

Vision 2050

WEITERENTWICKLUNG VON
RAFFINERIEEN UND FLÜSSIGEN
ENERGIETRÄGERN



	Seite
ZUSAMMENFASSUNG	2
EINLEITUNG	4
1. DIE ENTWICKLUNG DER NACHFRAGE NACH FLÜSSIGEN KOHLENWASSERSTOFFEN UND DIE ZUKÜNFTIGE ROLLE VON CO₂-ARMEN FLÜSSIGKRAFTSTOFFEN UND ANDEREN PRODUKTEN	6
1.1. Nachfragetrends	7
1.2. Flüssigkraftstoffe für den Verkehrssektor	12
1.2.A. Kein Allheilmittel	12
1.2.B. Möglichkeiten verschiedener Sektoren, ihre CO ₂ -Emissionen zu senken	16
1.2.C. Schlussfolgerungen	25
1.3. Petrochemische Rohstoffe und andere Nicht-Kraftstoffprodukte	26
1.4. Energiespeicherung	28
2. EINE VISION FÜR DIE EUROPÄISCHE WIRTSCHAFT: RAFFINERIE 2050	30
2.1. Die Rolle des zukünftigen europäischen Raffineriesystems	32
2.2. Wege zu einer Umstellung des europäischen Raffineriesystems	33
2.3. Die Weiterentwicklung des europäischen Raffineriesystems hat bereits begonnen	39
3. QUANTITATIVE BEWERTUNG DES CO₂-MINDERUNGSPOTENZIALS UND DIE DAMIT VERBUNDENEN KOSTEN	42
3.1. THG-Emissionen aus Raffinerien	43
3.2. Die umfassende Einführung CO ₂ -armer Kraftstoffe für leichte Kraftfahrzeuge (Pkw und Nutzfahrzeuge) - Szenarien	46
3.3. Schlussfolgerungen	52
4. ERFORDERLICHE POLITISCHE UND REGULATORISCHE VERÄNDERUNGEN ZUR UMSETZUNG DIESER VISION	54
4.1. Eine wirtschaftliche Chance für die EU und die Rolle der Politik	55
4.2. Revolutionäre Technologien und politische Unterstützung	55
4.3. Investitionsrendite und öffentliche Anerkennung von CO ₂ -armen Technologien	56
4.4. Die Grundsätze eines investitionsfreundlichen politischen Handlungsrahmens	56
4.5. Der gegenwärtige energie- und klimapolitische Rahmen und seine Defizite	57
ANHÄNGE	60
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	102
ANHANG / EIN KONKRETER VORSCHLAG	Siehe Anhang

ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen des Pariser Übereinkommens hat sich die EU zum Ziel gesetzt, im Kampf gegen den **globalen Klimawandel** eine führende Rolle zu übernehmen. Die europäische Raffinerieindustrie sieht sich diesem Ziel **verpflichtet** und wird ihren **Beitrag** zur Zielerreichung **leisten**.

Die globale **Nachfrage nach flüssigen Kohlenwasserstoffen** – als Kraftstoffe für den Verkehr, als petrochemische Rohstoffe und für andere Anwendungen – soll bis **mindestens 2040 weiter wachsen**. Diese Produkte verfügen über eine konkurrenzlos hohe Energiedichte und sind leicht zu transportieren, was sie zur idealen Basis für Transport und Speicherung von Energie macht. Während für einige ihrer Anwendungen (z. B. Pkw, bei denen die Elektrifizierung eine wichtige Rolle übernehmen soll) Alternativen entwickelt werden, ist es weiterhin **schwierig** flüssige Kohlenwasserstoffe im Schwerlast- und Seeverkehr, in der Luftfahrt und als Rohstoff für die petrochemische Industrie **zu ersetzen**.

Daher ist es von großer Wichtigkeit für die industriellen und energetischen Wertschöpfungsketten in der EU sowie für ihre Bürger, dass die CO₂-Intensität **flüssiger Kohlenwasserstoffe schrittweise gesenkt wird**. Die europäische Raffinerieindustrie ist in einer guten Position, ihr Geschäftsmodell im Sinne dieses Zieles konsequent weiter zu entwickeln, indem vermehrt

Kombinationen **neuer Rohstoffe** – wie zum Beispiel Biomasse und pflanzliche Öle, Abfall und abgeschiedenes CO₂ – in einen hocheffizienten Produktionsprozess eingehen. Des Weiteren kann sie den Einsatz von **Ökostrom und Wasserstoff** in den Raffinerien ausbauen und verstärkt Synergien mit anderen Branchen in Form von integrierten Clustern nutzen. Die Flexibilität und Belastbarkeit der Infrastruktur der Raffinerieindustrie, darunter auch für den Produktvertrieb, ermöglichen es, dass sich dieser Wandel zu **vergleichsweise niedrigen Kosten und mit sofortiger CO₂-Reduktionswirkung** vollziehen kann.

Durch Investitionen in F&E-Projekte sowie den frühzeitigen Einsatz neuer Technologien engagiert sich die europäische Raffinerieindustrie bereits für die Umstellung auf eine CO₂-arme Wirtschaft. Diese Technologien, die ihre Wirksamkeit in der Praxis schon unter Beweis gestellt haben, müssen in großem Umfang umgesetzt werden. Innovative Lösungen werden den **Einsatz neuer Rohstoffe möglich machen und die Treibhausgasemissionen (THG) von Raffinerien sowie der Nutzung ihrer Produkte reduzieren**. Im Zuge dessen wird die EU ihre globale Führungsrolle bei CO₂-armen Technologien die in die ganze Welt exportiert werden, ausbauen und festigen.

Ein Ausblick auf die möglichen Wege hin zu einer CO₂-armen Raffinerielandschaft in der EU wurde von Concawe¹ entwickelt, der Umweltforschungsinstitution der in Europa operierenden Mineralölgesellschaften. Er zeigt, dass die Einführung von Technologien zur Reduktion von THG-Emissionen aus Raffinerien **bis zum Jahr 2050 CO₂-Einsparungen von fast 80 Prozent gegenüber dem Niveau von 1990** erzielen kann zu Kosten von mindestens 50 Mrd. Euro. Der Ausblick versteht sich allerdings nicht als Roadmap, da die CO₂-Effizienz bestehender Anlagen in Zusammenhang mit lokalen und strukturellen Beschränkungen bestimmen werden, wie und zu welchen Kosten einzelne Raffinerien diese höhere CO₂-Effizienz erreichen. Dennoch zeigen die Wege hin zu einer CO₂-armen Industrie den potenziellen Beitrag der Branche zur Umstellung auf eine CO₂-arme Wirtschaft.

Eine von Ricardo Energy & Environment für Concawe erarbeitete Studie, die sich mit leichten Nutzfahrzeugen in der EU befasst, bewertet u.a. die potenziellen Auswirkungen des großflächigen Einsatzes von CO₂-armen Flüssigkraftstoffen in hocheffizienten konventionellen Fahrzeugen in einer 50/50-Kombination mit Elektrofahrzeugen. Sie kommt zu dem Schluss, dass THG-Lebenszyklusemissionen bis 2050 potenziell auf **weniger als 13 Prozent des Niveaus von 2015** reduziert werden könnten. Bei einer Betrachtung über den gesamten Lebenszyklus [im Gegensatz zu einer "Tank-to-Wheel"-Betrachtung] könnten **90% geringere Emissionen im Vergleich zu 1990** erreicht werden. Verglichen mit einem Szenario, in dem **Elektrofahrzeuge dominieren** (100 Prozent der Zulassungen Elektrofahrzeuge ab 2040), sind beide Optionen laut Ricardo sowohl im Hinblick auf THG-Reduktionen als auch auf Kosten für den Endverbraucher und die Gesellschaft in **etwa gleichwertig**.

Um Investitionen in CO₂-arme Technologien zu fördern, sollte die Politik Investoren für den Einsatz von Risikokapital belohnen. Den gegenwärtigen Energie- und Klimavorschriften fehlt langfristige Berechenbarkeit und

Stabilität. Sie sind eher branchenbezogen als ganzheitlich, und zu häufig mangelt es an Technologieneutralität.

Mögliche Maßnahmenvorschläge im Sinne einer evolutionären Entwicklung der Regulierungen von Kraftstoffen und Fahrzeugen:

- **Kurzfristig** (bis ca. 2030) sollten regulatorische Änderungen und Korrekturen am bestehenden rechtlichen Rahmen vorgenommen werden; das betrifft insbesondere die Erneuerbare-Energien-Richtlinie RED und die Fahrzeugemissionsstandards auf der Basis von Tank-to-Wheel. Damit würden die Entwicklung und der **Einsatz von Technologien für CO₂-arme Kraftstoffe und effiziente Fahrzeuge gefördert**.
- **Mittelfristig** (nach 2030) sollte **für alle Wirtschaftsbereiche ein branchenübergreifender Ansatz mit einheitlichen CO₂-Kosten** geschaffen werden. Die **Einführung eines einheitlichen CO₂-Marktes für den Straßenverkehr** wäre ein erster Schritt in diese Richtung.
- **Auf lange Sicht** sollte es einen **gemeinsamen CO₂-Markt für die gesamte Volkswirtschaft** mit einem branchenübergreifenden Ansatz auf der Basis eines einheitlichen CO₂-Preises geben.

Während der Umstellung auf eine CO₂-arme Wirtschaft sollten aufgrund der hohen Kosten für innovative Technologien geeignete Maßnahmen ergriffen werden, um die **internationale Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen in der EU zu bewahren** und die Produktionsverlagerung ins Ausland zu vermeiden.

¹ Die wissenschaftliche und technische Organisation der europäischen erdölverarbeitenden Industrie.

Vision 2050

EINLEITUNG

Auf der Weltklimakonferenz COP21 in Paris im Dezember 2015 einigte man sich darauf, darauf hinzuarbeiten, den globalen Temperaturanstieg auf „deutlich unter 2° C“ oberhalb des vorindustriellen Niveaus, möglicherweise sogar auf 1,5°C zu begrenzen. Die Europäische Union gibt mit ihren *national festgelegten Beiträgen (Nationally Determined Contributions, NDCs)* den Takt vor.

Die EU hat sich mehrerer ehrgeiziger Zielen verschrieben. Sie hat sich ein verbindliches Ziel für die Verringerung der Treibhausgasemissionen bis 2030 um mindestens 40 Prozent gegenüber 1990 gesetzt. Gleichzeitig arbeitet die Europäische Kommission an einem noch längerfristigen Ansatz: Im Jahr 2011 wurde eine Roadmap für 2050 entworfen, die eine Verringerung der THG-Emissionen um 80-95 Prozent im Vergleich zu 1990 fordert. Diese wird zurzeit überprüft. Die Roadmap legt Bereiche für die THG-Reduktionsziele in Schlüsselsektoren fest, darunter 83-87 Prozent für die Industrie und 54-67 Prozent für den Verkehr. Die Erreichung dieser Zielsetzungen bei Aufrechterhaltung der Wettbewerbsfähigkeit der Wirtschaft und Lebensqualität der Bürger stellt eine riesige Herausforderung für die Europäische Union dar. Dies wird Veränderungen insbesondere im gesamten EU-Energiesystem und im Verbraucherverhalten erfordern. Innovative Lösungen, die sowohl technische Exzellenz für ihre Entwicklung als auch entsprechende Mittel zur Finanzierung benötigen, sind dafür unverzichtbar.

NDCs DER EU

Der Europäische Rat legte als gemeinsames verbindliches Ziel für die EU beziehungsweise ihre Mitgliedstaaten eine Verringerung der eigenen Treibhausgasemissionen bis 2030 im Vergleich zu 1990 von mindestens 40 Prozent fest (Nationally Determined Contributions, NDCs).

- **Das Ziel besteht aus absoluten Treibhausgasreduktionen in der gesamten EU-Volkswirtschaft gegenüber dem Emissionsniveau von 1990 für den Zeitraum von 2021 bis 2030.**
- **Die Berücksichtigung von LULUCF (Land Use, Land-Use Change and Forestry - Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft) im 2030er-Minderungsrahmen wird so bald wie möglich erfolgen.**
- **Kein Beitrag durch internationale Emissionsrechte.**

Um diese ehrgeizigen Ziele zu erreichen, muss die EU all ihre Ressourcen einsetzen und sämtliche Stakeholder und verschiedene Gesellschaftsgruppen in den Prozess einbinden. Das erfordert einen ganzheitlichen rechtlichen Rahmen, eine durchsetzungsstarke Politik und eine wirtschaftliche Strategie, die Unternehmen dazu veranlasst, in eine CO₂-arme Wirtschaft zu investieren, und Verbraucher dazu anregt, CO₂-arme Technik zu verwenden.

Die erdölverarbeitende Industrie und die Logistik für Mineralölprodukte in Europa bestehen seit weit mehr als 100 Jahren. Sie haben sich permanent weiterentwickelt, an Markt- und regulatorische Erfordernisse angepasst und dabei gleichzeitig zuverlässige und bezahlbare Energie sowie weitere für die Gesellschaft essenzielle Produkte und Dienstleistungen geliefert. Trotz des Einsatzes von energieintensiveren Verfahren für die Herstellung saubererer Kraftstoffe hat der europäische Raffineriesektor seine durchschnittliche Energieeffizienz allein von 1992 bis 2014 um etwa 13 Prozent verbessert (siehe Anhänge 1 und 2A).

Die Mineralölindustrie in der EU unterliegt bereits einem Wandel. Dabei setzt sie auf ihre technologische Exzellenz, ihren Unternehmergeist und Kundenansprache. Aus Erdöl hergestellte flüssige Kraftstoffe im Gemisch mit Biokraftstoffen werden in immer sparsameren Fahrzeugen eingesetzt, was zu niedrigeren CO₂-Emissionen pro Kilometer, pro Insasse und pro Ladungseinheit führt. Tankstellen in ganz Europa bieten ihren Kunden ein immer breiteres Angebot an Produkten und Dienstleistungen an. Weitere Beispiele sind die Umwandlung von Raffinerien in Bio-Raffinerien, die Entwicklung nachhaltiger Biokraftstoffe und die Produktion von Wasserstoff mit Hilfe von Ökostrom. Das ist nur ein kleiner Ausschnitt der umfangreichen Investitionen und Aktivitäten der Branche in der Forschung und Entwicklung.

Zusätzlich zu einer Reduktion der CO₂-Emissionen nimmt die EU-Energiestrategie die Luftqualität und die Umstellung auf eine Kreislaufwirtschaft in Angriff: Dazu muss der Wert von Produkten, Materialien und Ressourcen in der Wirtschaft möglichst lange erhalten und die Abfallentstehung minimiert werden. Mit Innovationen und Initiativen, die auf die Verbesserung der Luftqualität, Abfallminimierung und Wiederverwendung ausgerichtet sind, engagiert sich die Mineralölindustrie der EU stark in diesen wichtigen Bereichen.

Die Branche wird auch zukünftig ihre Produktionsanlagen und Geschäftsmodelle kontinuierlich weiterentwickeln und ihre Rolle in der Energiewende spielen. In den kommenden Jahrzehnten werden dazu ganz erhebliche Investitionen in CO₂-arme Energielösungen benötigt. Diese Anstrengungen müssen von politischen Rahmenbedingungen begleitet werden, die auf den Prinzipien von Technologieneutralität, Kosteneffizienz und freiem Wettbewerb beruhen. Da die Kosten für die Umsetzung CO₂-armer Lösungen wahrscheinlich hoch sind werden geeignete Maßnahmen benötigt, um die internationale Wettbewerbsfähigkeit der Industrie in der EU zu sichern. Wird hier nichts unternommen, besteht das Risiko, dass Produktionsaktivitäten in Länder mit niedrigeren Klimazielen verlagert werden, was zu höheren Produktimporten bei niedrigerer Versorgungssicherheit führen würde.

Dieses Dokument präsentiert eine Vision für die Entwicklung der europäischen Mineralölwirtschaft. Es analysiert die zukünftige Rolle flüssiger Kraftstoffe und anderer Produkte in Verbindung mit den langfristigen EU-Klimaschutzziele bis 2050 und darüber hinaus. Es befasst sich auch damit, wie Raffinerien ihre Effizienz steigern und in ein Industrie-Cluster integriert werden können.

1.

DIE ENTWICKLUNG DER NACHFRAGE NACH FLÜSSIGEN KOHLENWASSERSTOFFEN UND DIE ZUKÜNFTIGE ROLLE VON CO₂-ARMEN FLÜSSIGKRAFTSTOFFEN UND ANDEREN PRODUKTEN

1.1. Nachfragetrends

Das Raffinieren von Rohöl ergibt eine riesige Palette von Produkten, die die Bedürfnisse von Bürgern und Wirtschaft erfüllen. Etwa 65 Prozent des in EU-Raffinerien verarbeiteten Rohöls werden als (überwiegend flüssige) Kraftstoffe verwendet. Ungefähr 10 Prozent finden ihre Anwendung als Rohstoffe in der Petrochemie und weitere 25 Prozent werden für andere Produkte wie z.B. Heizöl verwendet.

Faktor wird auch die Geschwindigkeit sein, mit der neue Technologien, Geschäftsmodelle und Ersatzprodukte im Verkehrssektor und anderen Branchen entstehen – zum Beispiel Car-Sharing-Modelle, integrierte Transportsysteme, autonomes Fahren und zunehmende Urbanisierung.

Die weitere Entwicklung der Weltölnachfrage hängt von verschiedenen Faktoren ab. Dazu gehören der Ölpreis und der wirtschaftliche und gesellschaftliche Wandel in wichtigen Nachfrageregionen wie China und Indien. Ein

Die Nachfrage nach Mineralölprodukten wird auch durch politische Maßnahmen beeinflusst, die über die Reduzierung von Treibhausgasemissionen auf den Klimawandel und über die Reduzierung des Ausstoßes von Luftschadstoffen auf die Umwelt abzielen. Die Implementierung dieser Maßnahmen wird vor allem, aber nicht ausschließlich im Verkehrssektor von

ABBILDUNG 1: MINERALÖLZERZEUGNISSE



Quellen: EUROSTAT, EUROSTAT, http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/File:Consumption_of_oil_EU-28,_2015,_percentage.png und Wood Mackenzie langfristiger Ausblick Produktmärkte H2 2017 Nachfrage in der EU 28, NOR, CH, ISL für 2015.

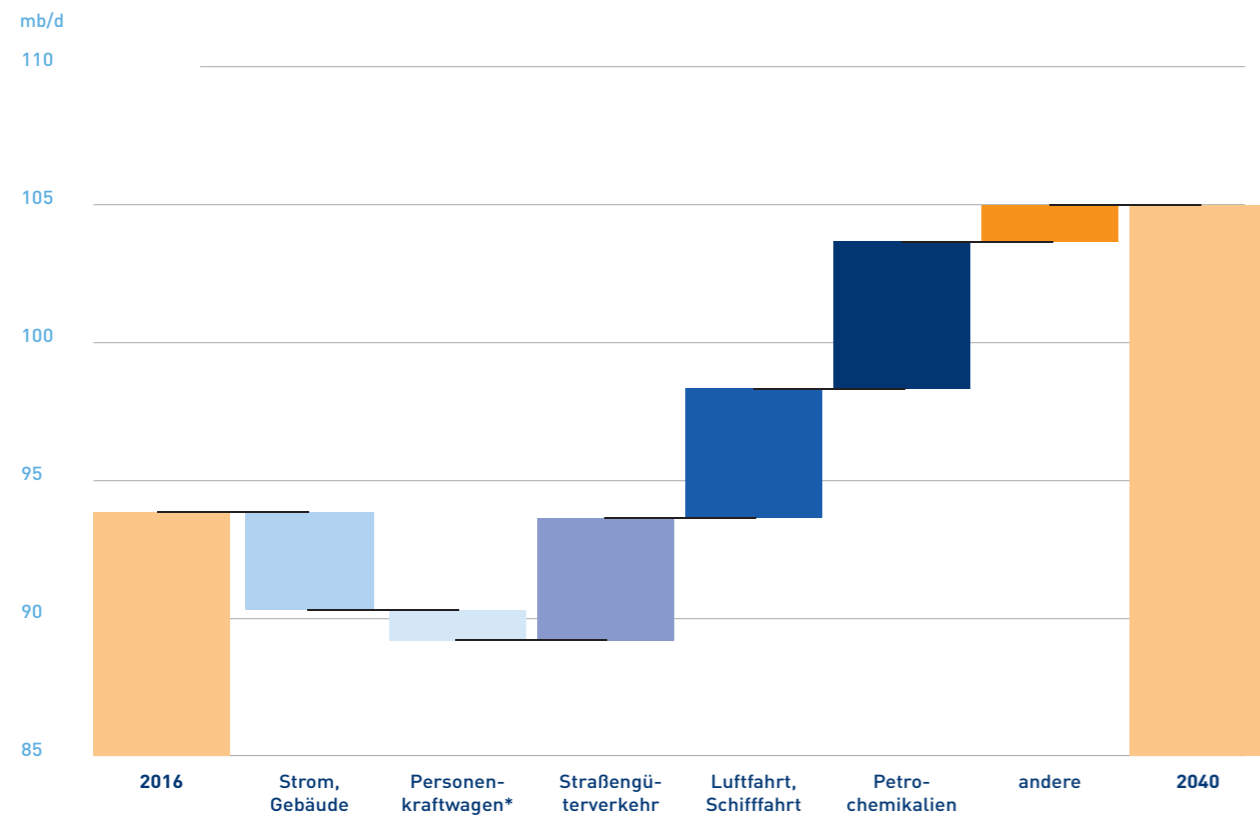
zunehmender Wichtigkeit sein. So werden zum Beispiel Kraftstoffverbrauchsstandards für Pkw und Lkw, die in China, der EU und den USA eingeführt werden, kurzfristig eine wichtige Rolle spielen, indem sie das Nachfragewachstum bei mehrheitlich flüssigen Kraftstoffen verringern oder eindämmen.

