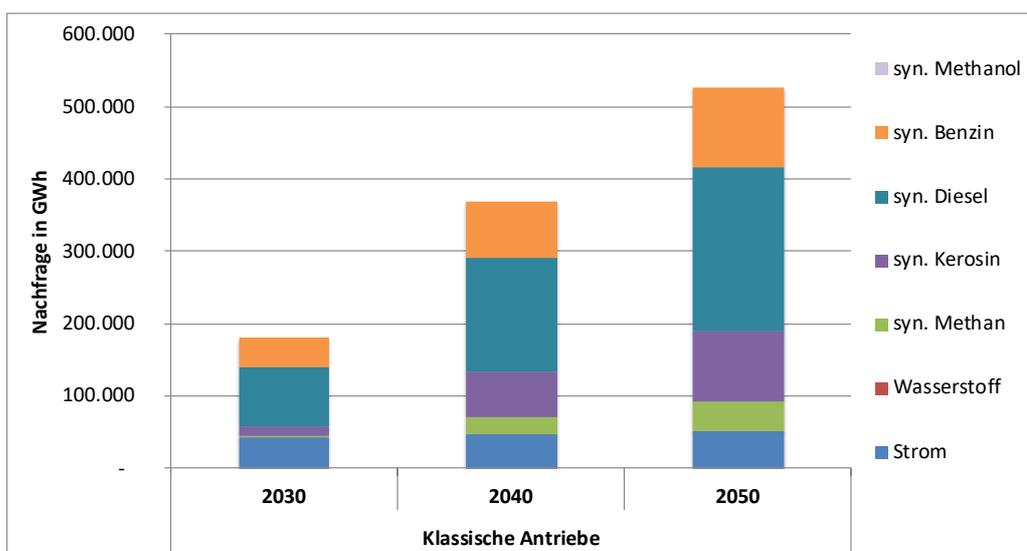


Abb. 3-3 Nachfrage nach regenerativer Energie und synthetischen Kraftstoffen im Verkehr im Szenario Klassische Antriebe (SYN)

Abb. 3-4 fasst die Entwicklung der regenerativen Energienachfrage aus dem Verkehr für alle drei Szenarien zusammen. Es wird deutlich, dass der Energiebedarf im Szenario „Innovative Antriebe“ am geringsten ist. Der höchste Energiebedarf geht mit der Nutzung hoher Anteile synthetischer Kraftstoffe im Szenario „Klassische Antriebe“ einher. Die Breite der Kraftstoffpalette unterscheidet sich zwischen den Szenarien: Wasserstoff spielt vor allem im Szenario „Brennstoffmix“ eine wichtige Rolle; im Szenario „Klassische Antriebe“ wird kein Wasserstoff verwendet. Methanol kommt einzig im Szenario „Brennstoffmix“ zum Einsatz. Synthetisches Kerosin wird in allen drei Szenarien in ähnlicher Größenordnung genutzt.

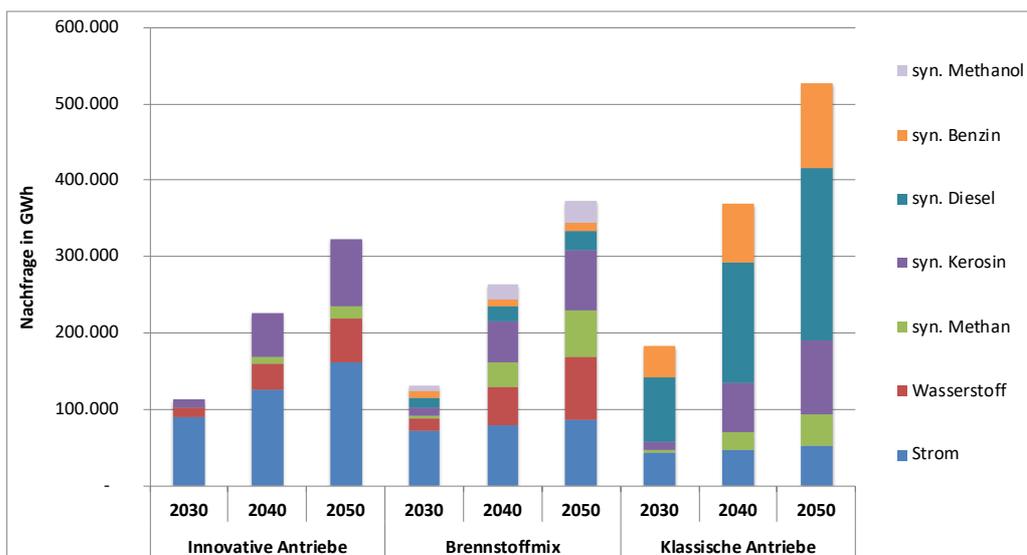


Abb. 3-4 Entwicklung der Nachfrage nach regenerativer Energie und synthetischen Kraftstoffen im Verkehr in den drei Szenarien

3.3 Übertragung auf Europa

Die zuvor beschriebene Struktur der Kraftstoffnachfrage basiert auf einem Szenario für die Entwicklung der Verkehrsstruktur in Deutschland. Auch wenn Deutschland im Fokus der Analysen steht, muss für eine integrierte Modellierung der Deckung der Kraftstoffnachfrage jedoch auch das europäische Umland abgebildet werden, um die dort vorhandenen Erzeugungspotenziale und Nachfragemengen zu berücksichtigen. Deswegen werden hier vereinfachte Annahmen getroffen, um die Energieträgernachfrage des Verkehrs in Europa zu bestimmen: Für alle drei Szenarien wird die deutsche Nachfrage anhand des Verhältnisses der Einwohnerzahlen⁴ auf die europäischen Länder übertragen. Die Struktur der Nachfrage ist also in allen Ländern als identisch angenommen, lediglich die Höhe unterscheidet sich entsprechend der Einwohnerzahlen der Länder. Spezifische Charakteristika des Verkehrs in den Ländern werden somit nicht abgebildet.

⁴ Gemäß Eurostat (2021), Einwohnerzahlen zum 01.01.2020 bzw. 01.01.2019 für GB

4 Energiebedarfe außerhalb des Verkehrs

4.1 Industrielle Nachfrage nach synthetischen Stoffen

Für die Abbildung der industriellen Nachfrage nach Wasserstoff und synthetischen Grundstoffen wird auf bestehende Szenarien des Wuppertal Instituts zurückgegriffen, die ein entsprechendes Ambitionsniveau haben und in geeigneter regionaler Auflösung vorliegen (siehe nächster Absatz). Dafür werden die Sektoren Rohstahlerzeugung, Ammoniakherstellung und Petrochemie berücksichtigt, in denen signifikante Nachfragemengen nach Wasserstoff und regenerativ erzeugten Kohlenwasserstoffen erwartet werden. Die Szenarien bilden jeweils die vollständige Entwicklung der Energiebedarfe der Industriezweige ab. Für die Anwendung in diesem Projekt werden allerdings nur Wasserstoff und Kohlenwasserstoffe berücksichtigt, weitere Energiebedarfe wie Industrieöfen, Dampf oder mechanische Energie werden hier nicht betrachtet.

Für die Entwicklung des Wasserstoffbedarfs im Stahlsektor wird auf die Ergebnisse des ReInvent-Projekts zurückgegriffen (Schneider et al., 2018). Zur Dekarbonisierung des Industriesektors wird neben der Elektrifizierung (Elektrolichtbogenofen bzw. electric arc furnace, EAF) auch die Direktreduktion (direct reduced iron, DRI) mittels Wasserstoff eingesetzt. Abb. 4-1 und Abb. 4-2 zeigen die angenommene Entwicklung der verschiedenen Produktionsrouten in Deutschland und Europa.