Laut der Internationalen Energieagentur (IEA) werden einige bestimmte Branchen weiterhin überwiegend vom Öl abhängig sein. Im **World Energy Outlook (WEO) 2017** unterstellt das New Policy Szenario², dass der globale

Ölverbrauch bis 2040 weiter wachsen wird. Das liegt daran, dass der rückläufige Ölverbrauch von Pkw,

² Das New Policy Szenario der IEA WEO 2017 berücksichtigt von Ländern angekündigte weitreichende politische Verpflichtungen und Vorhaben, selbst wenn die Maßnahmen zur Umsetzung dieser Verpflichtungen erst noch festgelegt oder veröffentlicht werden müssen. Es wird allgemein als zentrales Szenario betrachtet, das zwischen den Szenarien „moderate Veränderungen“ und „radikale Veränderungen“ des Energiesystems zur Erreichung der Pariser Klimaziele angesiedelt ist.

ABBILDUNG 2: VERÄNDERUNGEN BEI DER WELTÖLNACHFRAGE NACH BRANCHEN IM NEW POLICY SCENARIO



Während die Aussichten für die Ölnachfrage bei der Stromerzeugung, Gebäuden und PKW darauf hindeuten scheinen, dass der Höchststand erreicht wurde, wird dies durch wachsende Nachfrage in anderen Branchen mehr als ausgeglichen.

* einschließlich PKW, Zwei-/Dreiräder und Busse.

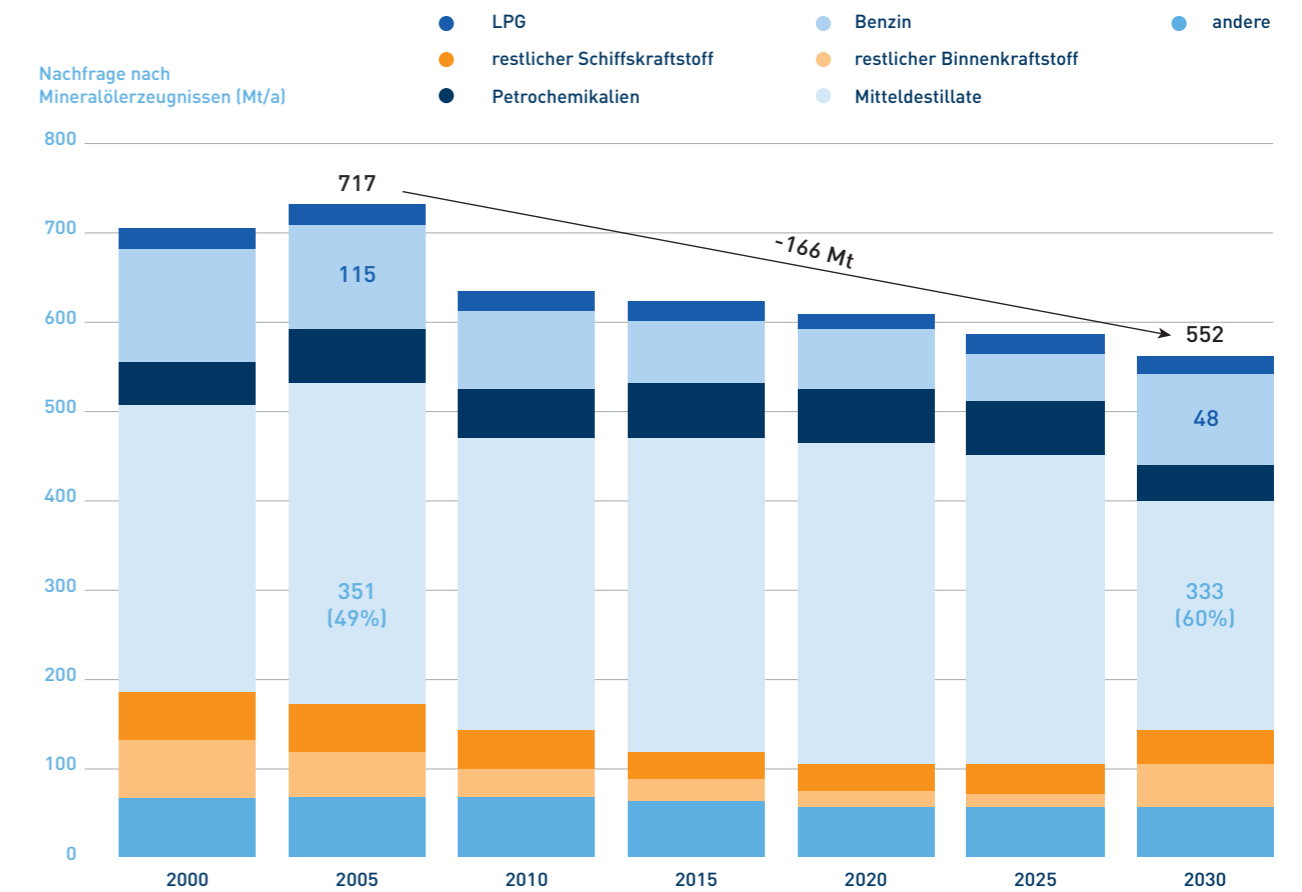
Quelle: IEA, WEO 2017.

Gebäuden und bei der Stromerzeugung durch die wachsende Nachfrage in der Petrochemie, Luftfahrt, bei Schiffen und Lkw mehr als ausgeglichen wird.

Schmierstoffe, Wachse und Bitumen eine geringere Abnahme erwartet wird. 2015 prognostizierten Concawe und Wood MacKenzie, dass die Nachfrage nach Raffinerieerzeugnissen (Mineralölprodukte plus Biokraftstoffe) bis zum Jahr 2030 weltweit zurückgehen würde. Dieser Rückgang ist auf Effizienzsteigerungen in verschiedenen Verkehrssektoren, den Markthochlauf von Elektro-Autos und eine niedrigere Nachfrage nach Schweröl zum Heizen zurückzuführen. Eine kürzlich veröffentlichte Aktualisierung dieser Prognose erwartet jetzt, dass der Nachfragerückgang noch größer ausfallen wird:

Für Europa nimmt der World Economic Outlook (WEO) 2017 der Internationalen Energie-Agentur IEA an, dass die Ölnachfrage in der EU von 13 Millionen Barrel pro Tag (mb/d) im Jahr 2016 auf 5,7 bis 8,7 mb/d bis zum Jahr 2040 zurückgehen wird. Der größte Rückgang wird im Verkehrssektor erfolgen, während bei Kohlenwasserstoff-Rohstoffen für Petrochemikalien, Lösungsmittel,

ABBILDUNG 3: GESAMTNACHFRAGE NACH RAFFINERIEERZEUGNISSEN IN DER EU DER 27+2 (MT/A)



Quelle: Wood Mackenzie and Concawe.

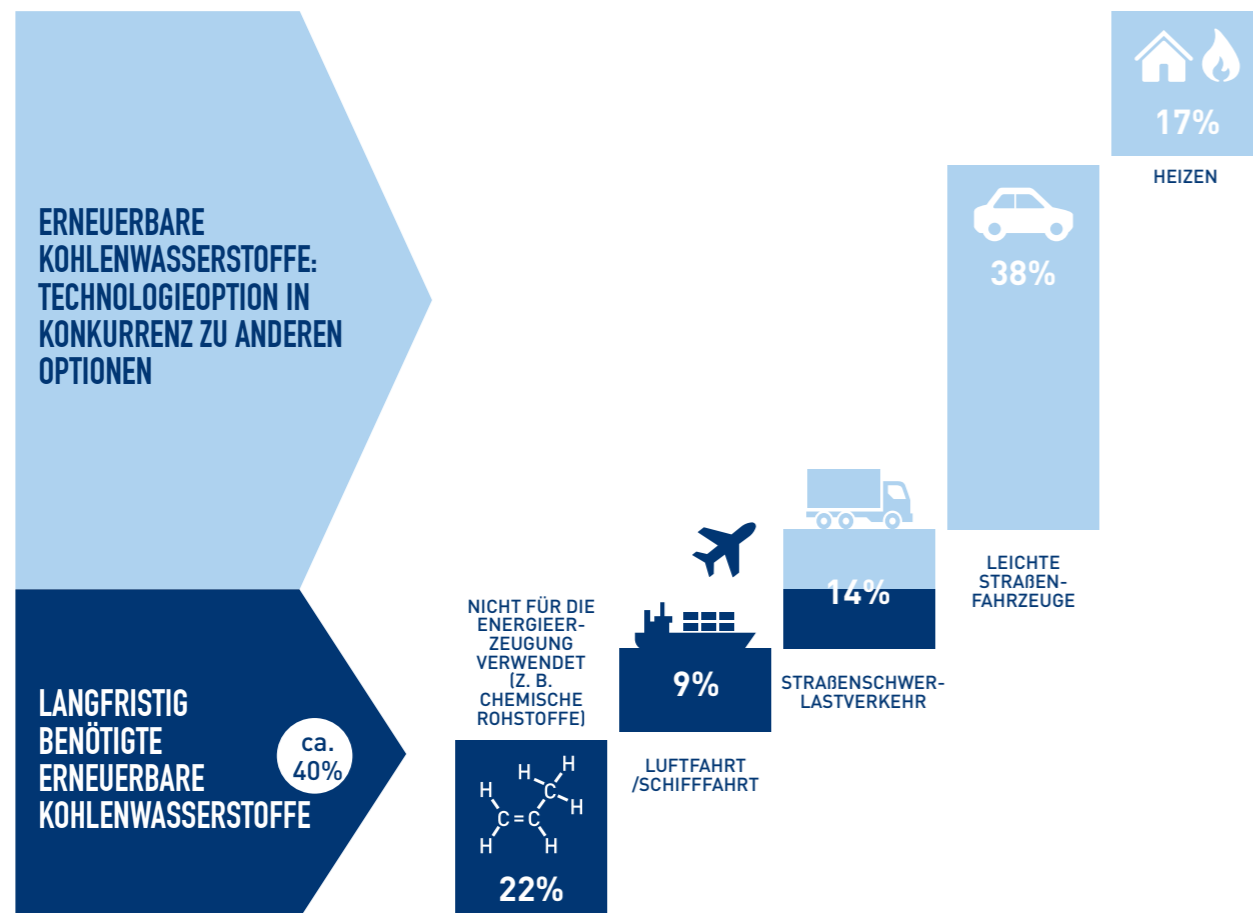
Concawe erarbeitet zur Zeit verschiedene Nachfrage-Szenarien bis zum Jahr 2050. Diese werden unterschiedliche Einschätzungen der Nachfrageveränderung bei Kohlenwasserstoffprodukten aufgrund folgender Faktoren berücksichtigen:

- Eine Umstellung von vorwiegend ölbasierten Produkten auf CO₂-arme flüssige Kohlenwasserstoffe, einschließlich nachhaltiger Biokraftstoffe und E-Fuels sowie auf gasförmige Kohlenwasserstoffe wie

Flüssigerdgas (Liquified Natural Gas, LNG) und komprimiertes Erdgas (Compressed Natural Gas, CNG).

- Die verschiedenen Bilanzen der Substitute für Mineralölkohlenwasserstoffe in den unterschiedlichen Verkehrssektoren Luftfahrt, Schifffahrt, Schienenverkehr, Straßenverkehr (schwere und leichte Nutzfahrzeuge sowie Personenkraftwagen).

ABBILDUNG 4: VERWENDUNG VON MINERALÖLPRODUKTEN/KOHLLENWASSERSTOFFEN IN DEUTSCHLAND 2016



Quelle: Prognos AG, Berlin.

- Aktualisierte Prognosen zur Umstellung auf verbrauchsärmere Fahrzeuge einschließlich Hybridfahrzeugen mit kleineren, sparsameren Verbrennungsmotoren sowie auf vollelektrische Fahrzeuge (Batterie oder Wasserstoff).

Aus den oben angestellten Überlegungen lässt sich die Annahme ableiten, dass sich die Nachfrage nach Raffinerieerzeugnissen entsprechend der folgenden Abbildung entwickeln wird, die das Szenario für Deutschland zeigt:

Allen Wahrscheinlichkeit nach werden CO₂-arme Flüssigkeiten von entscheidender Bedeutung für die Herausforderung sein, die Emissionen der europäischen Energie- und Verkehrssysteme zu senken. Die Chance für den EU-Raffineriesektor wird in der Anpassung bestehen, so dass die Raffinerien der Zukunft zu Zentren für die Produktion und den Vertrieb nachhaltiger Kohlenwasserstoffe werden können. Diese werden in einer emissionsarmen Wirtschaft als Flüssigkraftstoffe, chemische Rohstoffe und für andere Zwecke verwendet. Die Umstellung dient dem Wohle der Gesellschaft in Europa und dem Rest der Welt.

ABBILDUNG 5: EU-RAFFINERIESYSTEM: ENTWICKLUNG HIN ZU EINER EMISSIONSARMEN WIRTSCHAFT



1.2. Flüssigkraftstoffe für den Verkehrssektor

A. KEIN ALLHEILMITTEL

Obwohl Strom aus erneuerbaren Energien – Wasserkraft, Sonnen- und Windenergie – eine bedeutende Rolle im europäischen Energiesystem spielt, wird es in absehbarer Zeit wahrscheinlich nicht zu einer vollständigen Elektrifizierung aller Verkehrsträger kommen.

Aus Erdöl gewonnene Flüssigkraftstoffe bieten eine beispiellose Kombination von Vorteilen:

- hohe Energiedichte
- einfache und sichere Handhabung
- großflächige, robuste und bereits bestehende Infrastruktur für die Produktion, den Vertrieb und die Lagerung
- kostengünstig im Vergleich zu den Alternativen.

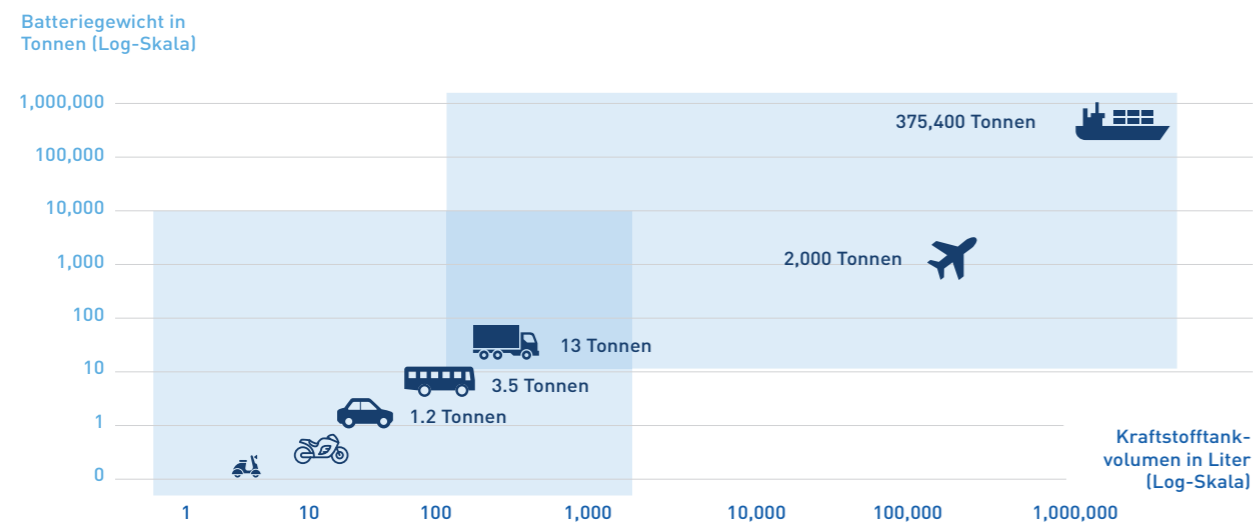
Daher sind aus Erdöl gewonnene Flüssigkraftstoffe weiterhin attraktiv für den Einsatz in allen Verkehrssektoren.

Die Entwicklung von alternativen Verkehrssystemen zur Reduzierung von sowohl THG-Emissionen als auch Luftschadstoffen wie Feinstaub, Sulfaten (SO_x) und Nitraten (NO_x) ist jedoch im Gange und sieht insbesondere bei **Personenkraftwagen** vielversprechend aus.

Im **See-, Luft- und Schwerlastverkehr** bietet die Energiedichte von Flüssigkraftstoffen einen entscheidenden Vorteil, der auch mit zukünftiger Batterietechnologie schwer zu überbieten sein wird. Bei diesen Verkehrsträgern besteht die Hauptanforderung darin, die maximale Energiemenge mit dem kleinstmöglichen Volumen und Gewicht an Bord zu verstauen.

Die Abbildung unten zeigt das benötigte Batteriegewicht, wenn elektrische Antriebe in diversen Verkehrsträgern zum Einsatz kämen.

ABBILDUNG 6: EINGESCHRÄNKTE ELEKTRIFIZIERUNG JENSEITS VON BUSSEN UND LEICHTEN NUTZFAHRZEUGEN



Es wird deutlich, dass die Batterietechnologie eine mindestens zehnfache Gewichtsreduzierung erzielen muss, um außer in Pkw und leichten Nutzfahrzeugen zu einem realistischen Ersatz für Flüssigkraftstoffe zu werden. Ein Durchbruch dieser Größenordnung ist in der Batterietechnologie nicht absehbar, und größere Auswirkungen auf die Verkehrsträgerflotte sind bis 2050 daher nicht zu erwarten.

Daher ist es unwahrscheinlich, dass eine einzige Option emissionsarme Mobilität in allen Verkehrssegmenten liefern kann – es gibt kein Allheilmittel. Stattdessen werden viele Technologien benötigt, und es wird von größter Bedeutung sein, eine effiziente industrielle

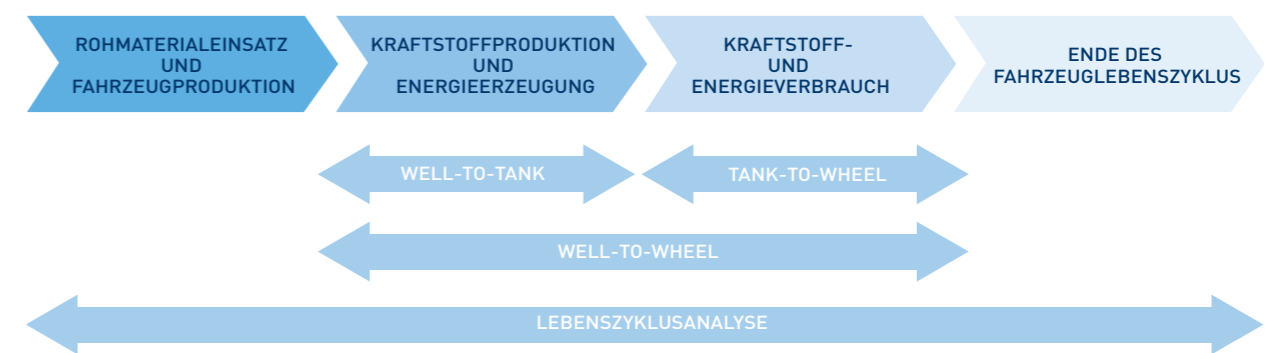
EIN GANZHEITLICHER ANSATZ FÜR DIE THG-REDUKTION IM VERKEHRSEKTOR

Für geeignete politische Maßnahmen muss für einen sachgemäßen Vergleich verschiedener Optionen zur Reduktion von THG-Emissionen im Verkehrssektor ein ganzheitlicher Ansatz gewählt werden. Er sollte Emissionen berücksichtigen, die von Fahrzeugen, Kraftstoffen, Infrastruktur und Verbrauchern verursacht werden oder mit diesen zusammenhängen.

Die CO₂-Emissionen müssen in jeder Stufe ausgewiesen werden. Alles beginnt mit der Gewinnung von Primärenergie z. B. aus Rohöl, Kohle, Gas, Bio-Rohstoffen und erneuerbaren Energiequellen. Diese

Energie muss zunächst transportiert werden. Anschließend wird sie durch Prozesse wie die Raffination, Stromerzeugung oder Herstellung von Biokraftstoffen in Brennstoffe oder Energie umgewandelt. Die fertiggestellten Kraftstoffe und Energie werden dann verfeinert und verteilt. Im letzten Schritt kommen sie in Fahrzeugen zum Einsatz. Aus diesen Stufen besteht der Well-to-Wheel-Ansatz (WTW), der in die Phasen Well-to-Tank (WTT) und Tank-to-Wheel (TTW) aufgeteilt werden kann. Wenn die CO₂-Emissionen aus der Herstellung und späteren Entsorgung der Fahrzeuge eingeschlossen werden, nennt man diesen Ansatz Lebenszyklusanalyse (Life Cycle Analysis, LCA). All dies lässt sich im folgenden Schaubild zusammenfassen

DIE LEBENSZYKLUSANALYSE



Da die Auswirkungen von THG-Emissionen auf den Klimawandel nicht von einem bestimmten Emissionspunkt abhängen, kann ein lückenhafter Ansatz zu falschen und sogar kontraproduktiven Schlussfolgerungen führen. Wenn zum Beispiel die Analyse der CO₂-Emissionen verschiedener Fahrzeugtechnologien auf die TTW-Phase beschränkt wird, wird ein batterieelektrisches Fahrzeug (Battery Electric Vehicle, BEV) als „Null-Emissions-Fahrzeug“ betrachtet. Wenn es jedoch Strom aus Kohle verwendet, zeigt eine WTW-Analyse, dass das BEV tatsächlich erhebliche CO₂-Emissionen verursacht.