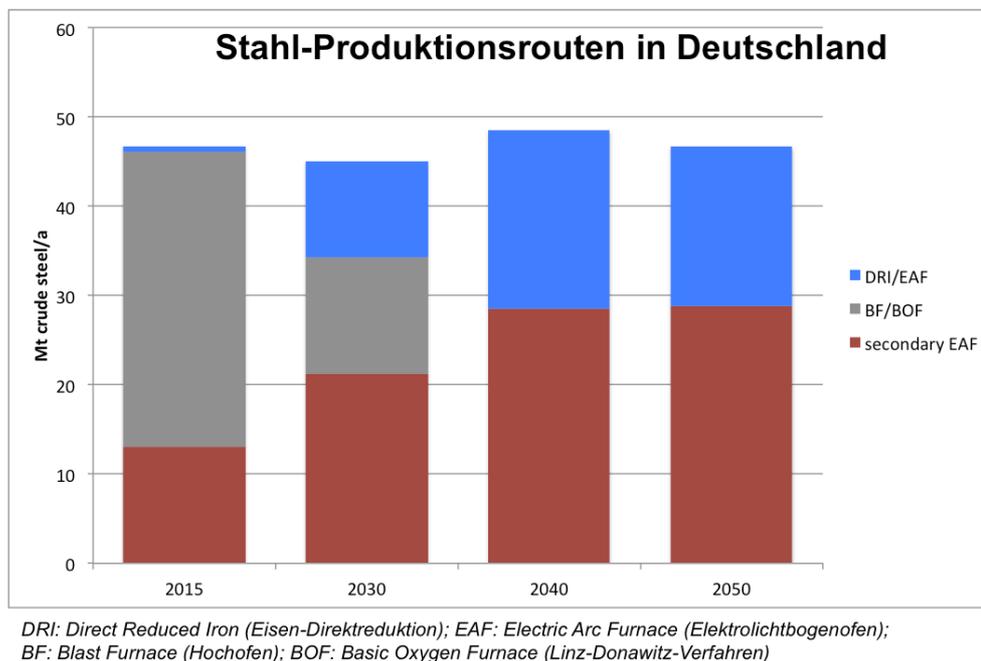
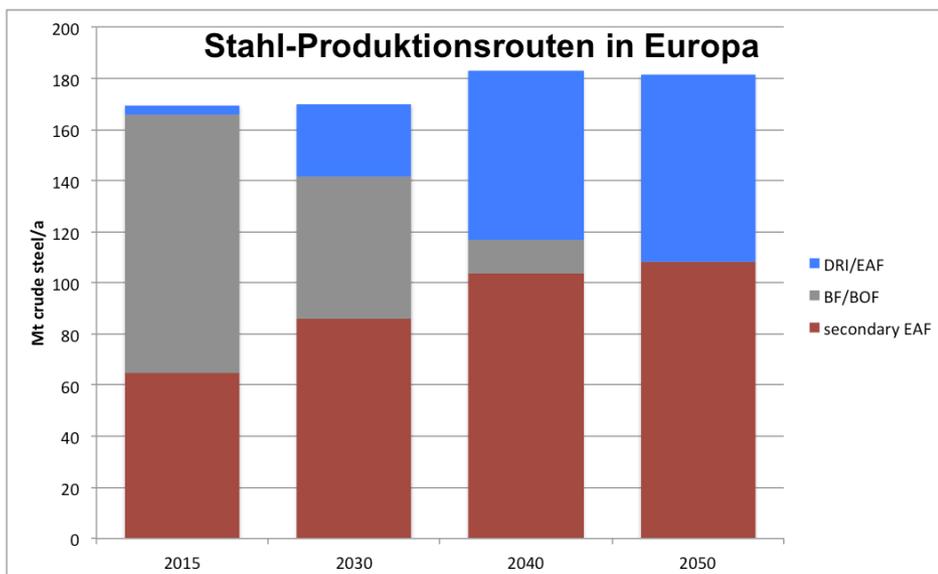


Abb. 4-1 Angenommene Produktionsrouten in der Stahlherstellung in Deutschland

Quelle: Schneider et al. (2018)



DRI: Direct Reduced Iron (Eisen-Direktreduktion); EAF: Electric Arc Furnace (Elektrolichtbogenofen); BF: Blast Furnace (Hochofen); BOF: Basic Oxygen Furnace (Linz-Donawitz-Verfahren)

Abb. 4-2 Angenommene Produktionsrouten in der Stahlherstellung in Europa

Quelle: Schneider et al. (2018)

Für die Nachfrage der Petrochemie und für Ammoniak wird eine Entwicklung gemäß der Studie „Klimaneutrales Deutschland 2050“ (Prognos et al., 2020) angenommen. Im Sektor der Petrochemie kommen Wasserstoff und Kohlenwasserstoffe für die Herstellung so genannter High Value Chemicals (HVC) zum Einsatz. Abb. 4-3 zeigt die Entwicklung der entsprechenden Produktionsrouten, Abb. 4-4 die daraus resultierende Energieträgernachfrage.

Für Ammoniak wird entsprechend Prognos et al. angenommen, dass es ab 2020 eine Nachfrage nach regenerativ erzeugtem Ammoniak gibt, die bis 2050 deutlich ansteigt.



Abb. 4-3 Produktionsrouten für High Value Chemical (HVC) in der Petrochemie in Deutschland

Quelle: Prognos et al. (2020)

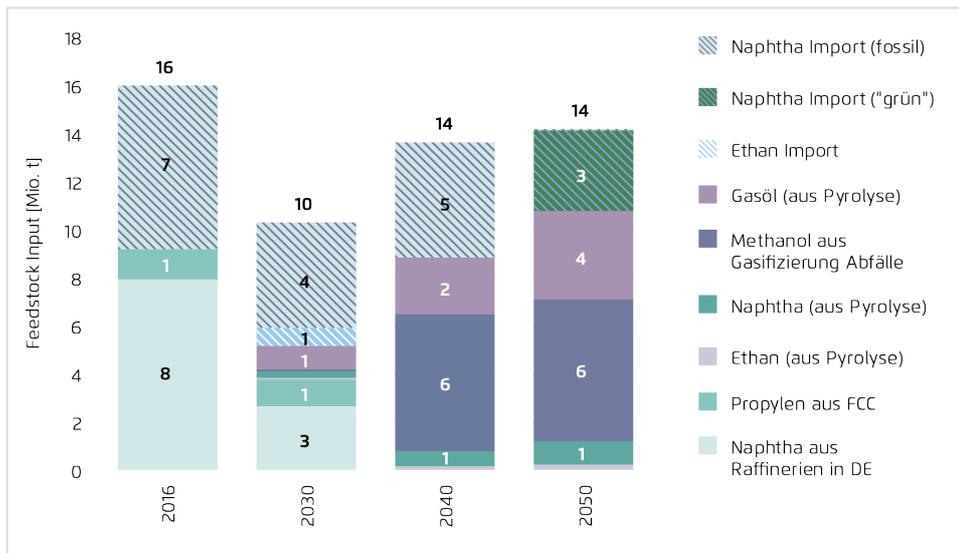


Abb. 4-4 Energieträgernachfrage in der Petrochemie in Deutschland

Quelle: Prognos et al. (2020)

Abb. 4-5 zeigt zusammenfassend die sich ergebende europäische Entwicklung der Nachfrage nach Wasserstoff und synthetischen Grundstoffen für die drei Sektoren nach Ländern. Diese Entwicklung wird in allen drei Nachfrageszenarien (BM, EL, SYN) identisch angenommen.

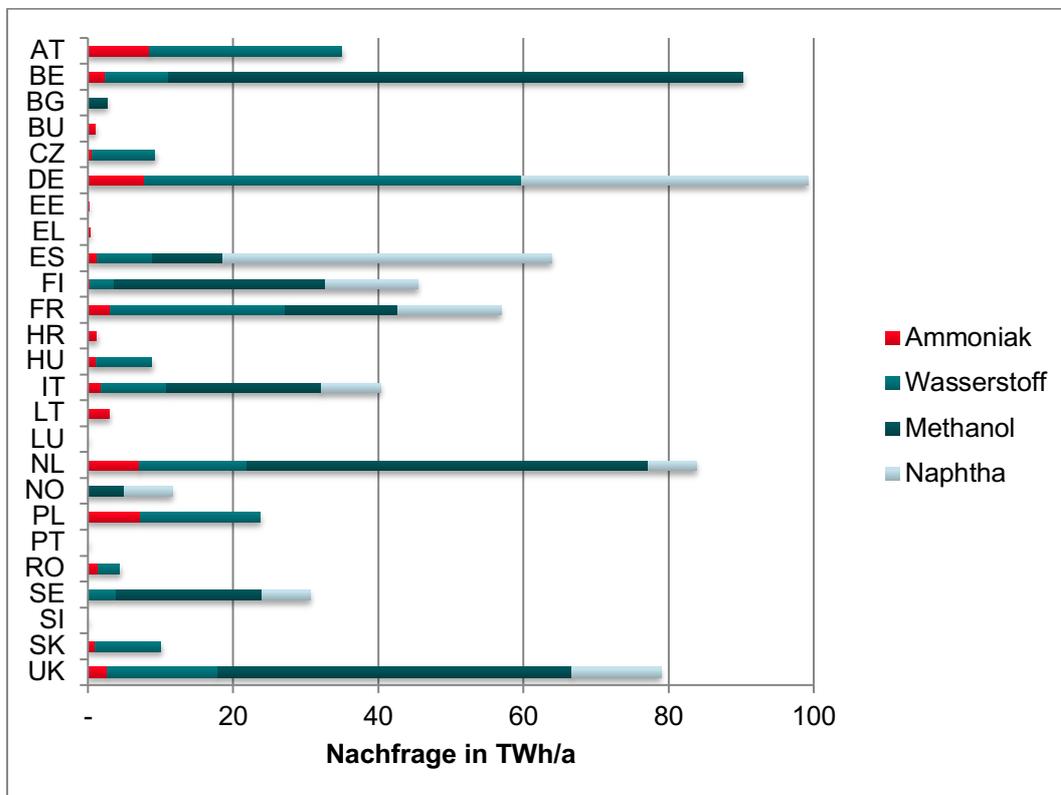


Abb. 4-5 Nachfrage nach Wasserstoff und regenerativ erzeugten Kohlenwasserstoffen aus der Industrie im Jahr 2050 in Europa

4.2 Strom- und Wasserstoffnachfrage im umgebenden Energiesystem

Auch die Nachfrage nach Strom und Wasserstoff aus dem umgebenden Energiesystem sollte bei der integrierten Modellierung der Kraftstoffbereitstellung berücksichtigt werden. Hier wird wiederum auf ein geeignetes Rahmenszenario zurückgegriffen, das ein hohes CO₂-Minderungsziel und eine Betrachtung der europäischen Länder beinhaltet. Hierfür wurden von der Begleitforschung der Förderinitiative „Energiewende im Verkehr“ (BEnIVer) Daten aus dem Projekt Multi-Sektor-Kopplung (MuSeKo; Fraunhofer IFAM et al., 2020) zur Verfügung gestellt.

Das dort entwickelte Szenario „THG95“ wird herangezogen, um die Entwicklung des Stromsektors abzubilden. Analog zum Vorgehen im Verkehrsbereich werden auch hier nur diejenigen Anteile betrachtet, die durch Wind- und Solarenergie gedeckt werden und die nicht der Wasserstoffherstellung und für die Elektromobilität dienen, da diese in der Modellierung für das MENA-Fuels-Projekt endogen ermittelt wird.

Für die Berechnung der Strombedarfe des umgebenden Energiesystems wurden von den Gesamt-Strombedarfen aus dem MuSeKo-Projekt deswegen die Strombedarfe für Elektromobilität und die Stromaufwendung für die Wasserstoffherzeugung subtrahiert; außerdem wurde der Anteil abgezogen, der nicht aus Wind- und Solarenergie gedeckt wird.

Der Bedarf nach Wasserstoff außerhalb des Industrie- und Verkehrssektors wird ebenfalls basierend auf dem Szenario „THG95“ des MuSeKo-Projekts abgebildet. Die Datenbasis für Deutschland und Europa unterscheidet sich im MuSeKo-Projekt hinsichtlich der Wasserstoffnutzung. Für Deutschland wird eine explizite Wasserstoffnachfrage (und entsprechende Strommengen) für die Rückverstromung und die Anwendung in Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen ausgewiesen. Für die anderen Länder ist diese Nachfrage nicht explizit ausgewiesen. Deswegen wird hier für die Nachfrageszenarien (BM, EL, SYN) angenommen, dass der entsprechende Strombedarf zur Wasserstoff-Herstellung in der Stromnachfrage enthalten ist. Für die europäischen Länder außerhalb Deutschlands entspricht die Wasserstoff-Nachfrage im „THG95“-Szenario der Nachfrage des Verkehrs. Da diese hier entsprechend der in Kapitel 3 beschriebenen Verkehrs-Nachfrageentwicklungen betrachtet wird, wird entsprechend keine Wasserstoff-Nachfrage für das umgebende Energiesystem ausgewiesen. Dieser Unterschied in der Datenlage führt dazu, dass nur für Deutschland eine Wasserstoffnachfrage aus dem umgebenden Energiesystem ausgewiesen ist. Abb. 4-6 zeigt die resultierende Strom- und Wasserstoffnachfrage der betrachteten europäischen Länder.