Zusammenarbeit in Europa auf der Grundlage von passenden F&E-Rahmenbedingungen zu erreichen. Dies ist der effektivste Weg, um nachhaltige, emissionsarme Kraftstoffe für den Einsatz in sparsamen Motoren der nächsten Generation zu liefern, darunter Kraftstoffe auf Mineralölbasis mit geringer Treibhausgasintensität, Biokraftstoffe, synthetische Kraftstoffe und weitere Power-to-Liquids. Um die wachsende Nachfrage nach dem Transport von Personen und Gütern zu befriedigen, bedarf es technologischer Fortschritte, die Verwendung in einer Reihe alternativer Kraftstoff- und Fahrzeugoptionen finden. Das Ergebnis wird eine Senkung der Emissionen sein.

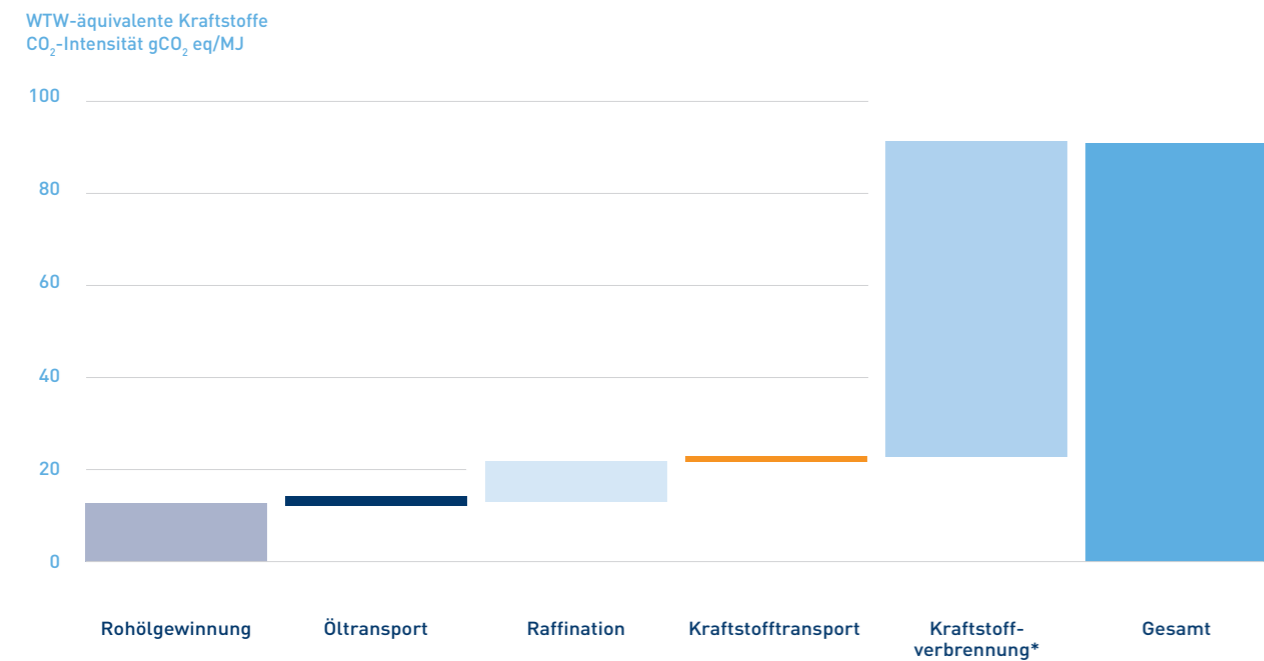
Während die Mineralölindustrie bereits an neuen Quellen für flüssige Kohlenwasserstoffe arbeitet, wird die

Entwicklungs- und Umsetzungsphase in vielen Fällen einige Zeit erfordern. In der Zwischenzeit ist es wichtig, darüber nachzudenken, wie Emissionen aus der Produktion von Kohlenwasserstoffkraftstoffen auf Mineralölbasis und chemischen Rohstoffen reduziert werden können.

Der Wechsel zur CO₂-armen Mobilität bei allen Verkehrsträgern kann durch Optimierung des Energieverbrauchs und Minimierung der CO₂-Emissionen auf jeder Stufe der WTW-Wirkungskette erreicht werden:

1. Gewinnung der Primärenergiequelle: Im Fall von Erdöl senken Initiativen wie die Partnerschaft zur weltweiten Verminderung des Abfackelns von Gas unter Leitung der Weltbankgruppe die CO₂-Emissionen aus der Rohölgewinnung.

ABBILDUNG 7: CO₂-EMISSIONEN AUS DER HERSTELLUNG UND VERWENDUNG VON KRAFTSTOFFEN (AM BEISPIEL VON PERSONENKRAFTWAGEN)



*"Verbrennung" bezieht sich nur auf Emissionen, die mit der theoretischen Verbrennung von Kraftstoff in Zusammenhang stehen.

Quelle: Concawe auf der Basis von JEC v4 und eigenen Daten (Durchschnittswerte)

2. Optimierung der Raffination und des Vertriebs von Kraftstoffen zur Steigerung der CO₂-Effizienz
3. Endgültiger Verbrennungspunkt: Die Auslegung von Motoren und Fahrzeugen spielt eine große Rolle. Gleiches gilt für emissionsarme Kraftstoffe.

Alle in der WTT-Phase erzielten Verbesserungen, d. h. in den Stufen i) und ii) der WTW-Wirkungskette, werden auch die Folgen der während der Raffination von Erdöl erzeugten Produkte verringern. Der Nutzen schlägt sich somit bei allen Verkehrsträgern nieder. Hinzu kommt, dass diese Verbesserungen die Leistungsfähigkeit der bestehenden und zukünftigen Verkehrsträgerflotte steigern. Außerdem leisten verbesserte Raffinerieerzeugnisse, wenn sie anderweitig als nur im Verkehr eingesetzt werden – wie zum Beispiel in der chemischen Industrie, im Haushalt und für alle anderen Anwendungen, bei denen ein Ölprodukt verbrannt wird – auch einen Beitrag zur Verringerung der gesamten CO₂-Emissionen.

Im Gegensatz dazu werden zur Reduktion von Emissionen während der TTW-Phase spezielle Lösungen für jeden Verkehrssektor – oder für Segmente innerhalb eines Sektors, wie der Küstenschifffahrt im Unterschied zur Seeschifffahrt – benötigt. Bei Personenkraftwagen sind hybride Antriebe und vollelektrische batteriebetriebene Fahrzeuge eine Option. Es gibt jedoch zur Zeit keine neuen Technologien, die im Schwerlastverkehr, in der Schifffahrt oder Luftfahrt eine vollständige Substitution von Kohlenwasserstoffen bis 2050 zulassen.

Der Well-to-Wheel-Ansatz (WTW) für fossile Brennstoffe schlüsselt die in Zusammenhang mit der Mobilität stehenden CO₂-Emissionen in mehrere Stufen auf. Beispielsweise betragen die in Zusammenhang mit Diesel und Benzin stehenden CO₂-Emissionen im Segment Personenkraftwagen:

1. ≈ 12 % der CO₂-Emissionen entstehen während der Produktion und des Transports von Rohöl (Upstream-Emissionen).
2. ≈ 7 % der CO₂-Emissionen entstehen in den Raffinerien während der Verarbeitung von Rohöl zu Mineralölprodukten und beim Transport der Kraftstoffe zu den Tankstellen.
3. ≈ 80 % der CO₂-Emissionen entstehen bei der Verbrennung der Kraftstoffe im Motor. (Dies ist ein theoretischer Wert, der die energiesparenden Eigenschaften bestimmter Motoren und Fahrzeuge unberücksichtigt lässt.)

Da die meisten CO₂-Emissionen bei der Kraftstoffverbrennung entstehen, ist es von entscheidender Bedeutung, das Einsparpotential für CO₂-Emissionen auf dieser Stufe sowie die emissionsverringenden Eigenschaften von Antrieb und Kraftstoff zu kennen. In dieser Hinsicht stehen die verschiedenen Verkehrssektoren vor unterschiedlichen Herausforderungen, die unterschiedliche Lösungen erfordern.

B. MÖGLICHKEITEN VERSCHIEDENER SEKTOREN, IHRE CO₂-EMISSIONEN ZU SENKEN

Bei genauerer Untersuchung verschiedener Verkehrssektoren lässt sich auf jeder WTW-Stufe eine große Bandbreite von Möglichkeiten finden, die einen Beitrag zur zukünftigen CO₂-armen Mobilität leisten können:

SEEVERKEHR

- Die Schifffahrtsbranche prognostiziert ein globales Wachstum des Seeverkehrs, was zu einem Anstieg der Nachfrage nach Schiffskraftstoffen hauptsächlich auf Kohlenwasserstoffbasis bis 2050 führt.
- Die Internationale Seeschifffahrtsorganisation IMO³ erwägt die Festlegung eines Gesamtzielwertes für die Reduzierung der gesamten jährlichen THG-Emissionen um mindestens 50 Prozent bis 2050 im Vergleich zu 2008. Sie schlägt außerdem vor, Schiffe zu konstruieren, die bis 2030 im Vergleich zu 2008 mindestens 40 Prozent energieeffizienter sind mit dem Ziel, bis 2050 im Vergleich zu 2008 eine THG-Reduzierung von 70 Prozent zu erreichen.
- Innerhalb Europas:
 1. Laut dem Weißbuch zum Verkehr der Europäischen Kommission aus dem Jahr 2011 sollen die CO₂-Emissionen aus dem Seeverkehr in EU-Gewässern bis 2050 verglichen mit 2005 um mindestens 40 Prozent gesenkt werden und, wenn machbar, sogar um 50 Prozent.
 2. Zusätzlich zu der obenstehenden IMO-Initiative verlangt die EU seit Januar 2018 die Überwachung, Meldung und Kontrolle von CO₂-Emissionen großer Schiffe, die EU-Häfen anlaufen.
- Zur Senkung globaler Emissionen:
 1. Die Reduktion von CO₂-Emissionen kann durch die Konstruktion neuer Schiffe mit besserer Hydrodynamik sowie effizienterer Motor- und Antriebstechnik erreicht werden.

2. Die Optimierung der Logistikkette im Seeverkehr mit Hilfe von smartem Fahrtenmanagement kann ebenfalls einen signifikanten Beitrag leisten, zum Beispiel durch die Minimierung der Überlastung von Häfen.
 3. Neue Schiffsdiesel-Mischungen können konventionelle Schweröle auf Mineralölbasis ersetzen, und statt Diesel können nachhaltige Biokraftstoffen sowie E-Fuels (wie zum Beispiel synthetisches Methanol) zum Einsatz kommen, sobald diese zur Verfügung stehen.
 4. LNG hat ein großes Potenzial als Schiffskraftstoff, erfordert jedoch den Aufbau der entsprechenden Infrastruktur in der EU und anderswo.
 5. Andere Konzepte, wie die CO₂-Abscheidung an Bord, könnten bei großen Schiffen, die mit Diesel, LNG oder alternativen synthetischen Flüssigkraftstoffen angetrieben werden, technisch machbar werden.
 6. Im Gegensatz dazu werden andere alternative Kraftstoffe, wie Wasserstoff und Kernbrennstoff, beim Ersatz flüssiger Schiffskraftstoffe auf Kohlenwasserstoffbasis vor 2050 wahrscheinlich keine wichtige Rolle spielen.
 7. In gleicher Weise können alternative Energiequellen, wie bordeigene Windkraftanlagen und Hybridantriebe aus Elektro- und Verbrennungsmotoren, zwar ergänzend eingesetzt werden, wahrscheinlich werden sie aber Verbrennungsmotoren in diesem Zeitraum nicht vollständig ersetzen können.
- Gleichzeitig müssen die Raffineure in der EU die CO₂-Emissionen um bis zu 8 Millionen Tonnen pro Jahr steigern (ein Anstieg von 4 Prozent), um Kraftstoffe zu liefern, die den globalen IMO-Grenzwert für Schwefel von 0,5 Prozent einhalten⁴.

³ <https://www.iea.org/media/news/2017/ISWGGHG2214.pdf>

⁴ Ergebnis LP-Modellierung, Durchschnittsszenario, Concawe "2020 Marine Fuels Supply study".

⁵ <http://www.iata.org/policy/environment/Pages/climate-change.aspx>

LUFTVERKEHR

- Für den Luftfahrtsektor wird ebenfalls ein erhebliches weltweites Wachstum des Luftverkehrs prognostiziert, was zu einem Nachfrageanstieg für Flugtreibstoffe bis 2050 führt.
- Um die CO₂-Emissionen zu reduzieren hat sich der Internationale Luftverkehrsverband IATA⁵ zu den folgenden Punkten verpflichtet:
 1. jährliche Steigerung der durchschnittlichen Treibstoffeffizienz um 1,5 Prozent von 2009 bis 2020
 2. Deckelung der CO₂-Nettoemissionen aus der Luftfahrt ab 2020 („CO₂-neutrales Wachstum“)
 3. Reduktion der CO₂-Nettoemissionen aus der Luftfahrt um 50 Prozent bis 2050 im Vergleich zum Basisjahr 2005
- Innerhalb Europas zielt das Projekt „European Flightpath 2050“ auf eine 75-prozentige Reduktion der CO₂-Emissionen pro Passagierkilometer bis zur Jahrhundertmitte ab. Um dieses Ziel zu erreichen, werden erhebliche Mengen CO₂-armer Flüssigtreibstoffe benötigt, darunter möglicherweise auch CO₂-armes Kerosin und Bio- oder Power-to-Liquid-Treibstoffe.
- Die IATA ist der Ansicht, dass die folgenden Innovationen zur Senkung der CO₂-Emissionen aus der Luftfahrt beitragen werden:
 1. verbesserte Technik, einschließlich nachhaltiger CO₂-armer Treibstoffe
 2. effizienterer Luftfahrtbetrieb, zum Beispiel bei der Abfertigung am Boden
 3. Verbesserung der Infrastruktur, einschließlich modernisierter Luftverkehrsmanagementsysteme
 4. ein weltweit einheitliches marktbasierendes Ausgleichssystem zur Beseitigung der verbleibenden Emissionslücke
- Zur Zeit gibt es keine Technologien in der Entwicklung, die eine vollständige Substitution von Kohlenwasserstoffen in der Luftfahrt bis 2050 zulassen.



SCHWERLASTVERKEHR

- Das THG-Ziel der EU für 2050 wird eine jährliche Reduktion der CO₂-Emissionen aus dem Schwerlastverkehr um mindestens 3 Prozent erfordern⁵. Dies entspricht einem Rückgang der Energienachfrage bei schweren Nutzfahrzeugen um ca. 55 Prozent im Zeitraum von 2012 bis 2050.

- Um solche ehrgeizigen Ziele zu erreichen, haben sowohl der Beratende Ausschuss für die Europäische Forschung im Bereich Straßenverkehr (European Road Transport Advisory Council, ERTRAC)⁶ und eine Gruppe von Branchenverbänden unter der Leitung des Verbands der europäischen Automobilhersteller (European Automobile Manufacturers' Association, ACEA)⁷ verschiedene Maßnahmen analysiert, die zur Zielerreichung beitragen könnten. Die unter der Federführung von ACEA erstellte Studie betont, wie wichtig es ist, einen **integrierten Ansatz** zu verfolgen, einschließlich unterschiedlichster Möglichkeiten und Beteiligten. Das kann Fahrzeuge, Anhänger und Reifen, sparsamere Motoren, klassische Kraftstoffe und alternative Kraftstoffe sowie den Betrieb, einschließlich Infrastruktur und Logistik, umfassen. Die Maßnahmen verfügen über das Potenzial, die CO₂-Emissionen aus dem Straßenverkehr bis 2020 verglichen mit 2014 um 20 Prozent zu senken. Dies zeigt, welch großes Potenzial gemeinsame Bemühungen um die CO₂-Reduzierung bieten. Zu den ersten von der Studie ermittelten Maßnahmen gehören:

- CO₂-Emissionen könnten potenziell um 6 Prozent durch fahrzeugbezogene Einsparungen gesenkt werden, darunter die Optimierung von Motoren, Anhängern und Reifen.
- Es besteht ein Reduktionspotenzial von 2,5 Prozent der CO₂-Emissionen durch den Einsatz alternativer Kraftstoffe einschließlich Biokraftstoffen, synthetischer Kraftstoffe und Erdgas.
- Ein Rückgang von 13 Prozent könnte durch Änderungen im Betrieb erzielt werden, darunter eine bessere Infrastruktur und Flottenerneuerung.

- Auf lange Sicht könnten alternative Kraftstoffe, wie synthetische Kraftstoffe und Wasserstoff, über das Potenzial verfügen, wesentlich größere CO₂-Einsparungen zu erreichen, vorausgesetzt es werden dazu passende Technologien entwickelt (siehe Anhang 2F).

FLÜSSIGKRAFTSTOFFE IM PKW-SEGMENT: LANGFRISTIGER AUSBLICK

Der Verbrennungsmotor wird auch 2050 noch eine wichtige Rolle spielen, selbst wenn Elektrofahrzeuge einen großen Anteil am Verkauf von Neuwagen haben. Diese Schlussfolgerung kann aus der Kombination des EU-Referenzszenarios 2016 mit verschiedenen Technologien (wie z. B. Antrieben), die Interessenvertretungen wie der ERTRAC ins Auge fassen, gezogen werden. Die Schlussfolgerung ist in der neuen Baseline dargestellt, die Emisia für das Flottenmodellierungswerkzeug definiert hat. (Siehe Anhang 2D.)

PERSONENKRAFTWAGEN UND LEICHTE NUTZFAHRZEUGE:

- Nach Auffassung vieler Marktbeobachter wird der Personenkraftwagen-Bestand sowohl weltweit als auch in Europa voraussichtlich weiter wachsen. Um die damit verbundenen CO₂-Emissionen auf lange Sicht zu senken, könnten verschiedene Initiativen ergriffen werden:

- Da die Kraftstoffverbrennung für 80 Prozent der gesamten WTW-CO₂-Emissionen verantwortlich ist, bieten **fahrzeugbezogene Maßnahmen** das größte Potenzial zur Reduzierung der durch diese Fahrzeuge verursachten CO₂-Emissionen.
- Neue F&E-Programme können die Auslegung des Verbrennungsmotors verbessern. Andere

fahrzeugbezogene Maßnahmen zur Senkung des Kraftstoffverbrauchs sind u.a. Gewichtsreduktion, Wärmeregulierung für Antriebe und Fahrzeugsysteme sowie Abwärmerückgewinnung. Diese Verbesserungen könnten sich auch in schweren Nutzfahrzeugen positiv auswirken.

- Da der Strom-Mix immer CO₂-ärmer wird, werden Elektrofahrzeuge unterschiedlicher Art eine wichtige Rolle spielen. Die Autofahrer haben jetzt die Wahl unter verschiedenen Kombinationen aus Elektromotoren mit optimierten Verbrennungsmotoren (Hybridfahrzeuge), Plug-in-Hybriden (Plug-in Hybrid Electric Vehicle, PHEV) und rein batteriebetriebenen Elektrofahrzeugen (Battery Electric Vehicle, BEV).

- Wasserstoff, der mit Öko- oder CO₂-armem Strom erzeugt und in Brennstoffzellenfahrzeugen (Fuel-Cell Hybrid Vehicles, FCHV) eingesetzt wird, bietet eine realistische Alternative zu der teilweisen Elektrifizierung des Pkw-Segments.

- Doch selbst in den optimistischsten Szenarien für die Marktdurchdringung von alternativen Antriebstechnologien werden weiterhin Flüssigkraftstoffe für viele Pkw und leichte Nutzfahrzeuge benötigt. Die Integration verschiedener Technologien bietet die Möglichkeit, CO₂-arme Flüssigkraftstoffe langfristig auf folgende Weise herzustellen:

- Optimierung von Prozessen und Verbesserung der CO₂-Effizienz in Vorproduktion und Raffinerien
- Einsatz des gesamten Potenzials nachhaltiger und CO₂-armer Bio- und synthetischer Kraftstoffe, einschließlich Power-to-Liquid-Technologien (Siehe Anhang 3I).
- Weiterentwicklung von Verbrennungsmotoren in Verbindung mit Änderungen in der Zusammensetzung von Flüssigkraftstoffen mit Eigenschaften, die zu einer noch effizienteren Energieverwendung führen (z. B. Benzin mit höherem Oktangehalt, siehe Anhang 3B).

LUFTQUALITÄT IN STÄDTEN

Die Luftqualität ist eine weitere zentrale Triebkraft für Veränderungen, da viele europäische Städte nach Wegen suchen, um Luftqualitätsstandards zu erfüllen. Daher ist es wichtig, dass die Fahrzeugflotte sich zu einem Mix aus Elektro- und Verbrennungsmotorfahrzeugen (Pkw und Nutzfahrzeuge) entwickelt, die bei Diesel mit den neuesten Nachbehandlungstechnologie (Euro 6d temp oder vergleichbar) ausgerüstet sind. Diese Dieselfahrzeuge müssen unter realen Fahrbedingungen vollständig regelkonform sein. Durch diese Umstellung wird der Straßenverkehr bis 2030 als Faktor für schlechte Luftqualität in Städten zunehmend an Bedeutung verlieren. Kurzfristig werden in vielen Städten weitere Maßnahmen gebraucht, um ältere Fahrzeuge mit höheren Emissionen von der Straße zu holen und andere nicht verkehrsbedingte Schadstoffquellen einzudämmen (siehe Anhang 2E).

Vorstellbar sind auch andere Technologien, die sich zur Zeit in einem frühen Entwicklungsstadium befinden, etwa dass das aus dem Auspuff ausgestoßene CO₂ zukünftig an Bord abgeschieden und später gespeichert und umgewandelt werden kann (siehe Anhang 3K). Dies wäre der letzte Schritt in der THG-Minderungskette.