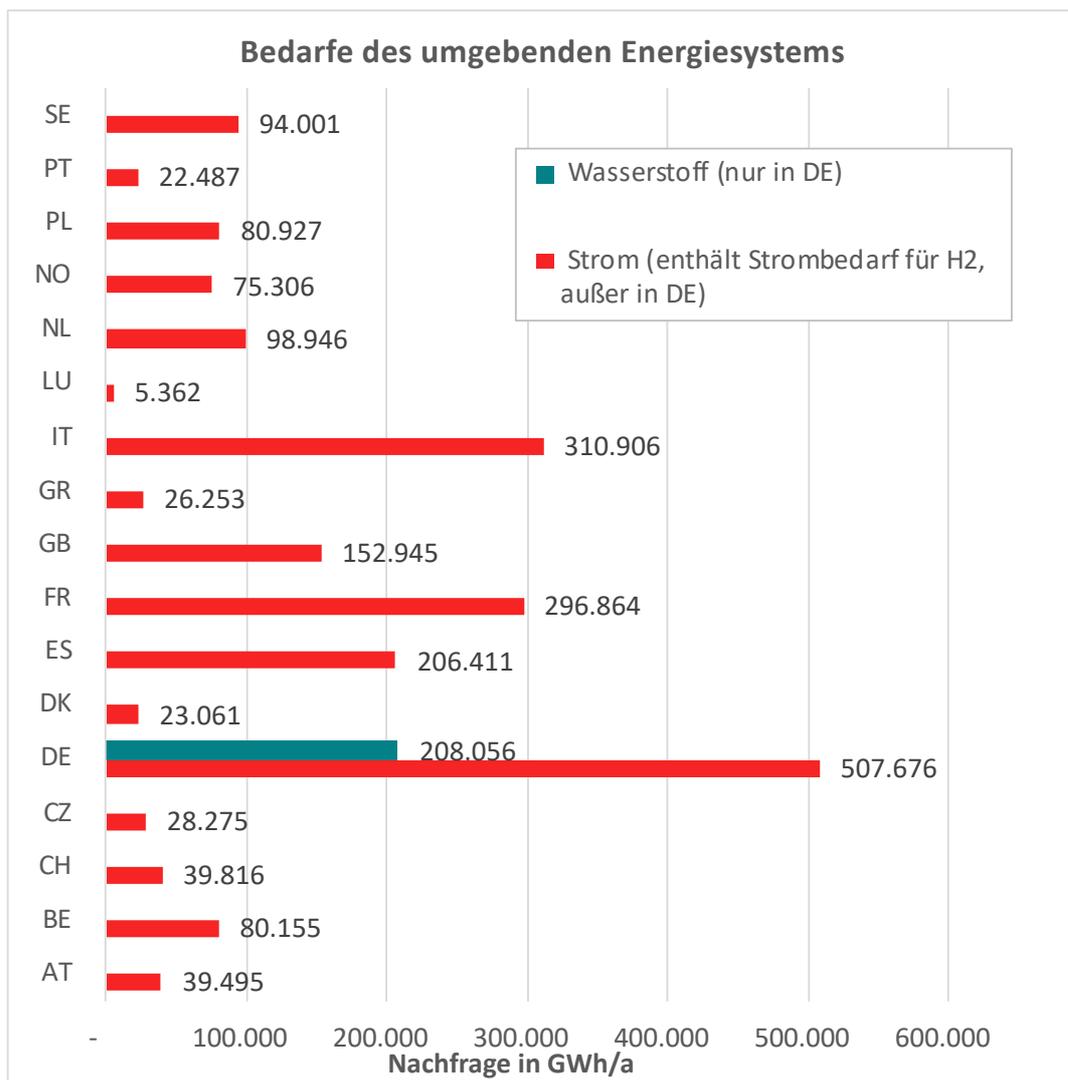


Abb. 4-6 Nachfrage nach Strom und Wasserstoff aus dem umgebenden Energiesystem im Jahr 2050 in Europa

5 Zusammenfassung: Entwicklung des Energiebedarfs in den drei Nachfrageszenarien

Abb. 5-1 zeigt zusammenfassend den Energiebedarf nach Energieträgern und Sektoren beispielhaft für Deutschland im Jahr 2050. Eine vollständige Datenübersicht für alle drei Szenarien, alle europäischen Länder und alle betrachteten Sektoren findet sich in Anhang 7.2. Am Beispiel von Deutschland zeigt sich, dass der Strom- und Wasserstoffbedarf des umgebenden Energiesystems groß ist im Verhältnis zur Nachfrage aus den anderen Sektoren.

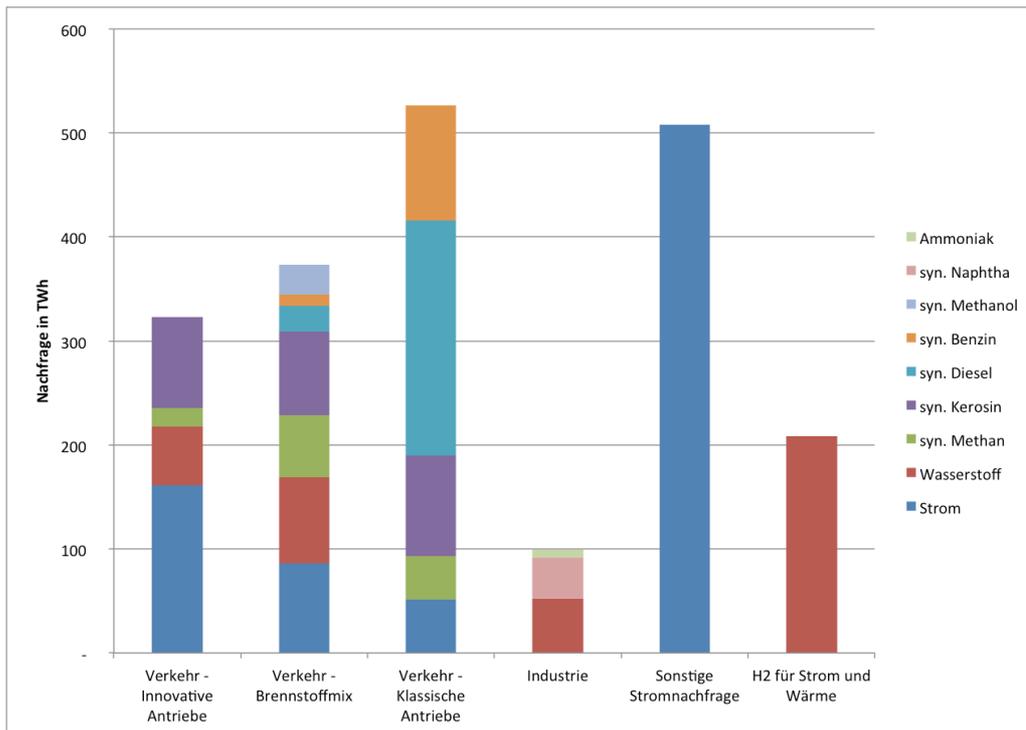


Abb. 5-1 Energienachfrage aller betrachteten Sektoren in Deutschland im Jahr 2050

6 Literaturverzeichnis

Zitierte Literatur

- BCG (2021). Klimapfade 2.0—Ein Wirtschaftsprogramm für Klima und Zukunft.
<https://web-assets.bcg.com/59/8a/77a561e04a33b1ea31fc1d76a749/klimapfade2-gesamtstudie-vorabversion-de.pdf>
- BCG und Prognos (2018). Klimapfade für Deutschland.
<https://bdi.eu/publikation/news/klimapfade-fuer-deutschland>
- Bründlinger, T., König, J. E., Frank, O., Gründig, D., Jugel, C., Kraft, P., Krieger, O., Mischinger, S., Prein, Dr. P., Seidl, H., Siegemund, S., Stolte, C., Teichmann, M., Willke, J., Wolke, M. (2018). Dena-Leitstudie Integrierte Energiewende. Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena).
https://shop.dena.de/fileadmin/denashop/media/Downloads_Dateien/esd/9261_dena-Leitstudie_Integrierte_Energiewende_lang.pdf
- dena (2017). E-Fuels STUDY - The potential of electricity-based fuels for low-emission transport in the EU.
- ENTSO-E (2015). Europe's future secure and sustainable electricity infrastructure—E-Highway2050 project results.
http://pfbach.dk/firma_pfb/e_highway2050_booklet.pdf
- European Commission (2018). A Clean Planet for all—A European strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52018DC0773>
- Eurostat (2021). TPS00001—Population on 1 January.
<https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/tps00001/default/table?lang=en>
- Forschungszentrum Jülich (Hrsg.) (2020). Wege für die Energiewende—Kosteneffiziente und klimagerechte Transformationsstrategien für das deutsche Energiesystem bis zum Jahr 2050. www.fz-juelich.de/iek/iek-3/DE/_Documents/Downloads/transformationStrategies2050_studySummary_2019-10-31.pdf.pdf?__blob=publicationFile
- Fraunhofer IFAM, DLR, GWI (2020). Multi-Sektor-Kopplung—Modellbasierte Analyse der Integration Erneuerbarer Stromerzeugung durch die Kopplung der Stromversorgung mit dem Wärme, Gas- und Verkehrssektor.
<https://elib.dlr.de/135971/1/MuSeKo-Endbericht-2020-08-31.pdf>
- Prognos, Öko-Institut, Wuppertal Institut (2020). Klimaneutrales Deutschland—In drei Schritten zu null Treibhausgasen bis 2050 über ein Zwischenziel von -65% im Jahr 2030 als Teil des EU-Green-Deals Studie (im Auftrag von Agora Energiewende, Agora Verkehrswende und Stiftung Klimaneutralität) (S. 180).
https://static.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2020/KNDE2050/A-EW_195_KNDE_Langfassung_DE_WEB.pdf

Schneider, C., Boer, H.-S. de, Sluisveld, M. van, Andries Hof, Vuuren, D. van, Lechtenböhmer, S. (2018). EU decarbonisation scenarios for industry— Deliverable 4.2, REINVENT (REINVENT – PROJECT NR 730053).

UBA (2019). Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität – RESCUE (Langfassung) (Climate Change 36/2019, S. 444) [Endbericht]. Umweltbundesamt. www.umweltbundesamt.de/rescue

Teilberichte

- Acosta-Fernández, J., Viebahn, P., Hanke, T., Block, S. (2023). Gesamtwirtschaftliche Effekte von Investitionen zur Versorgung Deutschlands mit Wasserstoff und synthetischen Energieträgern aus der MENA-Region. MENA-Fuels: Teilbericht 13 des Wuppertal Instituts an das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK).
- Braun, J., Kern, J., Scholz, Y., Hu, W., Moser, M., Schillings, C., Simon, S., Ersoy, S. R., Terrapon-Pfaff, J. (2022). Technische und risikobewertete Kosten-Potenzial-Analyse der MENA-Region. MENA-Fuels: Teilbericht 10 des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) und des Wuppertal Instituts an das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK).
- Doré, L., Krüger, C., Janßen, T. (2022). Weitere Szenarioanalysen: Berücksichtigung von Investitionsrisiken und Sensitivitäten der Basisszenarien. MENA-Fuels: Teilbericht 7 des Wuppertal Instituts an das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK).
- Ersoy, S. R., Terrapon-Pfaff, J., Viebahn, P., Pregger, T., Braun, J. (2022). Synthese der Kurzstudien für Jordanien, Marokko und Oman. MENA-Fuels: Teilbericht 11 des Wuppertal Instituts und des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) an das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK).
- Horst, J., Klann, U. (2022). MENA-Fuels—Analyse eines globalen Marktes für Wasserstoff und synthetische Energieträger hinsichtlich künftiger Handelsbeziehungen. MENA-Fuels: Teilbericht 12 des Instituts für ZukunftsEnergie- und Stoffstromsysteme (IZES) an das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK).
- Jülich, A., Zelt, O. (2022). Ökobilanzen für synthetisches Kerosin—Vergleich von Produktionsrouten in MENA und Deutschland. MENA-Fuels: Teilbericht 2 des Wuppertal Instituts an das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK).
- Krüger, C., Doré, L. (2022). Nachfrageszenarien – Storylines und Herleitung der Entwicklung der Nachfrage nach Synfuels und Grundstoffen. MENA-Fuels: Teilbericht 5 des Wuppertal Instituts an das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK).
- Krüger, C., Doré, L., Janßen, T. (2022). Basisszenarien – Ergebnisse und Infrastrukturauswertung. MENA-Fuels: Teilbericht 6 des Wuppertal Instituts an das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK).
- Pregger, T. (2022). Szenarien zur Eigenbedarfsanalyse für die MENA-Länder. MENA-Fuels: Teilbericht 9 des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) an das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK).
- Saurat, M., Doré, L., Janßen, T., Kiefer, S., Krüger, C., Nebel, A. (2022). Beschreibung des Energieversorgungsmodells WISEE-ESM-I. MENA-Fuels: Teilbericht 4 des Wuppertal Instituts an das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK).

- Terrapon-Pfaff, J., Prantner, M., Ersoy, S. R. (2022). Risikobewertung und Risikokostenanalyse der MENA-Region. MENA-Fuels: Teilbericht 8 des Wuppertal Instituts an das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK).
- Viebahn, P., Kern, J., Horst, J., Rosenstiel, A., Terrapon-Pfaff, J., Doré, L., Krüger, C., Zelt, O., Pregger, T., Braun, J., Klann, U. (2022a). Synthese und Handlungsoptionen – Ergebnisbericht des Projekts MENA-Fuels. Teilbericht 14 des Wuppertal Instituts, des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) und des Instituts für ZukunftsEnergie- und Stoffstromsysteme (IZES) an das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK).
- Viebahn, P., Kern, J., Horst, J., Rosenstiel, A., Terrapon-Pfaff, J., Doré, L., Krüger, C., Zelt, O., Pregger, T., Braun, J., Klann, U. (2022b). Synthesis and courses of action. Report on results of the MENA-Fuels project. Sub-report 14 to the Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Action (BMWK). Wuppertal Institut, German Aerospace Center (DLR), Institut für ZukunftsEnergie- und Stoffstromsysteme (Institute for Future Energy and Material Flow Systems, IZES).
- Viebahn, P., Kern, J., Horst, J., Rosenstiel, A., Terrapon-Pfaff, L., Doré, L., Krüger, C., Zelt, O., Pregger, T., Braun, J., Klann, U. (2022c) : synthèse et pistes d'action. Rapport sur les résultats du projet MENA-Fuels. Sous-rapport 14 au ministère fédéral de l'Économie et de la Protection du climat (BMWK). Wuppertal Institut, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für ZukunftsEnergie- und Stoffstromsysteme (IZES).
- Zelt, O., Kobiela, G., Ortiz, W., Scholz, A., Monnerie, N., Rosenstiel, A., Viebahn, P. (2020). Multikriterielle Bewertung von Bereitstellungstechnologien synthetischer Kraftstoffe. MENA-Fuels: Teilbericht 3 des Wuppertal Instituts und des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) an das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK).
- Zelt, O., Scholz, A., Viebahn, P. (2021). Auswahl der zu bewertenden synthetischen Kraftstoffe und ihrer Bereitstellungstechnologien. MENA-Fuels: Teilbericht 1 des Wuppertal Instituts an das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK).