⁶ www.avl.com/documents/10138/1131828/141119_PDiM_Electromobility-for-Commercial+Vehicles+%E2%80%93%20Challenges+%26+Opportunities_Svenningstorp.pdf/4f631607-dd8a-4616-a935-480d8e37ba9c

⁷ ERTRAC-Roadmap, Juni 2016, Roadmap Schwerlastverkehr (2012) http://www.ertrac.org/uploads/documentsearch/id42/2016-06-09_Future%20ICE_Powertrain_Technologies_final.pdf und http://www.ertrac.org/uploads/documentsearch/id4/heavy-duty-truck-1_0_66.pdf

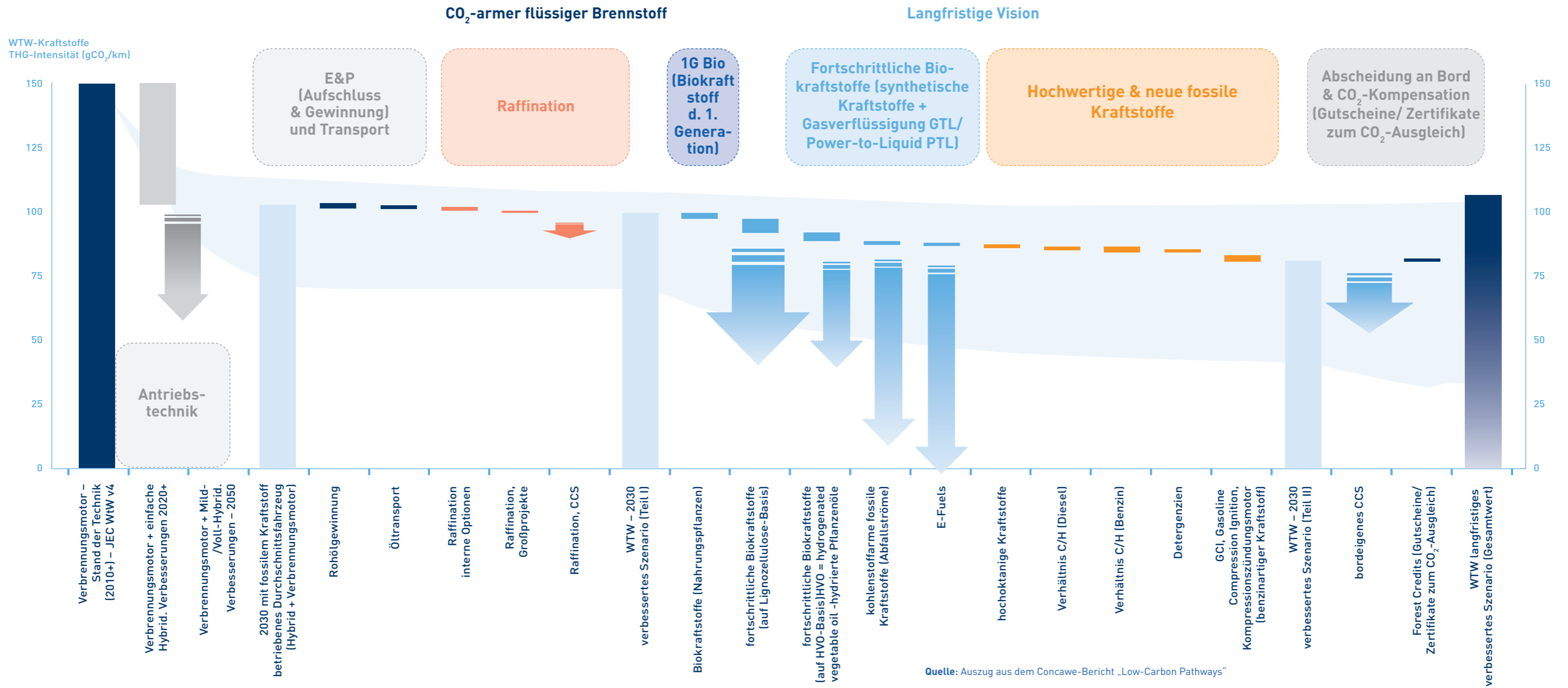
⁸ ACEA (Integrated approach report, 2017), <http://reducingco2together.eu/assets/pdf/trucks.pdf>

Das folgende Schaubild aus dem Concawe-Bericht Low-Carbon Pathways⁹ zeigt Schlüsseltechnologien und ihr Potenzial zur Senkung der Well-to-Wheel-THG-Intensität von Personenkraftwagen:

⁹ The Low Carbon Pathways Project. A holistic framework to explore the role of liquid fuels in future EU low-emission mobility (2050).

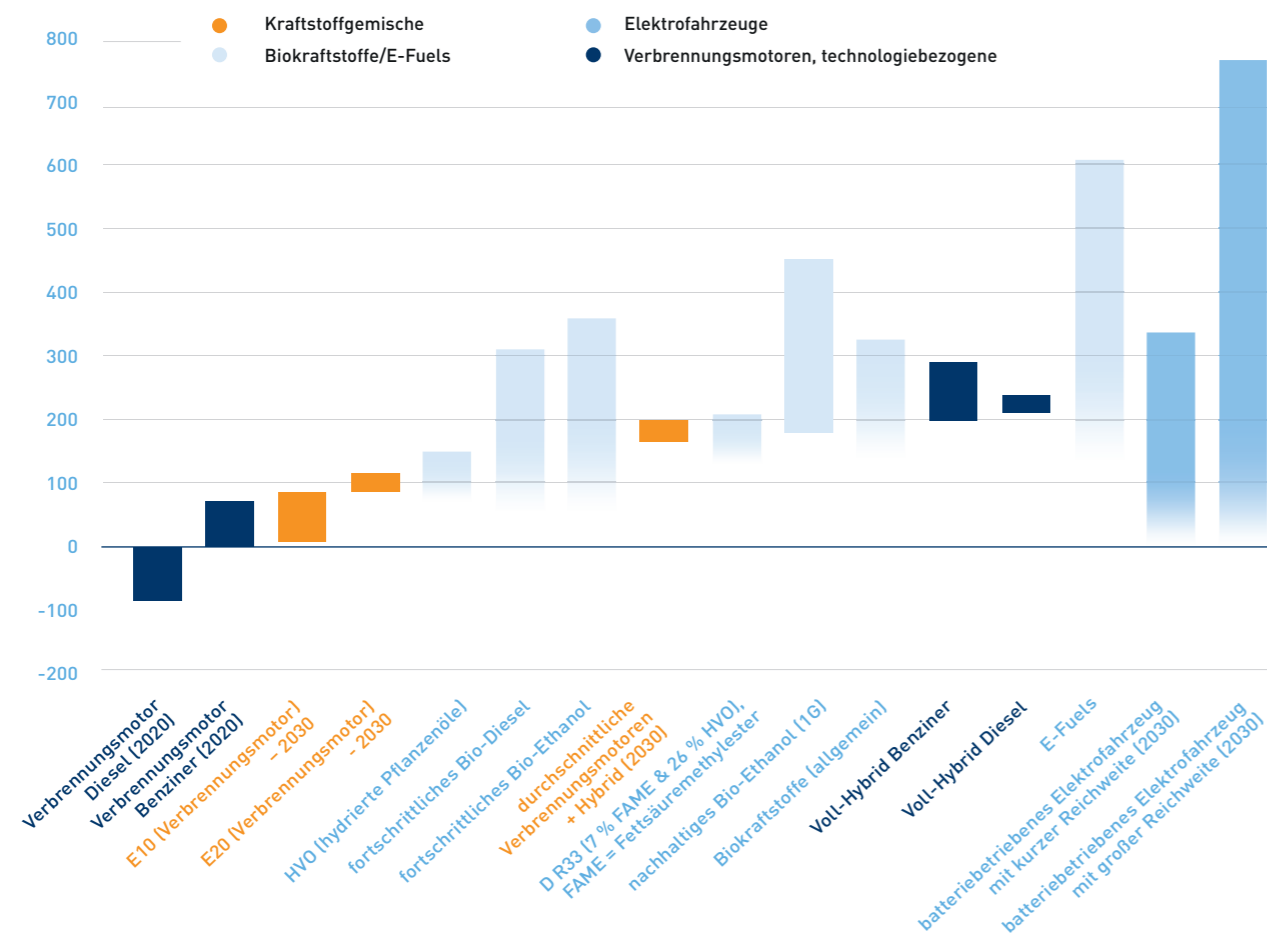
ABBILDUNG 8: DAS CONCAWE LOW-CARBON-PATHWAYS-MODELL (MITTELKLASSE-SEGMENT)

Hinweis: 2030 Mittelwert-Szenario (Balkendiagramm). Modellierungsgrenzen dargestellt als graue Bereiche (Grenzwerte für die min./max. Aufnahme). Die Pfeile markieren das langfristige Potenzial unterschiedlicher Technologien (nach 2050).



Das Schaubild vergleicht verschiedene Energiequellen für ein Mittelklasse-Fahrzeug nach Literaturlauswertung. Die fahrzeugbezogenen Kosten variieren je nach betrachtetem Segment.

ABBILDUNG 9: DIE CO₂-MINDERUNGSKOSTEN VERSCHIEDENER CO₂-ARMER KRAFTSTOFFE UND ANTRIEBSTECHNIKEN FÜR EIN FAHRZEUG DES C-SEGMENTS (MITTELKLASSE) IM JAHR 2030



Quelle: Concawe, Low Carbon Pathways, April 2018.

Die Kosten unterschiedlicher CO₂-armer Kraftstoffe und Antriebstechniken

In einer Erstbewertung wählte Concawe die Minderungskosten pro Tonne CO₂ als Bemessungsgrundlage. Das bietet die Möglichkeit, verschiedene Minderungsoptionen für CO₂-Emissionen auf derselben Grundlage zu vergleichen. Diese Methode reagiert jedoch äußerst empfindlich auf extreme Randbedingungen und andere Faktoren. Dazu gehören zukünftige Kraftstoff- und Strompreise, insbesondere ihre Entwicklung bis 2050, die definierten Analysegrenzen und andere finanzielle Parameter, die das Endergebnis stark beeinflussen. Daher sollte dieser Ansatz bei der Entscheidung über Investitionen nicht als einziger herangezogen werden.

Das Schaubild vergleicht verschiedene Energiequellen für ein Mittelklasse-Fahrzeug nach Literaturlauswertung. Die fahrzeugbezogenen Kosten variieren je nach betrachtetem Segment.

Wirtschaftlichkeitsvergleich – eine Zusammenfassung

- Kurz- bis mittelfristig werden CO₂-arme Alternativen zu Flüssigkraftstoffen auf Mineralölbasis, wie zum Beispiel Biokraftstoffe und E-Fuels, teurer in der Herstellung sein als die entsprechenden Produkte auf Mineralölbasis.
- Die Bezahlbarkeit dieser alternativen Kraftstoffe wird jedoch zunehmen, wenn der Verbrennungsmotor effizienter wird und andere Entwicklungen den Markt beeinflussen, wie die zunehmende Hybridisierung.
- CO₂-arme Kraftstoffe können die bestehende Infrastruktur für Kraftstoffe auf Mineralölbasis nutzen.
- Insgesamt können CO₂-arme Kraftstoffe im Vergleich zu den Gesamtkosten einer Elektrifizierung der Flotte leichter Nutzfahrzeuge und Personenkraftwagen wettbewerbsfähig sein.
- Im Luft- und Seeverkehr könnten CO₂-arme Kraftstoffe (gasförmig und flüssig) zur einzig praktikablen und bezahlbaren Lösung werden.
- Concawe erarbeitet Wirtschaftlichkeitsanalysen für alternative Kraftstoffe unter Berücksichtigung unterschiedlicher Szenarien für die verschiedenen Verkehrssektoren.

DIE ROLLE DER VERBRAUCHER: ANWENDUNGSFALL PERSONENKRAFTWAGEN UND LEICHTE NUTZFAHRZEUGE

Die Verbraucherwahl ist ein entscheidender Faktor für den Erfolg einer Technologie. Sie wird von Attraktivität, wirtschaftlichen Überlegungen und Benutzerfreundlichkeit der Technologie beeinflusst. Obwohl die Preise von Elektrofahrzeugen langfristig sinken werden, sind sie immer noch teuer und zur Zeit von verkaufsfördernden Subventionen abhängig. Zu den notwendigen benutzerfreundlichen Eigenschaften gehören hohe Reichweite, kurze Ladezeit und hohe Verfügbarkeit von Ladestationen.

Während Bedenken hinsichtlich der Reichweite die Verbraucherwahl bisher beeinflusst haben, kommen jetzt neuere Modelle mit Batterien der nächsten Generation auf den Markt, die mehr Kilometerleistung bieten.

Die Ladezeit ist ebenfalls wichtig für die Verbraucher. Ein Standardladegerät braucht mehrere Stunden und eignet sich eher für das Laden über Nacht zu Hause oder an einem anderen Langzeitparkplatz. Daher müssen Schnellladegeräte in ausreichender Zahl installiert werden, um die Nachfrage derer zu befriedigen, die ihre Batterie unterwegs aufladen wollen. Standort und Verfügbarkeit von Ladestationen nehmen an Bedeutung zu, wenn mehr Elektrofahrzeuge auf den Markt kommen. Intelligentes, automatisches Fahrzeugmanagement von E-Autos und E-Transportern wird die Häufigkeit und den Ort des Nachladens unterwegs optimieren sowie Lastspitzen minimieren, wodurch Unterbrechungen bei der Stromversorgung vermieden werden.

Ein Mix von Fahrzeugtechnologien wird benötigt, um heute und in der Zukunft eine Vielzahl von individuellen und gesamtgesellschaftlichen Anforderungen zu ermöglichen. Dabei müssen die folgenden Grundsätze beachtet werden:

- Der Verbraucher darf nicht zur Wahl einer bestimmten Technologie gezwungen werden.
- Unterschiedliche Technologien bieten unterschiedliche Vor- und Nachteile für bestimmte Anwendungen.
- Wissenschaftliches Verständnis, Wirtschaftlichkeit und die Beurteilung externer Faktoren werden sich im Laufe der Zeit entwickeln.

Generell ist es kurzfristig, wenn Regulierungsbehörden im Voraus Technologien festlegen und dabei die Verbrauchersouveränität außer Acht lassen. Dieser Weg begünstigt eher die Entwicklung von Technologien, die in einem freien Markt nicht auf breite Akzeptanz stoßen, sobald Subventionen und andere Fördermaßnahmen wegfallen.

C. SCHLUSSFOLGERUNGEN

- Der Klimawandel erfordert schnelles und entschlossenes Handeln in allen Wirtschaftszweigen.
- Auf Jahrzehnte hinaus wird der Verbrennungsmotor für die verschiedenen Verkehrssektoren weiterhin eine wichtige Rolle spielen.
- Flüssige Kohlenwasserstoffe werden ein wichtiger Teil des zukünftigen Mobilitätssystems bleiben, auch bei Zunahme alternativer Energiequellen.
- Die Entwicklung und der Einsatz emissionsarmer flüssiger Kohlenwasserstoffkraftstoffe bietet die große Chance, die Marktnachfrage zu erfüllen und dabei gleichzeitig etwas gegen die Risiken des Klimawandels zu tun.
- CO₂-arme Flüssigkraftstoffe können in absehbarer Zeit in allen Verkehrssegmenten Emissionen senken und dabei bestehende Fahrzeugflotten und vorhandene Infrastruktur für die Herstellung, den Vertrieb und die Lagerung von Kraftstoffen nutzen. Das bestehende Kraftstoffe-Vertriebsnetz für die Schifffahrt, Luftfahrt und den Straßenverkehr kann einfach an zukünftige emissionsarme Kraftstoffe flüssiger oder gasförmiger Art angepasst werden.

- Gleichzeitig wird sich das Tankstellennetz in Europa weiter entwickeln. Tankstellen werden wahrscheinlich zu Multi-Energie-Servicezentren, die ihr Angebot an Kraftstoffen und Energie ausweiten und Autofahrern eine große Bandbreite neuer Dienstleistungen anbieten (siehe nebenstehende Grafik).

Zusammenarbeit über Branchen und Sektoren hinweg wird von entscheidender Bedeutung sein, wenn es darum geht, innovative Technologien für CO₂-arme Flüssigkraftstoffe und andere Produkte auf den Markt zu bringen. Daher wird der Aufbau einer europäischen Wertschöpfungskette, die die Chemie- und Raffineriebranche sowie den Verkehrssektor umfasst, von großer Bedeutung für die beschleunigte Marktreife von CO₂-armen Technologien sein.

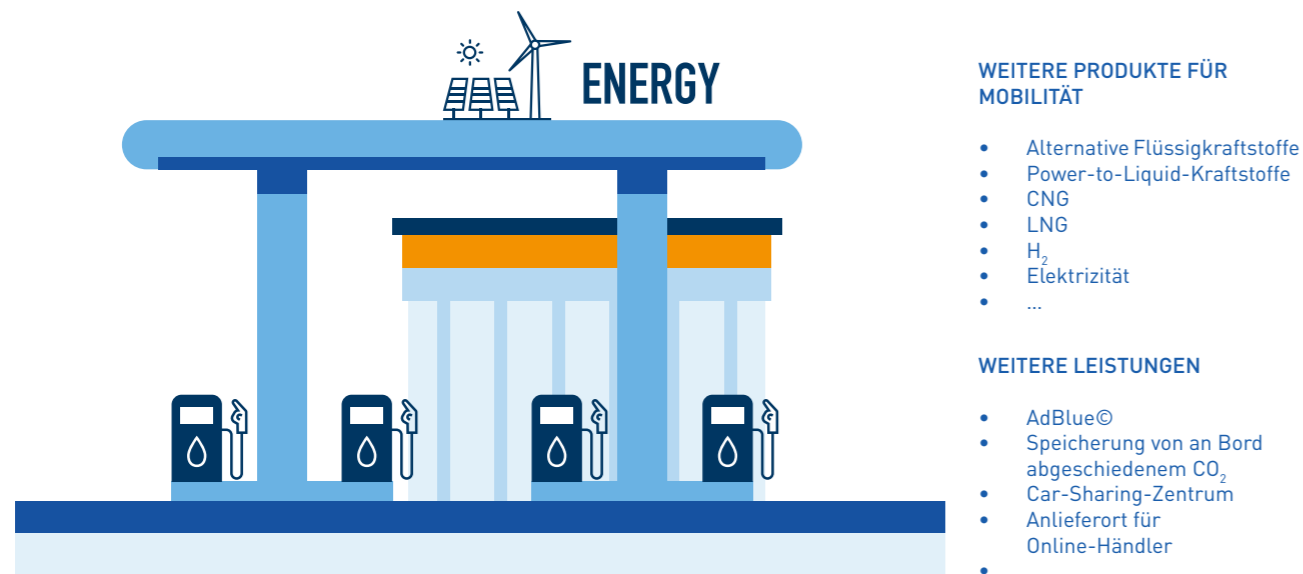
Die weitere Senkung von CO₂-Emissionen in Vorproduktion und Raffinerien wird ebenfalls zu einer Gesamtreaktion von CO₂-Emissionen beitragen, bis praktikable emissionsfreie Ersatzprodukte entwickelt und bereit für den Einsatz sind. Dies gilt für Kraftstoffe und andere Mineralölprodukte, einschließlich petrochemischer Rohstoffe, Bitumen, Asphalt, Schmiermitteln, Wachsen, Lösungsmitteln und Heizöl. Raffinerieprodukte, die in der industriellen Wertschöpfungskette zum Einsatz kommen – insbesondere die petrochemischen Rohstoffe – werden dazu beitragen, in anderen Branchen und bei Endverbraucherprodukten die Emissionen zu senken.

Um die Emissionsminderungsstrategie der EU zu unterstützen, muss sich die europäische Raffinerieindustrie daher weiterentwickeln und die CO₂-Emissionen, die mit ihrem Betrieb und der Verwendung ihrer Produkte in Zusammenhang stehen, erheblich reduzieren. Gleichzeitig wird sie mit den vielen Produkten, die die Gesellschaft in den nächsten Jahrzehnten benötigt, weiterhin einen bedeutenden Beitrag zur EU-Wirtschaft und für die Verbraucher liefern.

EMISSIONSQUELLEN IN EINER RAFFINERIE

Eine Erdölraffinerie besteht aus verschiedenen komplexen und miteinander verbundenen Prozessen, mit denen die ganze Bandbreite hochwertiger Mineralölprodukte hergestellt wird. Jede Anlage ist einzigartig, aber alle sind energie- und CO₂-intensiv. Das typische Spektrum reicht von 100 bis 200 kg CO₂ pro Tonne Rohöl. (Siehe dazu Anhang 2C mit einem vereinfachten Flussdiagramm einer typischen komplexen Raffinerie und einer Grafik ihrer Hauptquellen für CO₂-Emissionen.)

ABBILDUNG 10: WEITERENTWICKLUNG DER TANKSTELLEN



1.3. Petrochemische Rohstoffe und andere Nicht-Kraftstoffprodukte

Petrochemikalien bilden die Grundlage für zahllose Produkte des täglichen Lebens, darunter Baustoffe (insbesondere Wärmeisolierung), Autoteile, Verpackung, Möbel, Unterhaltungselektronik, Kleidung, Schuhe, Reifen, Farben, Kosmetika und Pharmazeutika. Daher sind viele Branchen betroffen, wenn Raffinerieprodukte als petrochemische Rohstoffe ersetzt werden, wozu unterschiedliche Arten und Stufen innovativer Technik von Nöten sind.

Das New Policies Scenario im WEO 2017 der IEA zeigt, dass selbst beim aggressivsten Szenario zur Bekämpfung des Klimawandels die weltweite Ölnachfrage zur Herstellung von petrochemischen Rohstoffen noch von rund 11 Millionen Barrel pro Tag (mb/d) heute auf 16 mb/d im Jahr 2040 ansteigen würde.

Gleiches besagt die DECHEMA-CEFIC-Studie¹⁰ über klimafreundliche Rohstoffe. Unter heutigen Bedingungen würde die Herstellung von Ammoniak, Methanol, Olefinen und Aromaten aus Biomasse zwei- bis fünfmal so viel kosten wie aus petrochemischen Rohstoffen.