7 Anhang

7.1 Energieeinsatz nach Transportmittel bei Nutzung verschiedener Kraftstoffe

Tab. 7-1 Energieeinsatz nach Transportmitteln im Jahr 2050

	Benzin	Diesel	Methan	Wasserstoff	Strom	Kerosin	Einheit
Schienenverkehr Last		0,12		0,07	0,03		kWh/tkm
Schienenverkehr Personen		0,23		0,14	0,08		kWh/pkm
Luftverkehr Last				3,79		6,32	kWh/tkm
Luftverkehr Personen				0,57		0,94	kWh/pkm
Schiffverkehr		0,05	0,05	0,03			kWh/tkm
PKW	0,50	0,42	0,49	0,24	0,14		kWh/FZkm
LNF		0,71	1,03	0,43	0,22		kWh/FZkm
LKW 3.5-12t		1,42	1,89	1,08	0,75		kWh/FZkm
LKW > 12 t		2,04	2,28	1,64	1,30		kWh/FZkm

Quelle: basierend auf Bründlinger et al. (2018)

7.2 Datenanhang Energienachfrage

7.2.1 Nachfrage aus dem Verkehrssektor

Tab. 7-2 Nachfrage nach regenerativer Energie und synthetischen Kraftstoffen für den Verkehr nach Szenarien, Ländern und Jahren in GWh

Szenario	Land	Jahr	Strom	Wasserstoff	synth. Methan	synth. Kerosin	synth. Diesel	synth. Benzin	synth. Methanol
Brennstoffmix	AT	2030	7.706	1.734	422	1.011	1.454	992	624
		2040	8.455	5.298	3.573	5.606	2.167	1.060	1.967
		2050	9.204	8.862	6.404	8.573	2.697	1.156	3.077
	BE	2030	9.975	2.244	546	1.309	1.883	1.284	807
		2040	10.945	6.858	4.626	7.257	2.806	1.372	2.546
		2050	11.915	11.472	8.290	11.098	3.491	1.496	3.983
	CH	2030	7.451	1.676	408	978	1.406	959	603
		2040	8.175	5.122	3.455	5.420	2.095	1.024	1.902
		2050	8.899	8.568	6.192	8.289	2.608	1.118	2.975
	CZ	2030	9.258	2.083	507	1.215	1.747	1.192	749
		2040	10.158	6.365	4.293	6.735	2.604	1.273	2.363
		2050	11.058	10.647	7.694	10.300	3.240	1.389	3.697
	DE	2030	72.000	16.200	3.941	9.450	13.590	9.270	5.828
		2040	79.000	49.500	33.387	52.380	20.250	9.900	18.380
		2050	86.000	82.800	59.839	80.100	25.200	10.800	28.749
	DK	2030	5.041	1.134	276	662	951	649	408
		2040	5.531	3.466	2.338	3.667	1.418	693	1.287
		2050	6.021	5.797	4.190	5.608	1.764	756	2.013
	ES	2030	40.977	9.220	2.243	5.378	7.734	5.276	3.317
		2040	44.961	28.172	19.001	29.811	11.525	5.634	10.460
		2050	48.945	47.124	34.056	45.587	14.342	6.147	16.362
	FR	2030	58.281	13.113	3.190	7.649	11.001	7.504	4.717
		2040	63.947	40.068	27.025	42.400	16.392	8.014	14.878
		2050	69.614	67.023	48.437	64.838	20.398	8.742	23.271
	GB	2030	57.801	13.005	3.164	7.586	10.910	7.442	4.679
		2040	63.421	39.738	26.803	42.050	16.257	7.948	14.755
		2050	69.040	66.471	48.038	64.304	20.230	8.670	23.079
GR	2030	9.279	2.088	508	1.218	1.751	1.195	751	
	2040	10.182	6.380	4.303	6.751	2.610	1.276	2.369	
	2050	11.084	10.671	7.712	10.323	3.248	1.392	3.705	
IT	2030	51.633	11.618	2.826	6.777	9.746	6.648	4.179	
	2040	56.653	35.498	23.943	37.563	14.522	7.100	13.181	
	2050	61.673	59.379	42.912	57.442	18.072	7.745	20.617	
LU	2030	542	122	30	71	102	70	44	
	2040	595	373	251	394	152	75	138	
	2050	647	623	450	603	190	81	216	

Szenario	Land	Jahr	Strom	Wasserstoff	synth. Methan	synth. Kerosin	synth. Diesel	synth. Benzin	synth. Methanol
Brennstoffmix	NL	2030	15.070	3.391	825	1.978	2.845	1.940	1.220
		2040	16.535	10.361	6.988	10.964	4.239	2.072	3.847
		2050	18.001	17.331	12.525	16.766	5.275	2.261	6.017
	NO	2030	4.647	1.046	254	610	877	598	376
		2040	5.099	3.195	2.155	3.381	1.307	639	1.186
		2050	5.550	5.344	3.862	5.170	1.626	697	1.855
	PL	2030	32.862	7.394	1.799	4.313	6.203	4.231	2.660
		2040	36.056	22.592	15.238	23.907	9.242	4.518	8.389
		2050	39.251	37.791	27.311	36.558	11.502	4.929	13.121
	PT	2030	8.913	2.006	488	1.170	1.682	1.148	721
		2040	9.780	6.128	4.133	6.485	2.507	1.226	2.275
		2050	10.647	10.251	7.408	9.916	3.120	1.337	3.559
	SE	2030	8.941	2.012	489	1.173	1.688	1.151	724
		2040	9.810	6.147	4.146	6.505	2.515	1.229	2.282
		2050	10.679	10.282	7.431	9.947	3.129	1.341	3.570
Innovative Antriebe	AT	2030	9.669	1.192	121	1.104	-	-	-
		2040	13.458	3.642	1.026	6.117	-	-	-
		2050	17.247	6.092	1.838	9.354	-	-	-
	BE	2030	12.517	1.543	157	1.429	-	-	-
		2040	17.422	4.714	1.328	7.918	-	-	-
		2050	22.326	7.886	2.379	12.109	-	-	-
	CH	2030	9.349	1.152	117	1.067	-	-	-
		2040	13.012	3.521	992	5.914	-	-	-
		2050	16.676	5.890	1.777	9.044	-	-	-
	CZ	2030	11.617	1.432	145	1.326	-	-	-
		2040	16.169	4.375	1.232	7.349	-	-	-
		2050	20.721	7.319	2.208	11.238	-	-	-
	DE	2030	90.345	11.136	1.131	10.311	-	-	-
		2040	125.747	34.027	9.582	57.153	-	-	-
		2050	161.148	56.918	17.174	87.399	-	-	-
	DK	2030	6.325	780	79	722	-	-	-
		2040	8.804	2.382	671	4.001	-	-	-
		2050	11.282	3.985	1.202	6.119	-	-	-
	ES	2030	51.418	6.338	644	5.868	-	-	-
		2040	71.566	19.366	5.454	32.527	-	-	-
		2050	91.714	32.394	9.774	49.741	-	-	-
	FR	2030	73.131	9.014	916	8.346	-	-	-
		2040	101.787	27.543	7.757	46.263	-	-	-
		2050	130.443	46.073	13.902	70.746	-	-	-
	GB	2030	72.529	8.940	908	8.278	-	-	-
		2040	100.948	27.317	7.693	45.882	-	-	-
		2050	129.368	45.693	13.787	70.163	-	-	-
GR	2030	11.644	1.435	146	1.329	-	-	-	
	2040	16.206	4.385	1.235	7.366	-	-	-	
	2050	20.769	7.336	2.213	11.264	-	-	-	