RAFFINERIE- UND STEAMCRACKER-STANDORTE IN EUROPA

- Die Mehrheit der petrochemischen Rohstoffe (Naphtha) kommt aus der Raffinerieindustrie.
- Von den 58 Steamcrackern unter den petrochemischen Anlagen in der EU befinden sich 41 im Verbund mit Raffinerien, die im Schnitt weniger als zwei Kilometer entfernt liegen.
- Die Symbiose der Raffinerie- und der Chemieindustrie stärkt die internationale Wettbewerbsfähigkeit dieser Cluster. (Siehe auch Anhang 2B)

Obwohl Biomasse als biobasierter Rohstoff ein Potenzial aufweist, werden zusätzlich erhebliche F&E-Fortschritte benötigt, um sie zu einer rentablen Option zu machen. Kurz- bis mittelfristig wird es effektiver sein, die Anstrengungen darauf zu richten, die THG-Intensität von in Raffinerien produzierten petrochemischen Rohstoffen zu reduzieren und die Grundsätze der Kreislaufwirtschaft anzuwenden, wodurch mehr Rohstoffe aus Abfall und wiederverwendeten Produkten gewonnen werden. Petrochemische Rohstoffe stellen vielleicht das beste Beispiel für integrierte Wertschöpfung aus zwei Säulen der europäischen industriellen Wertschöpfungskette dar. Eine weitere Integration von Raffinerien und Petrochemie

BIOKRAFTSTOFFE FÜR PETROCHEMIKALIEN

In den letzten Jahren gab es Bemühungen, Rohstoffe wie Biomasse, die nicht mineralölbasiert sind, für die Herstellung von Petrochemikalien zu verwenden. Der Erfolg solcher biobasierter Chemikalien wird hauptsächlich von der Kostenwettbewerbsfähigkeit des Herstellungsprozesses und der zukünftigen Verfügbarkeit von Biomasse-Rohstoffen abhängen. Zur Zeit besteht eine erhebliche Kostenlücke, bei deren Füllung die Olefinherstellung mit Hilfe biobasierter Stroms künftig ebenfalls eine Rolle spielen könnte, wie in einer kürzlich von DECHEMA und CEFIC vorgelegten Studie anvisiert. Eine Umsetzung dieser Technologien ohne technische Fortschritte und Entwicklungssprünge ist jedoch schwer vorstellbar. Daher erwartete die IEA in ihrem World Energy Outlook WEO 2017 selbst unter den optimistischen Bedingungen des Sustainable Development-Szenarios eine begrenzte Marktdurchdringung von biobasierten Rohstoffen für Petrochemikalien.

könnte durch Energieeinsparungen, niedrigere Transportkosten und größere betriebliche Flexibilität weitere Synergien freisetzen und THG-Emissionen senken. So können Zwischenprodukte ausgetauscht werden, um Nachfrageschwankungen zu begegnen, und

die Wasserstoffversorgung kann als Backup für die Raffinerie dienen. Des Weiteren könnten Raffinerien der Zukunft CO₂-ärmere oder erneuerbare kohlenwasserstoffhaltige Rohstoffe für Petrochemikalien produzieren.

Neben den petrochemischen Rohstoffen sind noch viele andere Mineralölprodukte wichtige Bestandteile der industriellen Wertschöpfungskette und ebenso schwer zu ersetzen. Die Bedeutung von Produkten wie **Bitumen, Asphalt, Schmierstoffen, Wachsen und Lösungsmitteln** für die Wirtschaft und Verbraucher sollte nicht unterschätzt werden. Was die petrochemischen Rohstoffe angeht, ist die Substitution dieser mineralölbasierten Produkte mit Produkten aus Biomasse oder anderen Alternativen technisch und wirtschaftlich nicht praktikabel, zumindest nicht auf mittelfristige Sicht. Da diese Produkte bei der Verwendung nicht verbrannt werden, bieten sie zudem eine effektive Möglichkeit CO₂ zu „speichern“ und die Abgabe in die Atmosphäre zu verhindern.

Heizöl gehört ebenfalls zu den wichtigsten Mineralölprodukten, da es zur Zeit Wärme für etwa 20 Millionen Haushalte in der EU liefert, vor allem im ländlichen Raum und in nicht an Wärmeleitungen angeschlossene Wohngebiete: Es spielt eine besonders entscheidende Rolle in Gegenden, die nur schwierig an ein Gas- oder Fernwärmenetz angeschlossen werden können.

Die Qualität von Brennstoffen für Heizzwecke kann weiter verbessert werden, damit weniger CO₂ emittiert wird. Außerdem werden effizientere Brenner produziert. Darüber hinaus bieten die Integration von erneuerbaren Energiequellen in hybride Heizsysteme und die zunehmende Verwendung CO₂-armer Flüssigkraftstoffe eine Möglichkeit, die CO₂-Emissionen weiter zu senken.

¹⁰ Low-carbon energy and feedstock for the chemical industry Bericht www.cefic.org/Documents/RESOURCES/Reports-and-Brochure/DECHEMA-Report-Low-carbon-energy-and-feedstock-for-the-chemical-industry.pdf

1.4. Energiespeicherung

Die Energiespeicherung gewinnt als Teil der Energiewende immer mehr an Bedeutung. Die Schwankungen bei der Stromerzeugung aus Sonne und Wind erfordern die Verfügbarkeit großer, reaktionsschneller und flexibler Speicherkapazitäten für Zeiten, in denen das Angebot die Nachfrage übersteigt. Diese Energie kann dann bei Bedarf zum Verbrauch freigegeben werden. Energiespeicher werden benötigt, um kurzfristig auf Nachfrage- und Angebotsschwankungen reagieren zu können, sei es über Sekunden und Minuten zum Netzausgleich oder auf saisonale Schwankungen über Wochen und Monate.

Während Pumpspeicher (Speicherung von Wasser in einem Staubecken auf gewisser Höhe) die zur Zeit mit Abstand größten Energiespeicher der Welt und auch in der EU¹¹ sind, bieten noch viele weitere Technologien die Möglichkeit, Energie zu speichern. Stationäre Batterien werden mit beeindruckenden Ergebnissen hinsichtlich größerer Speicherkapazitäten und reduzierter Stückkosten mit ständig wachsendem Innovationstempo weiterentwickelt.

Die Effektivität und das schiere Ausmaß von gespeicherter Energie, die sich mit Molekülen erreichen lässt, übersteigt die Speicherleistung von Elektronen bei Weitem. Hier einige Beispiele:

- Die Gesamtmenge des in der EU gespeicherten Rohöls und der Mineralölprodukte (ca. 120 Mio. Tonnen) entspricht gemäß der Mindestvorräte-Richtlinie (erforderliche Bevorratung in Höhe des Bedarfs von 90 Tagen) nach Berechnungen von Concawe etwa 1500 TWh Energie (1,5 x 10⁹ kWh).
- Die gesamte Gasspeicherkapazität der EU beträgt ungefähr 1200 TWh (1,2 x 10⁹ kWh)¹².
- Für den hypothetischen Fall, dass 200 Millionen Elektrofahrzeuge, alle mit einer vollgeladenen 100 kWh- Batterie, mit dem Netz verbunden wären, hätte man 20 TWh (2 x 10⁷ kWh)¹⁴ an Energie gespeichert und bereit zur Freigabe.

Daraus lässt sich ableiten, dass die gegenwärtig verfügbaren und absehbaren Technologielösungen für die Energiespeicherung in Elektrobatterien auf den sofortigen oder sehr kurzfristigen Netzausgleich begrenzt sein werden. Moleküle verfügen über eine erheblich größere Speicherkapazität.

Kohlenwasserstoffe fossiler Herkunft sind jedoch nicht die einzige praktische Möglichkeit, Energie zu speichern. Wasserstoff aus der Elektrolyse von Wasser unter Verwendung erneuerbarer Energien oder „Power-to-Hydrogen“ ist eine ausgereifte Technologie, die die flexible Speicherung von Energie erlaubt. Hinzu kommt, dass Wasserstoff vielfältig genutzt werden kann, zum Beispiel als Kraftstoff für den Verkehr, Brennstoff für das Heizen und als Bestandteil synthetischer Kraftstoffe (Power-to-Liquid, Synthesegas und Ammoniak).

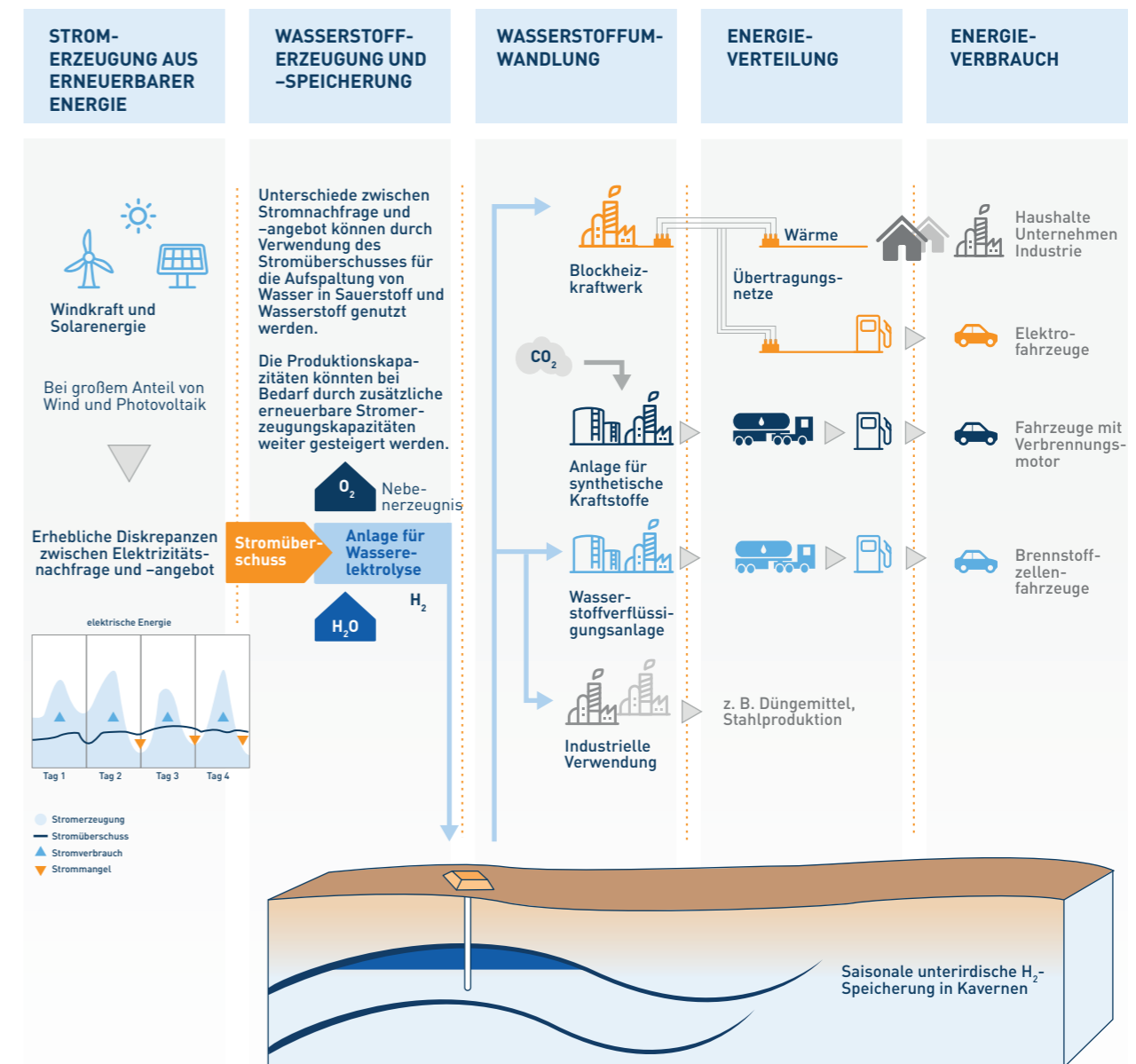
Das folgende Schaubild gibt einen Überblick über verschiedene Formen der Energiespeicherung:

Die Raffinerieindustrie ist gut positioniert, um wettbewerbsfähige Lösungen zur Energiespeicherung anzubieten.

- Sie hat große Erfahrung mit der Herstellung, Speicherung und Nutzung von Wasserstoff und besitzt und betreibt dazu die entsprechenden Anlagen und technischen Einrichtungen.
- Sie verfügt über riesige Speicherkapazitäten für flüssige Produkte.
- Dank der Integration in industrielle Cluster, wie zum Beispiel Petrochemie, kann sie durch die Umwandlung überschüssigen Ökostroms in Flüssigkeiten und der Energiefreigabe bei Bedarf die Rolle eines Energieumschlagplatzes übernehmen.

Obwohl bereits verschiedene Technologien zur Verfügung stehen, müssen vor einer breiten Einführung noch weitere Fortschritte bei der Kostenwettbewerbsfähigkeit und technischen Entwicklung gemacht werden. Investitionen sind notwendig und sollten durch entsprechende rechtliche Rahmenbedingungen gefördert werden.

ABBILDUNG 11: NUTZUNGSPLAN FÜR ERNEUERBARE ENERGIEN



Quelle : ERTRAC, High-Level Round Table, 1. März 2018 - Sectorial Integration supported by Energy Storage and Hydrogen.

¹¹ SIEHE ENDE DES DOKUMENTS: EASE – European Association for Storage of Energy – 1. März 2018, Roundtable on Sectorial Integration Supported by Energy Storage and Hydrogen, Europäische Kommission, Brüssel.

¹² SIEHE ENDE DES DOKUMENTS: EnergyNet – ELECTRICITY AND GAS NETWORKS' PERSPECTIVE High-Level Roundtable on Energy storage and sectoral integration – 1. März 2018.

2.

EINE VISION FÜR DIE EUROPÄISCHE WIRTSCHAFT: RAFFINERIE 2050

Die europäische Mineralölindustrie bildet eine wichtige Ressource für die EU während der Energiewende. Seit mehr als 100 Jahren hat sie ihren Erfindungsreichtum, ihre Technologieführerschaft und ihr Unternehmertum unter Beweis gestellt. Die Branche steht vor großen Herausforderungen; es besteht Handlungsbedarf zur Eindämmung des Klimawandels. Die Raffineriebetreiber haben begonnen, sich **weiterzuentwickeln**, damit sie einen Beitrag zu diesem Ziel leisten können. Gleichzeitig müssen sie weiterhin die Bedürfnisse der Verbraucher und der europäischen industriellen Wertschöpfungskette bedienen.

Die **Raffinerie der Zukunft** wird verstärkt neues Rohmaterial wie nachwachsende Rohstoffe, Abfälle und abgeschiedenes CO₂, in einer hocheffizienten Produktionsanlage einsetzen. Sie wird die Verwertung von Strom aus erneuerbaren Energien am Standort maximieren, in einen branchenübergreifenden Cluster verschiedener Industrien integriert sein und so die europäische Industriesymbiose vorantreiben und nutzen. Aufgrund der Flexibilität und Belastbarkeit ihrer Infrastruktur wird die Raffinerieindustrie eine Vielzahl an Rohstoffen verarbeiten und eine ganze Palette von Produkten vertreiben. So werden neue emissionsarme Kohlenwasserstoffkraftstoffe als Bausteine für Chemikalien, Schmierstoffe, Wachse und Bitumen dienen, die benötigt werden, um die Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Wirtschaft sicherzustellen.

Gleichzeitig wird sich das **Tankstellennetz** in Europa weiterentwickeln. Zukünftig könnten Tankstellen das in Fahrzeugen abgeschiedene CO₂ sammeln und entsorgen und dazu zu Zentren für Car-Sharing werden.

Die Weiterentwicklung der Raffinerien wird auf einer Kombination vieler technisch verfügbarer Optionen beruhen, die über das Potenzial verfügen, die CO₂-Intensität der Raffinerieprodukte zu senken. Die Strategie der Wahl wird größtenteils standortabhängig sein. Verschiedene Raffinerien arbeiten bereits an dieser Entwicklung oder haben Pläne, dies in Zukunft zu tun. Viele laufende F&E-Projekte zeigen, wie sich die Branche weiterentwickelt und damit zum Klimaschutz beitragen kann.

Diese Herausforderung kann nicht von nur einer Branche oder einem Sektor gemeistert werden. Daher muss ein Anreiz für wirksamere branchenübergreifende F&E-Programme in Europa geschaffen werden, um die erfolgreiche Entwicklung und Umsetzung nachhaltiger emissionsarmer Kraftstoffe und entsprechender Fahrzeugtechnologien zu unterstützen.

Technologien wie zum Beispiel erneuerbarer („grüner“) Wasserstoff oder CO₂-Abscheidung werden allgemein als Wegbereiter einer weltweiten emissionsarmen Wirtschaft betrachtet. Europa hat die Chance, für branchenübergreifende Innovationen einzutreten und damit seine verarbeitende und produzierende Industrie in die Lage zu versetzen, die Technologieführerschaft zu übernehmen.

Fazit: Eine europäische Technologiestrategie wird für den Klimaschutz in der Industrie von entscheidender Bedeutung sein und die Zukunftsgrundlage emissionsarmer Technologien bilden. Dabei sollte eine solche Strategie keine der möglicherweise aufkommenden Technologien ausschließen.

2.1. Die Rolle des zukünftigen europäischen Raffineriesystems

Die europäische Raffinerieindustrie ist heute ein Beispiel für industrielle Spitzenleistungen. Sie liefert einen maßgeblichen Beitrag zur Wertschöpfungskette der EU (siehe Anhang 2A). Sie hat wiederholt ihr Innovations- und Entwicklungspotential sowie ihre Anpassungsfähigkeit an die Anforderungen von Wirtschaft, Bürgern und Umweltschutzgesetzen unter Beweis gestellt. Heute zeigen umfangreiche F&E-Anstrengungen und Investitionen sowie der Einsatz von CO₂-armen Technologien im kommerziellen Maßstab, was die Raffinerieindustrie auf lange Sicht zur CO₂-armen Wirtschaft beitragen kann - und unter den richtigen Bedingungen - auch tun will.

Die Raffinerieindustrie wird ihre Weiterentwicklung schrittweise vorantreiben, indem sie neue Technologien und neuartige CO₂-arme und -neutrale Rohstoffe einsetzt. Außerdem wird sie eine **wichtige Rolle in der Umstellung** auf eine emissionsarme Wirtschaft spielen.

Während der Übergangszeit werden Raffinerien und die nachgelagerte Ölindustrie

- dafür sorgen, dass neue CO₂-arme Kraftstoffe und Kraftstoffkomponenten mit konventionellen Produkten kompatibel sind,

- neue und konventionelle Kraftstoffe produzieren, mischen und mit Hilfe des Logistiksystems, der Vertriebsstruktur und des ausgedehnten Tankstellennetzes an die Endkunden liefern.

Wo eine Teilsubstitution (z. B. beim Schwerlastverkehr) oder hohe Substitution (z. B. bei Personenkraftwagen) durch alternative Antriebe technisch machbar ist, werden Raffinerien die Übergangsphase unterstützen. Damit werden Störungen im reibungslosen Funktionieren des Straßenverkehrs vermieden, einem Sektor, der für die Wirtschaft und Bürger der EU von größter Wichtigkeit ist.

In der Zukunft könnten Raffinerien als Angebotsaggregatoren beim Einsatz CO₂-armer Kraftstoffe eine entscheidende Rolle spielen, indem sie auf dem Wege der Bereitstellung fossiler Kraftstoffe lokale Ungleichgewichte zwischen CO₂-armem Angebot und der Gesamtnachfrage ausgleichen. Sie könnten auch als Normalisatoren für Kraftstoffqualität auftreten, indem sie sicherstellen, dass Flüssigkraftstoffe im gesamten Netz austauschbar bleiben.

In diesem Rahmen kann sich das europäische Raffineriesystem weiterentwickeln und die Endkundennachfrage auch in Zukunft mit der Lieferung CO₂-armer Produkte und Kraftstoffe befriedigen.

2.2. Wege zu einer Umstellung des europäischen Raffineriesystems

Raffinerien werden Wege finden, CO₂-Emissionen durch eine Kombination aus betrieblichen Maßnahmen und gezielten Investitionen sowie der Nutzung externer Chancen zu senken. Die tatsächlich verfügbaren Optionen werden von Standort zu Standort verschieden sein und von Faktoren wie bestehender Anlagen-Konfiguration, Lage und Nähe zu anderen Branchen abhängen. Eine Reihe von Entwicklungen wird wahrscheinlich zur Reduzierung der THG-Emissionen von Raffinerien und ihren Produkten beitragen. Diese können in drei Gruppen eingeteilt werden.

GRUPPE 1: Maßnahmen zur weiteren Senkung der THG-Intensität des Produktionszyklus' in Raffinerien

Die europäische Raffinerieindustrie sucht kontinuierlich nach Möglichkeiten, um ihre eigene CO₂-Intensität zu reduzieren. Dazu gehören:

- Investitionen und betriebliche Maßnahmen zur Maximierung der Energieeffizienz
- Weniger Verbrennung von Flüssigkraftstoffen
- Reduzierung von routinemäßigem Abfackeln in Raffinerien
- Einsatz von niederwertiger Wärme aus dem Raffineriebetrieb zur Stromerzeugung für die interne und externe Verwendung. Einige Entwicklungsbereiche umfassen den Ausbau der Wärmepumpentechnik, um höhere Temperaturen zu erzielen und um eine Alternative zu elektrischer Energie zu haben

- Stärkere Integration mit anderen Branchen wie der Petrochemie, die sich häufig in demselben Industriezentrum befinden. Dies bietet noch weitere Optionen zur Energieeinsparung, z. B. gemeinsame Versorgungsunternehmen, was zu Größenvorteilen und besserer Optimierung von Wärme, Dampf und Strom führt.