Szenario	Land	Jahr	Strom	Wasserstoff	synth. Methan	synth. Kerosin	synth. Diesel	synth. Benzin	synth. Methanol
Innovative Antriebe	IT	2030	64.790	7.986	811	7.394	-	-	-
		2040	90.177	24.402	6.872	40.986	-	-	-
		2050	115.564	40.818	12.316	62.677	-	-	-
	LU	2030	680	84	9	78	-	-	-
		2040	947	256	72	430	-	-	-
		2050	1.213	428	129	658	-	-	-
	NL	2030	18.910	2.331	237	2.158	-	-	-
		2040	26.320	7.122	2.006	11.963	-	-	-
		2050	33.730	11.913	3.595	18.293	-	-	-
	NO	2030	5.831	719	73	665	-	-	-
		2040	8.116	2.196	618	3.689	-	-	-
		2050	10.401	3.673	1.108	5.641	-	-	-
	PL	2030	41.235	5.083	516	4.706	-	-	-
		2040	57.392	15.530	4.373	26.085	-	-	-
		2050	73.550	25.978	7.839	39.890	-	-	-
	PT	2030	11.185	1.379	140	1.277	-	-	-
		2040	15.567	4.212	1.186	7.075	-	-	-
		2050	19.950	7.046	2.126	10.820	-	-	-
SE	2030	11.219	1.383	140	1.280	-	-	-	
	2040	15.615	4.225	1.190	7.097	-	-	-	
	2050	20.011	7.068	2.133	10.853	-	-	-	
Klassische Antriebe	AT	2030	4.610	-	293	1.226	8.981	4.397	-
		2040	5.058	-	2.484	6.797	16.859	8.254	-
		2050	5.507	-	4.452	10.393	24.173	11.836	-
	BE	2030	5.968	-	380	1.587	11.626	5.692	-
		2040	6.548	-	3.215	8.798	21.824	10.685	-
		2050	7.128	-	5.763	13.454	31.292	15.321	-
	CH	2030	4.457	-	283	1.186	8.683	4.252	-
		2040	4.891	-	2.401	6.571	16.300	7.981	-
		2050	5.324	-	4.304	10.049	23.372	11.443	-
	CZ	2030	5.539	-	352	1.473	10.790	5.283	-
		2040	6.077	-	2.984	8.166	20.255	9.917	-
		2050	6.616	-	5.348	12.487	29.042	14.220	-
	DE	2030	43.075	-	2.739	11.457	83.914	41.086	-
		2040	47.262	-	23.207	63.503	157.522	77.125	-
		2050	51.450	-	41.594	97.110	225.861	110.585	-
	DK	2030	3.016	-	192	802	5.875	2.877	-
		2040	3.309	-	1.625	4.446	11.029	5.400	-
		2050	3.602	-	2.912	6.799	15.813	7.742	-
ES	2030	24.515	-	1.559	6.520	47.758	23.383	-	
	2040	26.898	-	13.208	36.142	89.650	43.894	-	
	2050	29.282	-	23.672	55.268	128.544	62.937	-	
FR	2030	34.867	-	2.217	9.274	67.925	33.257	-	
	2040	38.257	-	18.785	51.404	127.508	62.430	-	
	2050	41.647	-	33.669	78.607	182.826	89.514	-	

Szenario	Land	Jahr	Strom	Wasserstoff	synth. Methan	synth. Kerosin	synth. Diesel	synth. Benzin	synth. Methanol
Klassische Antriebe	GB	2030	34.580	-	2.199	9.197	67.366	32.983	-
		2040	37.942	-	18.631	50.980	126.457	61.916	-
		2050	41.304	-	33.391	77.959	181.319	88.777	-
	GR	2030	5.551	-	353	1.477	10.815	5.295	-
		2040	6.091	-	2.991	8.184	20.302	9.940	-
		2050	6.631	-	5.361	12.516	29.109	14.252	-
	IT	2030	30.890	-	1.965	8.216	60.178	29.464	-
		2040	33.893	-	16.643	45.540	112.964	55.309	-
		2050	36.897	-	29.828	69.641	161.972	79.304	-
	LU	2030	324	-	21	86	632	309	-
		2040	356	-	175	478	1.186	581	-
		2050	387	-	313	731	1.700	833	-
	NL	2030	9.016	-	573	2.398	17.564	8.600	-
		2040	9.892	-	4.857	13.292	32.971	16.143	-
		2050	10.769	-	8.706	20.326	47.275	23.147	-
	NO	2030	2.780	-	177	739	5.416	2.652	-
		2040	3.050	-	1.498	4.099	10.166	4.978	-
		2050	3.321	-	2.684	6.267	14.577	7.137	-
	PL	2030	19.660	-	1.250	5.229	38.299	18.752	-
		2040	21.571	-	10.592	28.984	71.895	35.201	-
		2050	23.482	-	18.984	44.322	103.085	50.472	-
	PT	2030	5.333	-	339	1.418	10.388	5.086	-
		2040	5.851	-	2.873	7.862	19.501	9.548	-
		2050	6.369	-	5.149	12.022	27.961	13.690	-
SE	2030	5.349	-	340	1.423	10.420	5.102	-	
	2040	5.869	-	2.882	7.886	19.561	9.577	-	
	2050	6.389	-	5.165	12.059	28.047	13.732	-	

7.2.2 Nachfrage nach synthetischen Stoffen aus dem Industriesektor

Tab. 7-3 Nachfrage nach regenerativer Energie aus der Industrie nach Ländern und Jahren in GWh (identisch für alle drei Szenarien)

Land	Jahr	Eisen und Stahl	Petrochemie	Methanol	Naphtha	Ammoniak
		Wasserstoff	Wasserstoff			
AT	2030	231	-	-	-	-
	2040	6.326	6.236	-	-	1.361
	2050	20.252	6.236	-	-	8.508
BE	2030	1.454	219	-	-	-
	2040	2.815	3.177	-	-	2.586
	2050	5.620	3.177	79.146	-	2.348
CH	2030	-	-	-	-	-
	2040	-	-	-	-	-
	2050	-	-	-	-	-
CZ	2030	-	10	-	-	-
	2040	662	1.553	-	-	579
	2050	7.141	1.553	-	-	525
DE	2030	4.848	1.497	-	-	-
	2040	18.067	15.431	-	-	1.236
	2050	36.068	16.005	-	39.371	7.724
DK	2030	-	-	-	-	-
	2040	-	-	-	-	-
	2050	-	-	-	-	-
ES	2030	-	-	-	-	-
	2040	2.646	2.391	-	-	1.395
	2050	5.283	2.391	9.622	45.327	1.267
FR	2030	1.915	-	-	-	-
	2040	8.081	7.940	-	-	3.437
	2050	16.133	7.940	15.499	14.213	3.120
GB	2030	257	459	-	-	-
	2040	3.064	6.215	-	-	2.893
	2050	9.091	6.215	48.717	12.292	2.626
GR	2030	-	-	-	-	-
	2040	-	-	-	-	-
	2050	-	-	-	-	-
IT	2030	-	23	-	-	-
	2040	-	2.780	-	-	1.940
	2050	3.438	5.628	21.371	8.105	1.761
LU	2030	-	-	-	-	-
	2040	-	-	-	-	-
	2050	-	-	-	-	-
NL	2030	1.197	-	-	-	-
	2040	2.318	6.785	-	-	7.827
	2050	7.934	6.823	55.272	6.744	7.106

Land	Jahr	Eisen und Stahl	Petrochemie	Methanol	Naphtha	Ammoniak
		Wasserstoff	Wasserstoff			
NO	2030	-	-	-	-	-
	2040	-	-	-	-	-
	2050	-	-	5.027	6.620	-
PL	2030	-	388	-	-	-
	2040	5.061	6.359	-	-	7.953
	2050	10.103	6.359	-	-	7.220
PT	2030	-	56	-	-	-
	2040	-	67	-	-	-
	2050	-	67	-	-	-
SE	2030	-	-	-	-	-
	2040	1.987	-	-	-	-
	2050	3.967	-	19.976	6.710	-