Die Umsetzung eines Energiemanagementsystems (EMS) sorgt dafür, dass Raffinerien gemäß den höchsten Energiesparstandards konzipiert und betrieben werden. Ein EMS kombiniert Instrumente wie Energiemessungs- und Steuersysteme mit strategischer Planung, Organisation und Mitarbeiterkultur. Ein wirksames EMS verbessert das laufende Energiemanagement und ermittelt Anlagenmodernisierungen und Investitionsvorhaben, die die zukünftige Energieeffizienz verbessern. Die Systeme sind stark auf digitale Technologien angewiesen wie fortschrittliche Prozesskontrolle, Prozesssimulation, Anlagenleistungsüberwachung, Vorhersageanalysen, Raffinerieoptimierung sowie Termin- und Wartungsmanagement.

GRUPPE 2: Externe Beiträge zur Reduzierung der THG-Intensität im Raffinerieprozess

Im Zuge der fortschreitenden Umstellung der EU-Wirtschaft auf Klimaschutz werden Raffinerien in der Lage sein, eine weitere Verminderung der THG-Emissionen in neuen Bereichen zu erzielen. Mit folgenden neuen Projekten und Großinvestitionen ist zu rechnen:

- Die fortlaufende „Defossilisierung“ von Elektrizität wird dem europäischen Raffineriesystem neue Chancen eröffnen, seine CO₂-Emissionen durch den **Einsatz CO₂-armen Stroms** zu senken, der entweder von der Raffinerie bezogen oder in ihr erzeugt wird. Mögliche Projekte sind:

- 1. der zunehmende Ersatz von dampfgetriebenen Maschinen und befeuerten Heizgeräten durch elektrische Maschinen und Elektroheizungen
 - 2. die Produktion von **erneuerbarem ("grünem") Wasserstoff** durch Elektrolyseure, die mit importiertem oder selbst erzeugtem Ökostrom betrieben werden
 - Die weitere Integration des Raffineriesystems mit Gemeinden ist vorstellbar, zum Beispiel der Export niederwertiger Wärme zur Senkung des Energieverbrauchs und der damit zusammenhängenden CO₂-Emissionen (Fernwärme).
 - **CCS (Carbon Capture and Storage) und CCU (Carbon Capture and Use):** Ihre Anwendung bei Raffinerieabgasen gilt als führende Technologie zur Bekämpfung des Klimawandels. Raffinerien können in Clustern gemeinsam mit anderen Branchen den erfolgreichen Einsatz dieser Technologien demonstrieren und eine wichtige Rolle für ihre Anwendung in ganz Europa spielen.
- GRUPPE 3: Senkung rohstoff- und produktbezogener Emissionen**
- Emissionen aus der Verbrennung von nachhaltig produzierter und verarbeiteter Biomasse werden als CO₂-

neutral betrachtet, d. h. sie sind praktisch gleich null. Wenn neue Biomasse nachwächst und sie ersetzt, nimmt sie wieder dieselbe Menge CO₂ aus der Atmosphäre auf. Dies bietet dem Raffineriesystem neue potenzielle Möglichkeiten zur Integration in die Biokomponenten-Wertschöpfungskette und zur Mischung einer großen Bandbreite an CO₂-armen Komponenten.

Weitere Qualitätsanpassungen beim fertigen Kraftstoff zusammen mit fortschrittlichen Fahrzeugtechnologien könnten andere potenzielle Wege zur Reduktion der Well-to-Wheel-THG-Intensität der Endprodukte bieten:

- **Verarbeitung CO₂-armer Rohstoffe mit einem höheren Bioanteil.**

Fortschrittliche Biokraftstoffe werden bereits entwickelt, und die Verarbeitung und Mitverwertung neuer Formen von Abfällen und Produkten auf Biomassebasis beinhaltet weitere Möglichkeiten. Einige dieser Prozessketten bieten den Vorteil, dass sie bekannte Raffinerieähnliche Umwandlungstechnologien zur Veredelung erneuerbarer Öle einsetzen. Das bietet Raffinerien die Möglichkeit, **CO₂-arme Rohstoffe entweder in speziellen Prozesseinheiten oder in Kombination mit fossilen Rohstoffen zu verarbeiten.** Die Endprodukte wären hochqualitative erneuerbare Kohlenwasserstoffe, die vollständig kompatibel mit konventionellem Diesel oder Benzin sind und ohne Beimischungslimit für bestehende Motoren geeignet sind.

Die Verarbeitung von Biomasse-Pyrolyseöl aus Abfall, FT-Wachs (Fischer-Tropsch-Verfahren)/Syncrude und Algenöl sind einige der Möglichkeiten, mit denen Raffinerien einen Mehrwert schaffen und alternative Energielösungen bieten könnten. Sie sind in der Lage:

- a. vorhandene Anlagen umzufunktionieren, statt neue zu bauen
- b. Produkte für den Einsatz in regulären Kraftstoffmärkten zu standardisieren

In Raffinerien der Zukunft ist es auch möglich, Abfall unterschiedlicher Herkunft, einschließlich Kunststoff, mit den zugeführten Rohstoffen zu verarbeiten. Dies entspräche der EU-Strategie zur Kreislaufwirtschaft.

- **Zuführung von CO₂-armen Blendstocks wie Biokraftstoffen oder E-Fuels über die Produktmischung**

Raffinerien werden fortlaufend als Aggregatoren und Vereinheitlichter gefordert sein, um die unterschiedliche Palette CO₂-armer Beimischungen zu kompensieren und eine gleichbleibende Qualität der gängigen Produkte zu sichern (siehe Anhang 3A). Die größte Herausforderung für zukünftige CO₂-arme Blendstocks besteht darin, Nachhaltigkeit sicher zu stellen und die Mengen zu steigern, um den Endmarkt großflächig zu durchdringen.

- **Reduzierung von CO₂-Emissionen aus dem Straßenverkehr über die Kraftstoffqualität**

Dies kann durch die Optimierung der Qualität bestehender Flüssigkraftstoffe in Kombination mit fortschrittlichen Fahrzeugtechnologien erreicht werden, die sich diese Verbesserungen zu Nutze machen. So ergibt Benzin mit einer höheren Oktanzahl, kombiniert mit einem Motor, der auf ein höheres Kompressionsverhältnis ausgelegt ist, niedrigere CO₂-Emissionen pro Kilometer. Aus der Kraftstoffperspektive könnte dies relativ schnell umgesetzt werden. Aufgrund der betroffenen Mengen wären die Auswirkungen erheblich.

- **Reduzierung von CO₂-Emissionen durch die Verarbeitung von Abfällen bei der Herstellung von Kraftstoffen und Rohstoffen**

Die Verarbeitung oder Mitverwertung neuer Formen von Abfall, wie Kunststoffmüll und Rückständen, bietet die Chance, eine weitere Kategorie fortschrittlicher Biokraftstoffe zu entwickeln. Die Raffinerieindustrie kann ihr Wissen und ihre Erfahrung in die Entwicklung von Alternativen zu Deponieentsorgung und Verbrennung von Kunststoffmüll einbringen. Es bedarf jedoch noch technischer Weiterentwicklungen, um die Abfallverwertungsströme so anzupassen, dass Rohstoffe produziert werden können, die für die Herstellung eines Endprodukts von ausreichender Qualität in einer Raffinerie verwendet werden können.

Um die Führungsrolle der europäischen Raffinerieindustrie bei Technologien zu sichern, die den Einsatz von End-of-Life-Kunststoffen (EOL) für die Kraftstoffherstellung möglich machen, muss folgendes geschehen:



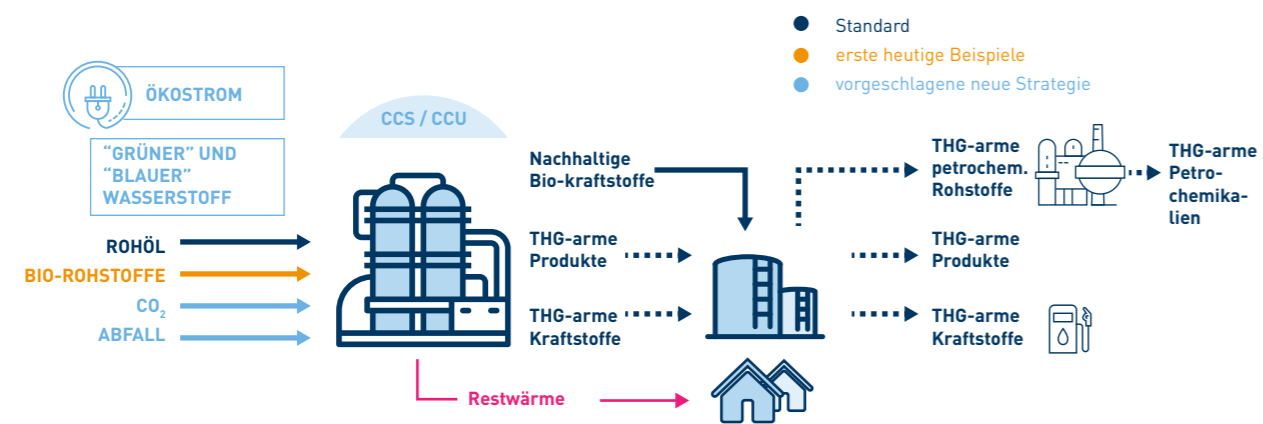
- Es muss einen angemessenen Förderrahmen geben, um
 1. Investitionen in die Entwicklung und Anpassung dieser neuen Technologien zu begünstigen, so dass Betriebskosten, Kapitaleinsatz und Scale-up-Risiken gesenkt und Skaleneffekte sowie andere Vorteile bestmöglich genutzt werden können.
 2. Anreize für die Verwendung von Abfall und Rückständen in Raffinationsprozessen zu bieten. Ein regulatorischer Rahmen kann Synergien zwischen der Abfall- und Raffinerieindustrie schaffen.
- Die langfristige Kohärenz und Stabilität von Ressourcen- und Energiepolitik muss sichergestellt sein, um Investitionen in emissionsenkende

Technologien in Europa zuzulassen. Politik und Regulierungsbehörden sollten aus Abfall hergestellte Produkte berücksichtigen. Unter den heutigen regulatorischen Bedingungen gelten nicht alle Kraftstoffe aus EOL-Abfallströmen als emissionsarme Kraftstoffe. (Siehe Anhang 3E für weitere Einzelheiten zu Projekten mit EOL-Kunststoffen & ReOil von OMV)

Die Möglichkeiten umfassen mehrere Branchen. Weitere Investitionen in F&E und eine **branchenübergreifende Zusammenarbeit** werden ausschlaggebend sein, um das volle Potenzial dieser Möglichkeiten während der Umstellung auf eine emissionsarme Wirtschaft in der EU freizusetzen.

Das folgende Schaubild gibt einen konzeptionellen Überblick über die mögliche Raffinerie der Zukunft.

ABBILDUNG 12: DIE RAFFINERIE ALS ENERGIEUMSCHLAGPLATZ INNERHALB EINES INDUSTRIE-CLUSTERS





EU-Raffineriesystem: Entwicklungsmöglichkeiten hin zu einer emissionsarmen Wirtschaft.

1. Frühes Stadium (emissionsarmer Betrieb):

Der Produktmix ist mineralölbasiert mit einigen kohlenstoffarmen Produkten, um die Vorgaben hinsichtlich erneuerbarer Energien und THG einzuhalten. Die Raffinerien sind optimiert, um die wachsende Nachfrage nach Kraftstoffen und Produkten unter Nutzung der Dekarbonisierung der Stromerzeugung befriedigen zu können.

2. Weiterentwicklung (fortlaufende Einführung von emissionsarmen Komponenten):

Forstschreitende Umstellung der Raffinerie durch Mitverarbeitung kohlenstoffarmer Rohstoffe oder Beimischung größerer Anteile neuer emissionsarmer Produkte.

Die Umnutzung vorhandener Raffinerieprozesseinheiten oder der Aufbau von neuen kohlenstoffarmen Prozessen ist vorgesehen.

3. Zukünftiges Stadium (Zentrum für die Produktion und den Vertrieb von emissionsarmen Energieprodukten und Rohstoffen):

Die Raffinerie der Zukunft wird ein sehr effizientes Produktionszentrum sein, wahrscheinlich integriert in ein **Cluster verschiedener Industrien**, die eine Vielzahl von Rohstoffen und Halbfertigprodukten verarbeiten und austauschen. In diesen Clustern soll CCS eine wichtige Rolle spielen, um verbleibendes CO₂ wirksam abzuscheiden und zu lagern.

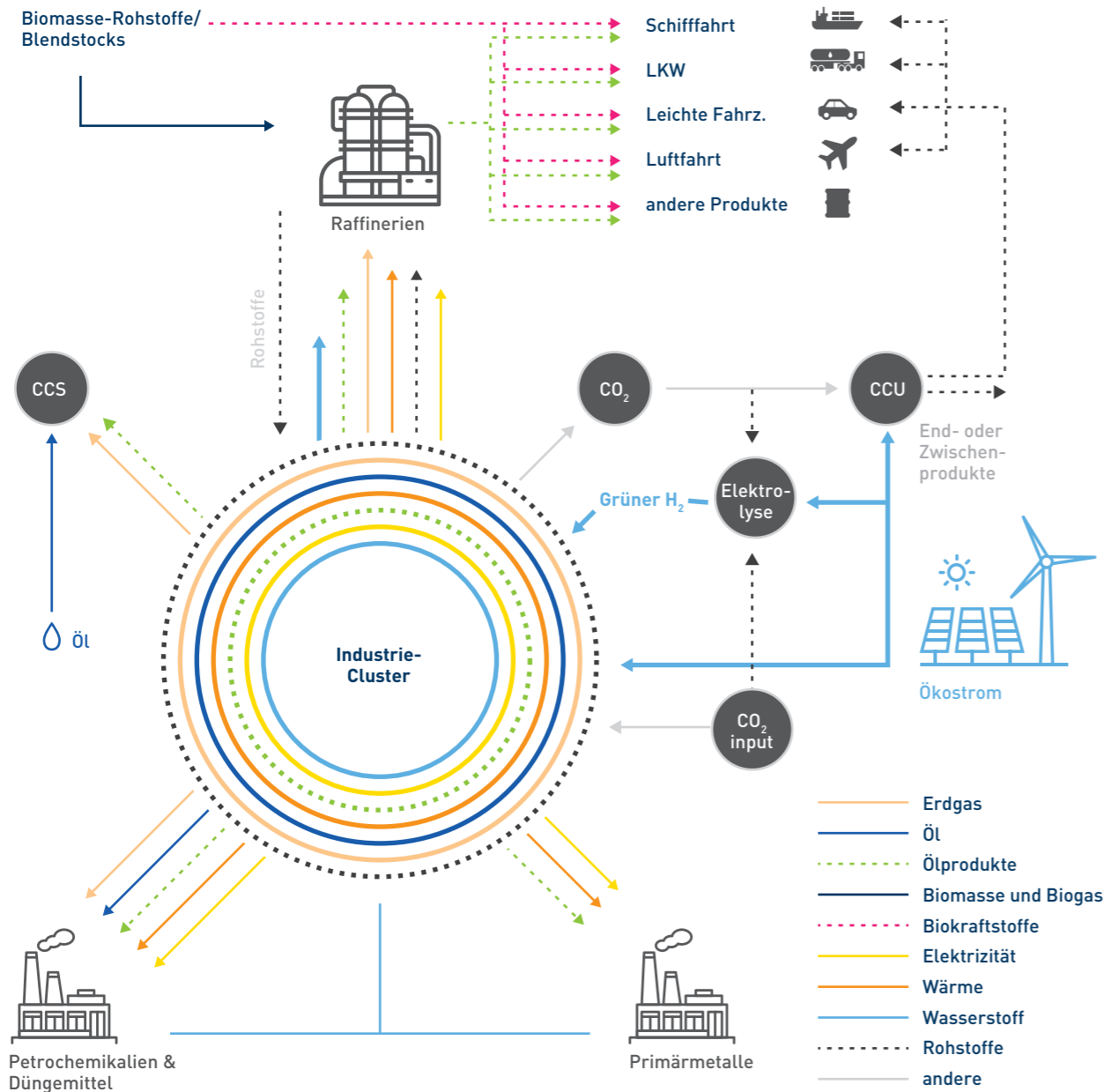
Der Produktmix wird auf emissionsarmen Kraftstoffen basieren, und Produkte mit fossilen Bestandteilen werden unter Einhaltung gleichbleibender Produktqualität beim Ausgleich von Abweichungen und Schwankungen von Angebot und Nachfrage eine Rolle spielen

2.3. Die Weiterentwicklung des europäischen Raffinerie-systems hat bereits begonnen.

Raffinerien haben bereits begonnen, sich in neue Richtungen zu entwickeln. Öl- und Gasunternehmen investieren zur Zeit in F&E und Umsetzungsprojekte, die zeigen, wie die Branche sich so entwickeln könnte, dass der Klimawandel eingedämmt wird. Ein paar frühe F&E-Beispiele und einige Anwendungsfälle illustrieren das Engagement und Leistungsvermögen der Branche auf verschiedenen Stufen der Wertschöpfungskette:

- Unternehmen mit Raffinerien in der EU **mischen Biokraftstoffe** gemäß den EU-Vorschriften und internationaler Spezifikationen, um für den Straßenverkehr bestimmte Kraftstoffe herzustellen. In vielen Fällen sind sie gegenwärtig auch mit der Produktion oder Mitverarbeitung von „Drop-In“-Biokomponenten für Mischungen jenseits gesetzlicher Anforderungen beschäftigt. Dies wird die Qualität und Nachhaltigkeit der Kraftstoffe verbessern (siehe Anhang 3C - HVO).
- Die **nächste Generation fortschrittlicher Biokraftstoffe** wird bereits entwickelt. Einige Raffineriegesellschaften arbeiten schon an F&E-Projekten, die verschiedene Wege analysieren.
 1. **Lignozellulosehaltige Biomasse** (Stroh, Forstabfälle) können auf unterschiedliche Weise in Biokraftstoffe umgewandelt werden. So wird zum Beispiel die thermochemische Umwandlung erforscht, da sich mit diesem Prozess Biomasse zunächst in Synthesegas und anschließend in eine Wasserstoffmischung umsetzen lässt, die für die Herstellung von Biodiesel und Bio-Treibstoff der zweiten Generation verwendet werden kann (siehe Anhang 3D - BioTfuel).
 2. Die **Waste-to-Fuel-Technologie** ist ein vielversprechendes Gebiet für die Erreichung eines der Ziele der Kreislaufwirtschaft. Die Branche
- ist mit einschlägigen F&E-Aktivitäten befasst, um einen erfolgreichen Beitrag zu diesem Ziel zu leisten (siehe Anhang 3E und 3F – *Kraftstoff aus Kunststoff und das Fulcrum-Projekt für Flugzeugtreibstoff aus Abfall*).
- 3. Es gibt Beispiele bedeutender und vielversprechender F&E-Projekte für die Entwicklung von Biokraftstoffen der dritten Generation. Diese sind älteren Biokraftstoffgenerationen unter Nachhaltigkeitsaspekten überlegen, sowohl was die Senkung von THG-Emissionen als auch was ihr Einfluss auf Flächennutzung und Ökosysteme angeht (siehe Anhang 3G - Algen).
- 4. Herkömmliche Raffinerien mit Verarbeitung von Rohöl können umgewandelt werden in „Bio-Raffinerien“ mit Verarbeitung von Biomasse zu unterschiedlichen Biokraftstoff- und -brennstoffsorten. Es gibt hierfür mehrere potenzielle Wege, die beschrieben werden können (siehe Anhang 4A - Bio-Raffinerien).
- Mehrere Raffinerien arbeiten an Projekten, die auf die Verwendung oder Produktion sogenannten „**grünen Wasserstoffes**“ abzielen, d. h. Wasserstoff, der mit Hilfe von Ökostrom hergestellt wurde (siehe Anhang 3J - Refhyne). Dies bietet den zweifachen Vorteil, Emissionen aus Kraftstoffen und anderen Mineralölprodukten zu senken und gleichzeitig überschüssigen Ökostrom speichern zu können, der anfällt, wenn das Angebot die Nachfrage übersteigt. Als Beispiel für die mögliche Weiterentwicklung der Branche bietet diese Technologie auch die Möglichkeit, die Führungsrolle der europäischen Raffinerieindustrie bei der Umsetzung zukünftiger CO₂-armer Lösungen für die Mobilität, wie Power-to-Liquids und Wasserstoff (H₂), zu stärken.
- Die Entwicklung **alternativer Kraftstoffe** für die Produktion und den Vertrieb ist auch von großem Interesse für Unternehmen in der nachgelagerten Mineralölindustrie. Ein Projekt für die Herstellung von Methanol (Anhang 3H) und die Entwicklung von **Wasserstoff-Tankstellen** in Deutschland sind erwähnenswerte Beispiele.