7.2.3 Nachfrage des umgebenden Energiesystems

Tab. 7-4 Nachfrage des umgebenden Energiesystems nach Ländern und Jahren in GWh (identisch für alle drei Szenarien)

Land	Jahr	Stromnachfrage insgesamt	Stromnachfrage ohne Strom für Verkehr und	berücksichtigte Stromnachfrage ⁵	Wasserstoff
AT	2030	75.407	71.395	51.101	-
	2040	71.824	63.446	47.041	-
	2050	68.242	55.497	39.495	-
BE	2030	95.215	89.647	79.192	-
	2040	97.763	85.420	84.755	-
	2050	100.311	81.193	80.155	-
CH	2030	70.845	67.433	42.399	-
	2040	69.497	61.419	45.595	-
	2050	68.150	55.405	39.816	-
CZ	2030	74.670	71.258	41.936	-
	2040	67.595	59.516	37.524	-
	2050	60.520	47.775	28.275	-
DE	2030	609.000	545.400	406.068	6.111
	2040	790.000	587.000	515.735	38.333
	2050	1.141.000	559.000	507.676	208.056
DK	2030	42.203	39.419	32.728	-
	2040	38.513	32.341	29.972	-
	2050	34.823	25.264	23.061	-
ES	2030	389.435	364.137	183.100	-
	2040	402.629	350.152	194.755	-
	2050	415.823	336.167	206.411	-
FR	2030	508.170	474.136	120.936	-
	2040	533.793	457.831	132.246	-
	2050	559.417	441.526	296.864	-
GB	2030	391.943	354.076	168.988	-
	2040	397.982	314.723	160.966	-
	2050	404.020	275.371	152.945	-
GR	2030	61.793	58.081	13.889	-
	2040	60.605	52.377	20.071	-
	2050	59.417	46.673	26.253	-
IT	2030	365.204	336.110	275.297	-
	2040	397.570	332.044	310.581	-
	2050	429.937	327.977	310.906	-
LU	2030	7.844	7.478	6.617	-
	2040	6.953	6.452	6.404	-
	2050	6.062	5.425	5.362	-

Land	Jahr	Stromnachfrage insgesamt	Stromnachfrage ohne Strom für Verkehr und	berücksichtigte Stromnachfrage ⁶	Wasserstoff
NL	2030	124.873	118.377	87.364	-
	2040	127.824	113.425	104.775	-
	2050	130.776	108.473	98.946	-
NO	2030	146.790	144.006	127.759	-
	2040	122.386	116.214	103.397	-
	2050	97.981	88.423	75.306	-
PL	2030	178.495	167.060	118.349	-
	2040	158.555	133.720	110.363	-
	2050	138.614	100.379	80.927	-
PT	2030	60.654	57.242	28.654	-
	2040	60.025	51.947	25.570	-
	2050	59.397	46.652	22.487	-
SE	2030	149.264	143.696	85.344	-
	2040	135.222	122.879	77.138	-
	2050	121.180	102.063	94.001	-

⁵ Berücksichtigte Stromnachfrage: der durch Wind und Solar zu deckende Anteil der Stromnachfrage ohne Strom für Verkehr und Wasserstoff (siehe Kapitel 4.2).

⁶ Berücksichtigte Stromnachfrage: der durch Wind und Solar zu deckende Anteil der Stromnachfrage ohne Strom für Verkehr und Wasserstoff (siehe Kapitel 4.2).

Überblick über die Teilberichte in MENA-Fuels

Alle Teilberichte können über die folgende Website heruntergeladen werden:

www.wupperinst.org/MENA-Fuels/

Teilprojekt A.I: Technologiebewertung für synthetische Kraftstoffe

- 1 Auswahl der zu bewertenden synthetischen Kraftstoffe und ihrer Bereitstellungstechnologien
- 2 Ökobilanzen für synthetisches Kerosin – Vergleich von Produktionsrouten in MENA und Deutschland
- 3 Multikriterielle Bewertung von Bereitstellungstechnologien synthetischer Kraftstoffe

Teilprojekt A.II: Potenzial- und Infrastrukturanalyse für EE-Strom, Wasserstoff und synthetische Folgeprodukte

- 4 Beschreibung des Energieversorgungsmodells WISEE-ESM-I
- 5 Nachfrageszenarien – Storylines und Herleitung der Entwicklung der Nachfrage nach Synfuels und Grundstoffen
- 6 Basisszenarien – Ergebnisse und Infrastrukturauswertung
- 7 Weitere Szenarioanalysen: Berücksichtigung von Investitionsrisiken und Sensitivitäten der Basisszenarien
- 8 Risikobewertung und Risikokostenanalyse der MENA-Region

Teilprojekt B.I: Analyse der Exportpotenziale in den MENA-Ländern

- 9 Szenarien zur Eigenbedarfsanalyse für die MENA-Länder
- 10 Technische und risikobewertete Kosten-Potenzial-Analyse der MENA-Region
- 11 Synthese der Kurzstudien für Jordanien, Marokko und Oman

Teilprojekt B.II: Künftige Märkte, Handelsprodukte und Wertschöpfungsketten

- 12 MENA-Fuels – Analyse eines globalen Marktes für Wasserstoff und synthetische Energieträger hinsichtlich künftiger Handelsbeziehungen
- 13 Gesamtwirtschaftliche Effekte von Investitionen zur Versorgung Deutschlands mit Wasserstoff und synthetischen Energieträgern aus der MENA-Region

Teilprojekt B.III: Synthese und Handlungsoptionen

- 14 (DE) Synthese und Handlungsoptionen – Ergebnisbericht des Projekts MENA-Fuels
- 14 (EN) Synthesis and courses of action – Report on results of the MENA-Fuels project
- 14 (FR) Synthèse et pistes d'action – Rapport sur les résultats du projet MENA-Fuels

Die Zukunft der Mobilität in Deutschland und der EU bietet ein vielfältiges Portfolio an Technologien und Lösungen. Neben der Elektromobilität ist auch der Einsatz synthetischer Kraftstoffe eine denkbare Lösung.

Die Herstellung großer Mengen synthetischer Kraftstoffe (und Feedstocks) benötigt erhebliche Mengen an preisgünstigen erneuerbaren Energien. Insbesondere die sonnen- und windreichen Länder der MENA-Region (Nordafrika und Naher Osten) mit ihren großen erneuerbaren Energiepotenzialen bieten sich als Standorte zur Herstellung synthetischer Kraftstoffe und ihrer Vorprodukte an. Darüber hinaus bestehen zu vielen Ländern bereits Handelsbeziehungen und Infrastrukturen, auf die aufgebaut werden kann.

Aber welche Potenziale sind in den einzelnen Staaten verfügbar? Zu welchen Kosten stehen entsprechende Ressourcen zur Verfügung? Welche Transportstrukturen werden benötigt? Welche Auswirkungen hat ein Import auf die Wertschöpfung sowohl in Deutschland als auch in den MENA-Staaten? Welches Interesse besteht in den Staaten der MENA-Region selbst, ihre erneuerbaren Energiepotenziale für die inländische Versorgung, aber auch für den Export zu nutzen? Mit welchen Mitbewerbern ist außerhalb von MENA und EU zu rechnen?

Vor dem Hintergrund dieser Fragestellungen hat das Projekt *MENA-Fuels* analysiert, in welchem Umfang die MENA-Region ein strategisch wichtiger Handelspartner bei der Versorgung Deutschlands (und der EU) mit synthetischen Kraftstoffen oder deren Vorprodukten sein kann.

www.wupperinst.org/MENA-Fuels/