ABBILDUNG 13: INDUSTRIE-CLUSTER



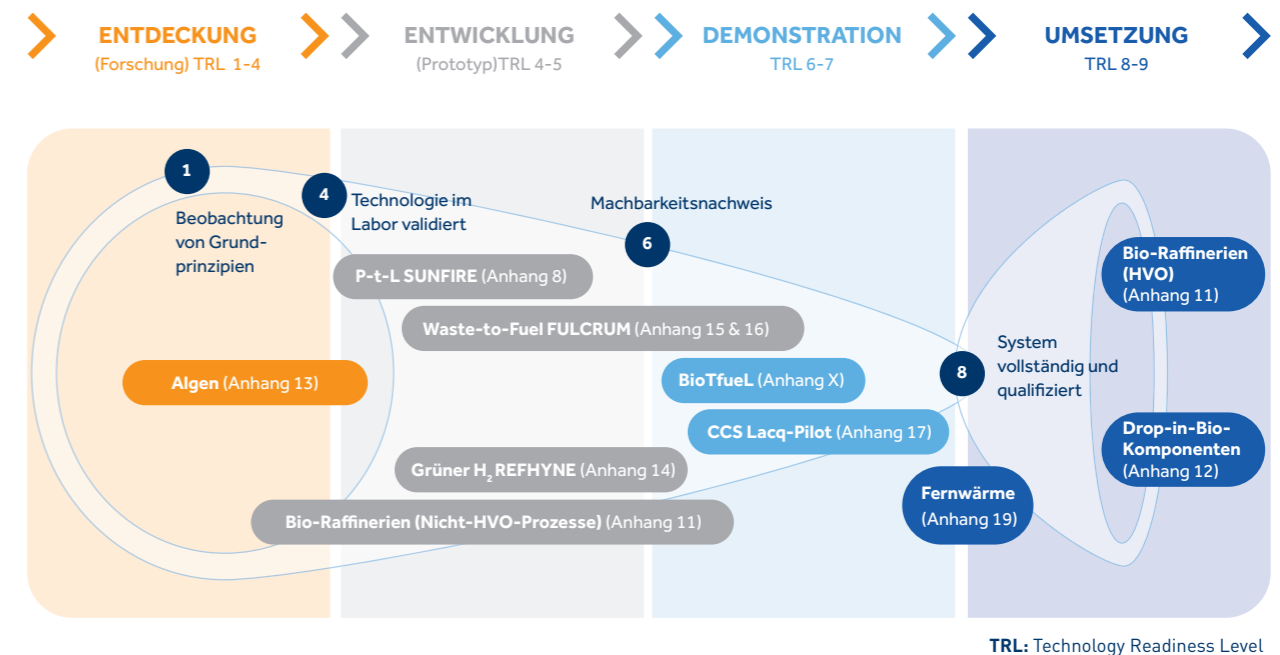
- Ein Musterbeispiel für den Beitrag, den Raffinerien zu einer CO₂-armen Gesellschaft leisten können, ist die Nutzung der Raffinerieabwärme für die Beheizung von Wohnraum (Fernwärme, siehe Anhang 4B.)
- Viele Mineralölfirmen erforschen und planen auch die Umsetzung von CCS-Systemen, mit denen CO₂ aus der Industrie (darunter Raffinerien) gesammelt und in sicheren und dauerhaften Speichern eingelagert wird (normalerweise erschöpfte Öl- oder Gaslagerstätten). (Siehe Anhang 4C.)
- Im Bereich Produktvertrieb bieten einige Tankstellen Autofahrern alternative Kraftstoffe und Energie an. Des Weiteren verwenden sie selbst erzeugten Ökostrom, um energie- und CO₂-neutral zu werden.
- Gemeinsame innovative Geschäftsansätze im Verkehrssektor: Die Mineralölgesellschaften leisten gemeinsam mit anderen Branchen einen Beitrag zu mehreren Initiativen, die den Lebensstil der Konsumenten positiv beeinflussen. Ein Beispiel sind städtische Car-Sharing-Initiativen.

Diese emissionsarmen Technologien haben unterschiedliche Entwicklungsgrade erreicht (siehe Grafik unten) und es bedarf eines Anreizes für zukünftige F&E-Programme, um sie umsetzungsreif zu machen. Damit würden nachhaltige Rohstoffe verfügbarer und ihre Prozesseffizienz gesteigert, was die Kosten während der Demonstrations- und Umsetzungsphase senkt.

Zukünftige F&E-Programme werden untersuchen, wie sich die branchenübergreifende Zusammenarbeit auf innovative Weise stärken lässt. Die Digitalisierung wird die nächste Produktionsrevolution möglich machen, und zukünftige technologische Durchbrüche könnten helfen, etwas gegen den Klimawandel zu tun, wenn der richtige Innovationsrahmen geschaffen wird.

Eine EU-Technologiestrategie wird entscheidend sein für die Grundlagen und Umsetzung zukünftiger emissionsarmer Technologien im Raffineriesektor.

ABBILDUNG 14: DIE UMSTELLUNG AUF DIE RAFFINERIE 2050 HAT BEREITS BEGONNEN: BEISPIELE AUS F&E-PROJEKTEN



Quelle: Concawe, Low Carbon Pathways, April 2018.

3.

QUANTITATIVE BEWERTUNG DES CO₂-MINDERUNGSPOTENZIALS UND DER DAMIT VERBUNDENEN KOSTEN

3.1. THG-Emissionen aus Raffinerien

Dank des Einsatzes einer Kombination neuartiger Technologien kann sich die CO₂-Effizienz europäischer Ö raffinerien in der Zukunft weiter verbessern. Andere wichtige Faktoren sind u.a. externe Marktbedingungen, Energie- und CO₂-Preise sowie Veränderungen im Produktverhältnis. Unter der Voraussetzung, dass ein guter regulatorischer Rahmen vorhanden und echte Marktfähigkeit der Möglichkeiten gegeben ist, besteht ein erhebliches Potenzial für die Senkung der CO₂-Emissionen aus der Ö raffination in einem ersten Schritt bis 2030 und dann bis 2050.

In einer Erstbewertung hat Concawe¹³ dieses Potenzial untersucht. Der erste Teil der Bewertung konzentriert sich allein auf die Technologien und ihr Potenzial bis 2050 in einem Szenario, in dem die Nachfrage von 2030 bis 2050 konstant bleibt.

Die vorläufigen Ergebnisse zeigen, dass bei Einsatz aller Optionen die gesamte CO₂-Emissionsintensität der europäischen Raffinerien bis 2030 im Vergleich zum Referenzszenario 2030 um 20 bis 30 Prozent gesenkt werden kann. (Das Referenzszenario geht von der Annahme aus, dass Raffineriestandorte eine ähnlich hohe Komplexität aufweisen, keine zusätzlichen Technologien vorhanden sind und – wie bereits erwähnt – die Gesamtnachfrage nach Mineralölprodukten im Verhältnis unverändert bleibt.

Bis 2050 könnten CO₂-Emissionen von Raffinerien in der EU durch energieeffizienzverbessernde Technologien, den Einsatz von CO₂-armen Energiequellen und die CO₂-Abscheidung um bis zu 70 Prozent im Vergleich zum Referenzszenario 2030 gesenkt werden.

Die Investitionen, die für die Umsetzung des oben erwähnten Szenarios bis 2030 und 2050 nötig sind, werden auf mindestens 50 Mrd. Euro für die gesamte EU-Raffinerielandschaft geschätzt; (unterliegt ggf. Änderungen nach Abschluss der Concawe-Studie). Der veranschlagte Betrag bezieht sich nur auf die allgemeinen Kosten der verschiedenen aufgeführten Technologien und Möglichkeiten und umfasst nicht die Investitionen außerhalb des Raffineriestandorts oder die jeweiligen Betriebskosten. Die

tatsächlichen Umsetzungskosten werden durch die für die jeweiligen Anlagen geltenden Bedingungen bestimmt.

Die vorläufigen Ergebnisse der detaillierten Analyse (Zwischenbericht) umfassen folgende Punkte:

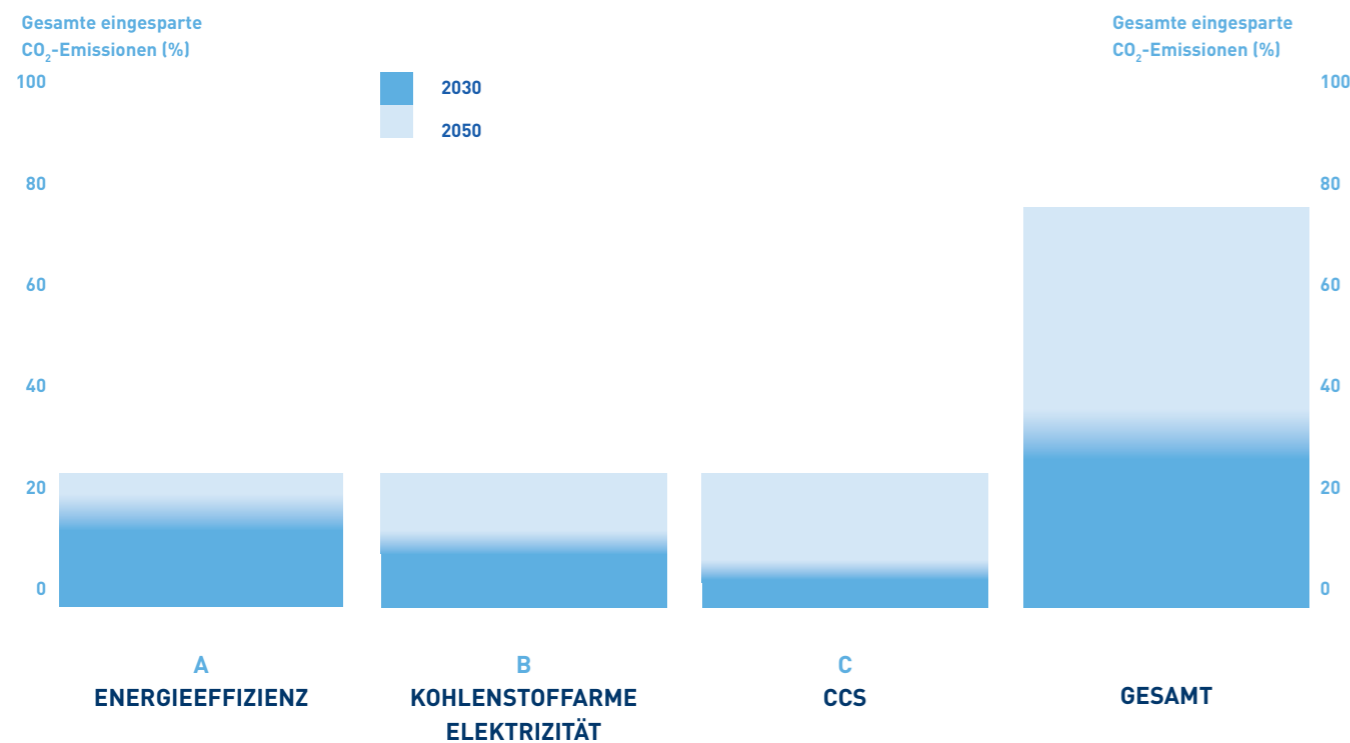
- Steigerungen der Energieeffizienz von bis zu 15 Prozent bis 2030 und 25 Prozent bis 2050 im Vergleich zum Referenzszenario 2030 könnten erzielt werden. Das entspricht im Schnitt einer jährlichen Steigerung um etwa 0,7 Prozent für den Zeitraum bis 2050. Dieser Wert liegt etwas über dem Durchschnitt der letzten 25 Jahre und steht im Einklang mit den aktuellen Daten.
- Die wachsende Verfügbarkeit von CO₂-armem Strom im europäischen Durchschnittstrommix, der Elektrizität aus fossilen Brennstoffen ersetzt, könnte eine Reihe von Möglichkeiten für große Emissionseinsparungen eröffnen. Das könnte die Raffinerieemissionen bis 2050 um bis zu weitere 25 Prozent senken, womit der gesamte Stromverbrauch der Branche bei nahezu 180 TWh/a läge. Das entspräche substanzial 5 Prozent der momentanen Stromerzeugung in Europa. Dies würde jedoch die großflächige Bereitstellung von Strom aus erneuerbaren Energien in Europa zu einem für industrielle Nutzer angemessenen Preis voraussetzen. Die Rückgewinnung von niederwertiger Wärme kann durch interne Stromerzeugung oder Wärmeexport, z. B. an Fernwärmenetze, einen kleinen Beitrag leisten.
- Die erfolgreiche Umsetzung der CO₂-Abscheidung (und Speicherung oder Verwendung) erscheint wesentlich für die langfristige Reduktion von Raffinerieemissionen in der EU. Die gesamten Emissionseinsparungen bis 2050 würden sprunghaft von 50 Prozent ohne CCS auf 70 Prozent mit dem effektiven Einsatz von CCS-Projekten in der gesamten Branche ansteigen. Der Grad der CCS-Penetration und der damit verbundene Zeitrahmen bleiben ungewiss, da nicht klar ist, wie viele Standorte die Technik umsetzen können und über dauerhafte

¹³ Low Carbon Pathways CO₂ efficiency in the EU Refining System. 2030 / 2050 – Executive Summary (Interim report)

Lagerstätten verfügen. Zusammengefasst könnten die **potenziell eingesparten CO₂-Emissionen im Vergleich zum Referenzszenario 2030 im Jahr 2030 20 bis 30 Prozent betragen und bis 2050 auf 70 Prozent steigen.**

Die folgende Grafik zeigt die gesamten Emissionseinsparungen für die wichtigsten der ermittelten Lösungswege einschließlich Emissionen aus der Erzeugung importierten Stroms und (erneuerbaren) Wasserstoffs. Jede

ABBILDUNG 15: POTENZIELLE EINSPARUNGEN VON CO₂-EMISSIONEN IM EUROPÄISCHEN RAFFINERIESYSTEM



Quelle: Concawe 7/18 Bericht. Low Carbon Pathways CO₂ efficiency in the EU Refining System. 2030 / 2050. Zusammenfassung (Zwischenbericht)
 Notiz: Gemäß diesen Annahmen könnten die aufgeführten Technologien bis 2050 potenziell zu einer Senkung der CO₂-Emissionen um fast 80 Prozent gegenüber dem Niveau von 1990 beitragen.

Säule stellt das kumulative Potenzial einer bestimmten Kategorie für den Zeithorizont 2030 dar, wobei von einer zunehmenden Umsetzung bis 2050 ausgegangen wird.

dem wirksamen Einsatz von CO₂-armen Technologien und einer höheren Abnahme von Bio- und alternativen Rohstoffen durch Raffinerien abhängen.

Zur Zeit wird daran geforscht, wie die gesamten THG-Emissionen - sowohl in Anlagen als auch auf der Endverbraucher-Ebene - weiter gesenkt werden können. Dies wird von unterschiedlichen Nachfrageszenarien,

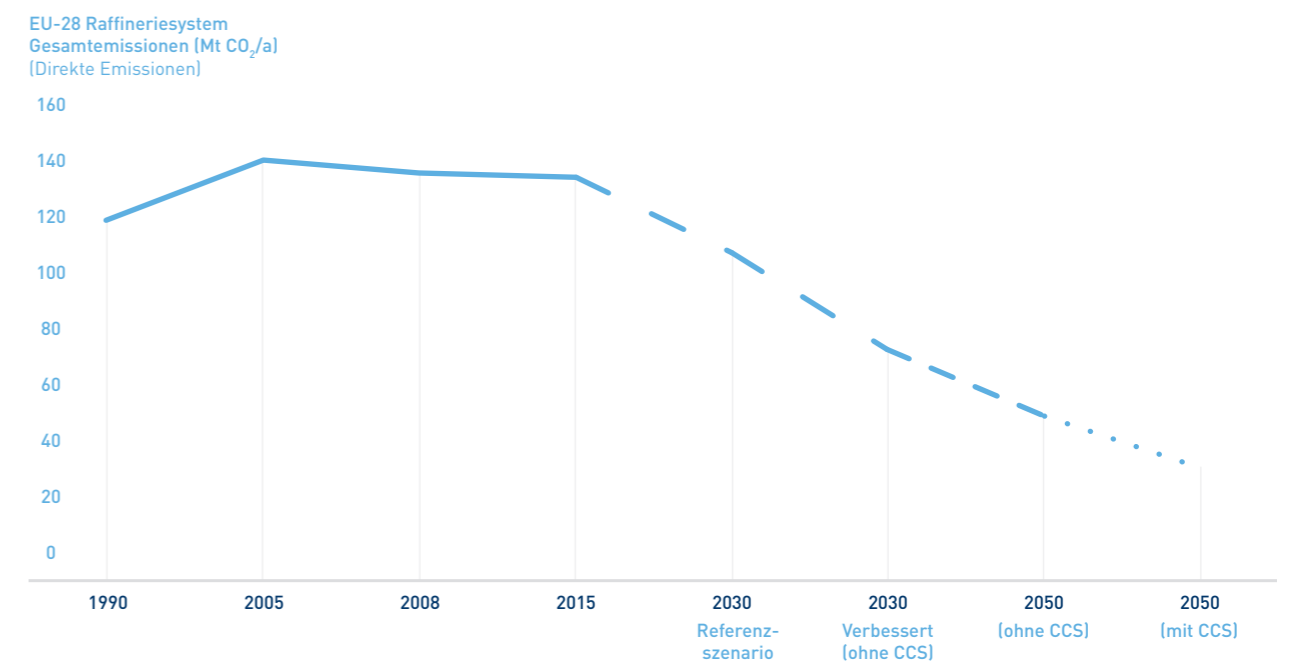
Die Verbesserung der CO₂-Effizienz von Raffinerien im großen Umfang bis 2030 oder 2050 wird weitere technische Entwicklungen erfordern. Bei einer Reihe der von Concawe ermittelten Gebiete kann die Raffinerieindustrie und ihre Technologieanbieter laufende Verbesserungen

und weitere Projekte liefern. Eventuell sind branchenübergreifende F&E-Programme nötig, um den Prozess zu beschleunigen.

Auch wenn die Kombination dieser Technologien einen möglichen Lösungsweg auf der Basis verschiedener Annahmen aufzeigt, ist dieser nicht als eine Roadmap für die europäische Raffinerieindustrie insgesamt gedacht. Faktoren wie die CO₂-Effizienz bestehender Anlagen gekoppelt mit lokalen und strukturellen Einschränkungen werden entscheidend dafür sein, wie viel einzelne Raffinerien zu einer Minderung des Klimawandels beitragen können.

Zusätzliche CO₂-Einsparungen (sogar negative Emissionen) wären möglich, wenn das Potenzial mit berücksichtigt wird, dass die Integration nicht-mineralölbasierter Raffinerierohstoffe bietet. Der größte Nutzen dieser Bio-Rohstoff-Technologien käme jedoch von der Endnutzung der Produkte und Kraftstoffe, die zu einer signifikanten Reduzierung der Well-to-Wheel CO₂-Intensität beitragen.

ABBILDUNG 16: EU-28 RAFFINERIESYSTEM – GESAMTEMISSIONEN (MT CO₂/A)



Quelle: Concawe, Low Carbon Pathways, April 2018.

Direkte Emissionen: in die Atmosphäre abgegebene Treibhausgase, die aus Quellen in einer Anlage stammen, d. h. Emissionen, die innerhalb der Systemgrenzen einer Raffinerie auftreten.

Elektrizität zusammen hängenden Emissionen zu ermitteln, muss der Stromverbrauch mit Hilfe eines Emissionsfaktors für Strom in Emissionen umgerechnet werden. Dieser Wert stellt die Emissionsintensität der Stromerzeugung dar. (Dies bezieht sich auf Emissionen, die außerhalb der Raffinerie, also upstream auftreten.)

Indirekte Emissionen: Emissionen, die mit der von der Branche verbrauchten Elektrizität in Zusammenhang stehen. Um die mit der Erzeugung der verbrauchten

3.2. Die umfassende Einführung CO₂-armer Kraftstoffe für leichte Kraftfahrzeuge (Pkw und Nutzfahrzeuge) - Szenarien

Ziel dieses Abschnitts ist es, die Frage zu beantworten: "Wie viel CO₂-Reduzierung kann bei leichten Kraftfahrzeugen durch den Einsatz von CO₂-armen Flüssigkraftstoffen erreicht werden? Und zu welchen Kosten?"

Die vorgestellten Ergebnisse wurden von Concawe auf der Grundlage mehrerer Drittstudien, aber vor allem basierend auf einer von Ricardo für Concawe durchgeführten Studie¹⁴ erarbeitet.

Die in der Ricardo-Studie verwendete Methodik zur Bewertung der THG-Emissionen im Verkehr betrachtet die **Lebenszyklusemissionen**, d. h. das während der Herstellung und Entsorgung des Fahrzeugs, der Produktion von Kraftstoffen oder Energie und der Verwendung von Kraftstoffen oder Energie im Fahrzeug emittierte CO₂. Wie in vorangegangenen Abschnitten dargelegt, ist solch ein ganzheitlicher Ansatz der geeignetste Weg eine schlüssige Analyse der Auswirkungen verschiedener Technologien auf das globale Klima zu liefern.

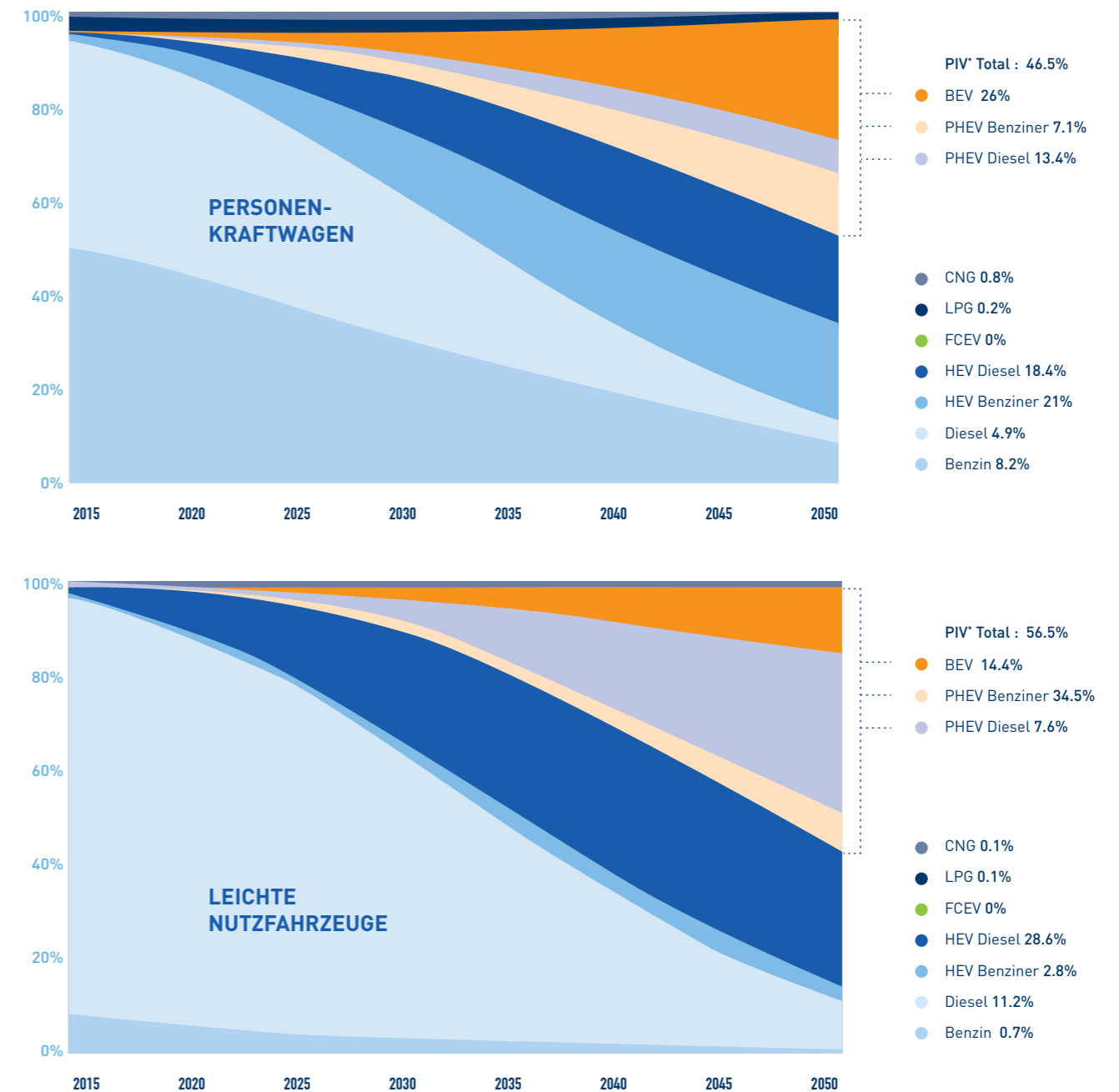
Die Studie geht von einer Weiterentwicklung der Pkw- und Nutzfahrzeug-Flotte in der EU von 2015 bis 2050 und einer gleichzeitigen Umstellung auf Kraftstoffe und Energie mit niedrigerer Energieintensität aus.

Das Szenario „CO₂-arme Kraftstoffe“:

- Der Anteil der **Benzin- und Dieselfahrzeuge** an den Neuwagenverkäufen wird von mehr als 80 Prozent im Jahr 2015 auf null im Jahr 2050 **zurückgehen**. Gleichzeitig steigen die Verkäufe von Hybrid-Elektrofahrzeugen sehr stark von etwa 5 Prozent im Jahr 2015 auf fast 40 Prozent bis 2050.
- Der Verkauf von **Plug-in-Fahrzeugen**, d. h. solche, die teilweise oder vollständig mit einer extern wiederaufladbaren Batterie angetrieben werden, nimmt am deutlichsten zu. Im Jahr 2050 erzielen diese mehr als 60 Prozent Marktanteil.
- Die **Fahrzeugflotte** besteht jedoch – infolge der Nutzungsdauer der vorhandenen Fahrzeuge – 2050 immer noch zu mehr als 50 Prozent aus Benzinern, Dieseln und Hybriden.
- Bei den **leichten Nutzfahrzeugen** zeichnet sich ein ähnlicher Trend ab wie bei den Pkw, wenn auch mit einer schnelleren Akzeptanz von Plug-ins.
- Dieses Szenario besteht aus einer **Kombination von konventionell und elektrisch angetriebenen Fahrzeugen**.

¹⁴ Hier den Verweis und Link zur Ricardo-Studie "Impact Analysis of Mass EV Adoption..." einfügen.

ABBILDUNG 17: FAHRZEUGFLOTTE



PHEV: Plug-in Hybrid Electric Vehicle

Quelle: Ricardo, Impact Analysis of Mass EV adoption and Low Carbon Intensity Fuels Scenarios, July 2018.

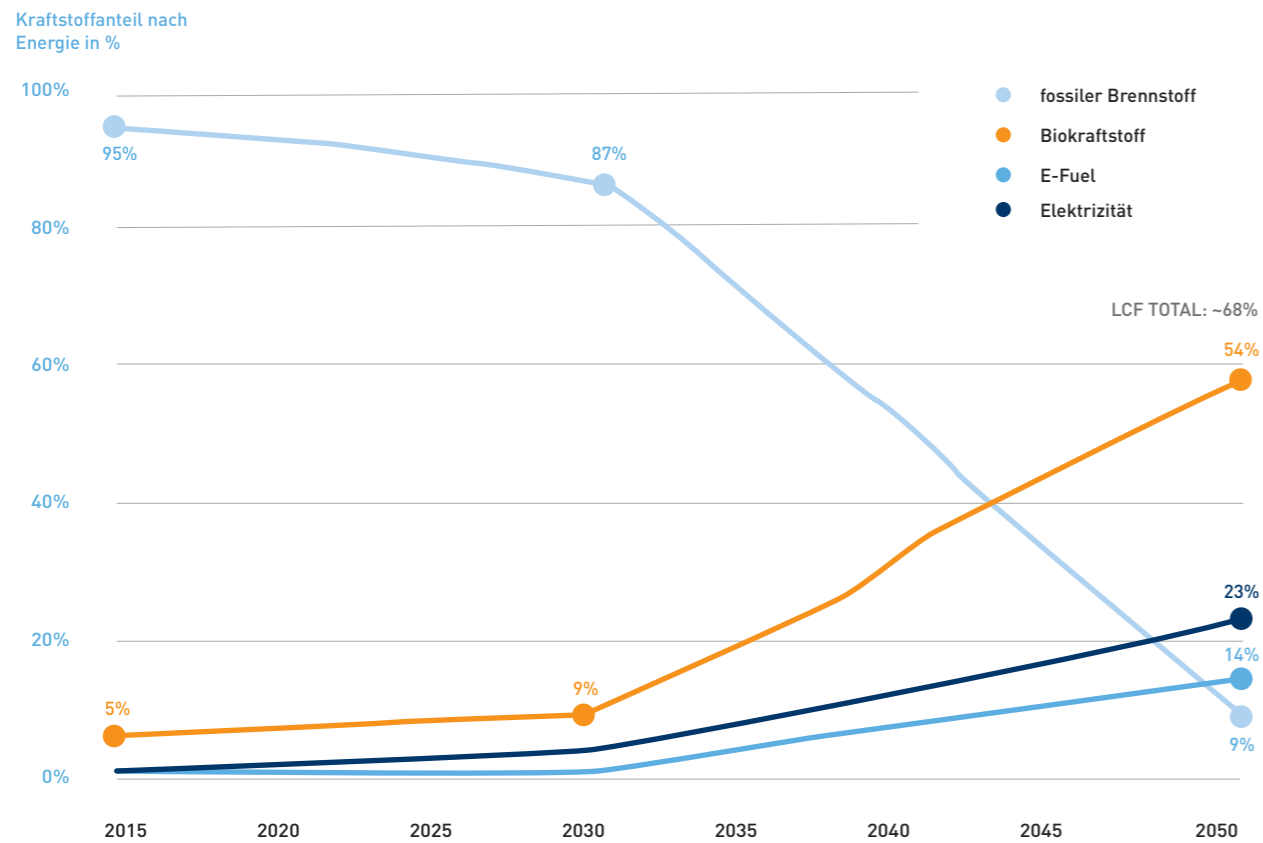
MIT WELCHER ENERGIE WIRD DIESE PKW- UND LIEFERFAHRZEUG-FLOTTE ANGETRIEBEN?

Das erste wichtige Ergebnis ist, dass **Flüssigkraftstoffe bei leichten Kraftfahrzeugen die mit Abstand wichtigste Energieform bleiben**, da die große Mehrheit der Fahrzeuge einen Verbrennungsmotor hat (entweder ausschließlich, Mild-Hybrid oder Plug-in-Hybrid). Tatsächlich nimmt der Anteil der Flüssigkraftstoffe von über 95 Prozent im Jahr 2015 auf ca. 87 Prozent 2030 und etwa 80 Prozent 2050 sehr langsam ab.

Was sich allerdings ändert, ist die **Zusammensetzung des Flüssigkraftstoffpools, der zunehmend CO₂-ärmer wird**. Beginnend mit 2030 gehen Produktion und Verbrauch fossiler Diesel- und Benzin-Kraftstoffe stark zurück und werden ersetzt. 2050 machen **Biokraftstoffe** mehr als 50 Prozent aus und **E-Fuels** (erneuerbare Power-to-Liquids) mehr als 15 Prozent.

Der **Strom-Anteil** steigt kontinuierlich in diesem Zeitraum, beginnend bei fast null im Jahr 2015 auf mehr als 20 Prozent bis 2050.

ABBILDUNG 18: KRAFTSTOFFANTEIL NACH ENERGIE



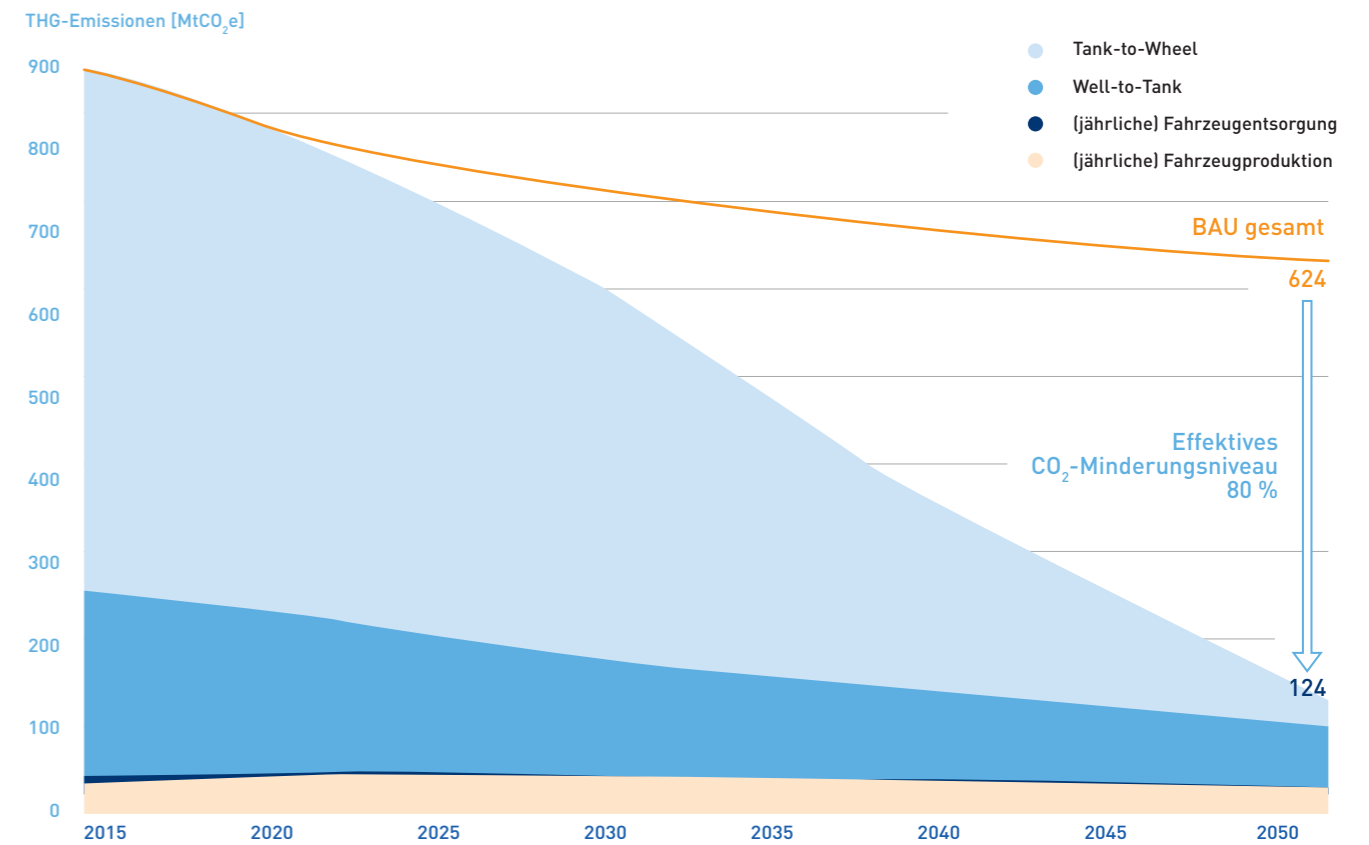
Quelle: Ricardo, Impact Analysis of Mass EV adoption and Low Carbon Intensity Fuels Scenarios, July 2018.

WIE VIEL CO₂-MINDERUNG WIRD MIT DEM SZENARIO „CO₂-ARME KRAFTSTOFFE“ ERREICHT?

Wie aus der nächsten Grafik ersichtlich, gehen die THG-Emissionen bei leichten Kraftfahrzeugen in der EU über den gesamten Lebenszyklus (d. h. Well-to-Wheel und im Fahrzeug verbaut) **bis 2050 auf weniger als 13 Prozent des Wertes von 2015 zurück**.

Ein weiteres Ergebnis ist ebenfalls hochsignifikant: Im Jahr 2050 betragen die Tank-to-Wheel THG-Einsparungen bei leichten Kraftfahrzeugen ca. 90 Prozent gegenüber dem Wert von 1990.

ABBILDUNG 19: LEBENSZYKLUS-THG-EMISSIONEN BEI LEICHTEN KRAFTFAHRZEUGEN IN DER EU



BAU = Business as Usual

Quelle: Ricardo Energy & Environment SULTAN modelling and analysis.

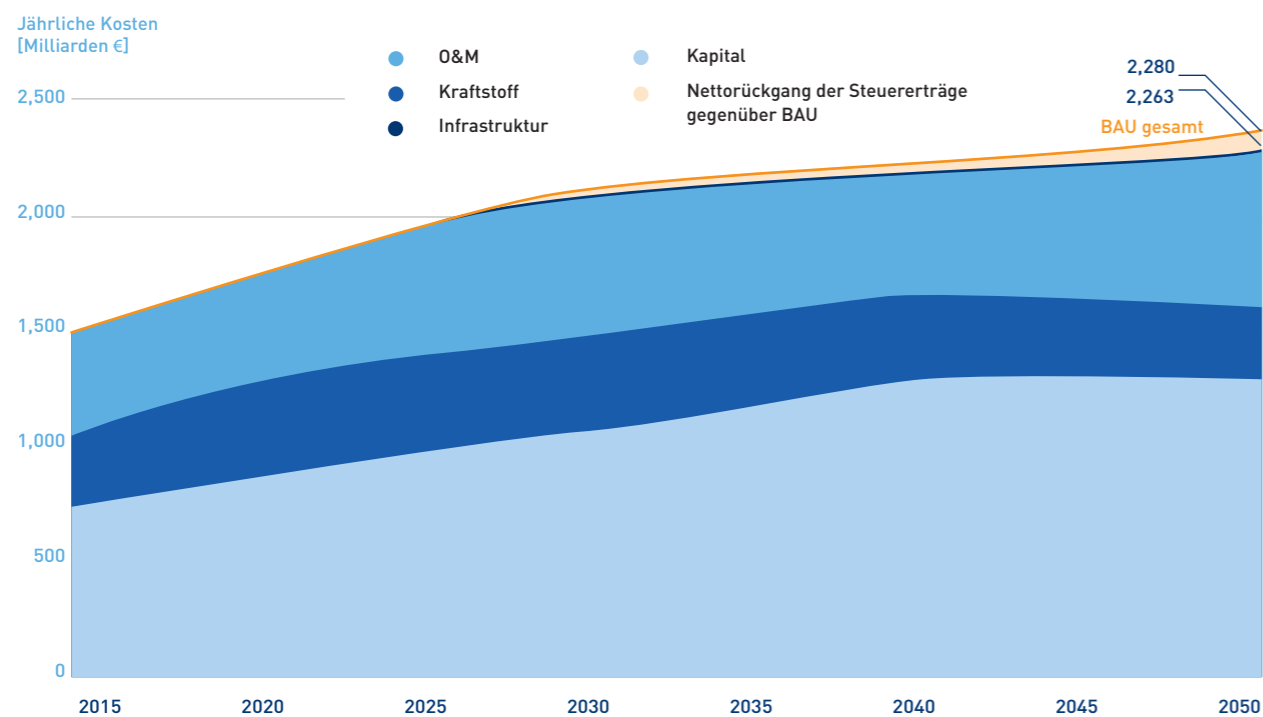
DIE NÄCHSTE WICHTIGE FRAGE ZIELT AUF DIE MIT DEM SZENARIO CO₂-ARME KRAFTSTOFFE VERBUNDENEN KOSTEN AB.

Aus Sicht des Endverbrauchers (siehe Kasten auf S. 11) sind die jährlichen Kosten für die gesamte Fahrzeugflotte sogar niedriger als beim Business-as-Usual-Szenario¹⁵. Der Trend in der nächsten Grafik zeigt, dass die Kosten bis 2030 im Wesentlichen gleich sind und dann zunehmend divergieren, bis sie 2263 Mrd. Euro im Szenario CO₂-arme Kraftstoffe 2050 und 2280 Mrd. beim Business-as-Usual-Szenario 2050 erreichen.

Die Senkung der Emissionen (in Euro pro Tonne reduzierten CO₂) im Szenario CO₂-arme Flüssigkraftstoffe verursacht daher negative Kosten. Das heißt, die kumulative Reduktion von THG-Emissionen im Szenario CO₂-arme Flüssigkraftstoffe beträgt etwa 4.500 Megatonnen (Mt) CO₂ im Vergleich zu Business as Usual mit niedrigeren Gesamtkosten für den Endverbraucher.

¹⁵ Das Business-as-Usual- oder BAU-Szenario repräsentiert den Standardzustand, wenn Richtlinien und Gesetze nicht geändert werden gegenüber dem, was bereits gilt oder heute kurz vor der Umsetzung steht.

ABBILDUNG 20: MIT THG-REDUKTION VERBUNDENE KOSTEN



Quelle: Ricardo Energy & Environment SULTAN modelling and analysis.

Die Ricardo-Studie vergleicht außerdem die Ergebnisse des Szenarios CO₂-arme Flüssigkraftstoffe mit dem Szenario hoher Anteil Elektrofahrzeuge, das davon ausgeht, dass die zugelassenen leichten Kraftfahrzeuge bis 2040 zu 100 Prozent batteriebetriebene Elektrofahrzeuge sind und die Fahrzeugflotte 2050 zu etwa 90 Prozent aus BEV besteht.

Die wesentlichen Ergebnisse dieses Vergleichs sind:

- Die THG-Lebenszyklusemissionen der gesamten Fahrzeugflotte gehen in beiden Szenarien in etwa derselben Weise zurück, wobei das Szenario CO₂-arme Flüssigkraftstoffe leicht vorn liegt: im Jahr 2050 ein Ausstoß von 124 Mt CO₂ gegenüber 135 Mt CO₂ sowie etwa 270 Mt CO₂ insgesamt weniger im Zeitraum 2015-2050.
- Die jährlichen Kosten für Endnutzer für die gesamte Fahrzeugflotte liegen beim Szenario hoher Anteil Elektrofahrzeuge bis 2035 etwas höher, sinken dann aber unter den Wert des Szenarios CO₂-arme Flüssigkraftstoffe (70 Mrd. €/a im Jahr 2050, d. h. um 3 Prozent niedriger). Wenn jedoch die Folgen des Nettorückgangs der Steuererträge unberücksichtigt bleiben (bis zu 66 Mrd. €/a weniger beim Szenario hoher Anteil Elektrofahrzeuge), sind die Kosten für den Endnutzer bei beiden Szenarien in etwa gleich.

- Externe Effekte spielen im Vergleich ebenfalls eine wichtige Rolle. Ricardo definiert externe Effekte als die gesellschaftlichen Kosten, die mit der Emission von THG, Stickoxiden (NO_x), Schwefeloxiden (SO_x) und Feinstaub einhergehen. Im Jahr 2050 betragen die Kosten für externe Effekte im Business-as-Usual Szenario fast 130 Mrd. €/a und werden sowohl im Szenario CO₂-arme Flüssigkraftstoffe (unter 30 Mrd. €/a) als auch im Szenario hoher Anteil Elektrofahrzeuge (leicht über 20 Mrd. €/a) ganz erheblich reduziert.
- Eine weitere wichtige Erwägung sind die gesellschaftlichen Kosten, die als Endnutzer-Kosten minus Steuereinnahmen plus externe Effekte definiert werden. Bis ca. 2040 liegen die Kosten für externe Effekte im Szenario hoher Anteil Elektrofahrzeuge höher als beim Szenario CO₂-arme Flüssigkraftstoffe. In den letzten 10 Jahren des untersuchten Zeitraums kehrt sich das Verhältnis jedoch um, und 2050 betragen die gesellschaftlichen Kosten im Szenario hoher Anteil Elektrofahrzeuge 33 Mrd. €/a, d. h. 3 Prozent weniger als beim Szenario CO₂-arme Flüssigkraftstoffe.

3.3. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die wichtigste **Schlussfolgerung**, die sich aus den Ergebnissen der Ricardo-Studie ziehen lässt, ist eindeutig und kann gängige Positionen hinsichtlich des zukünftigen Emissionssenkungspotenzials des Sektors leichte Kraftfahrzeuge in Frage stellen:

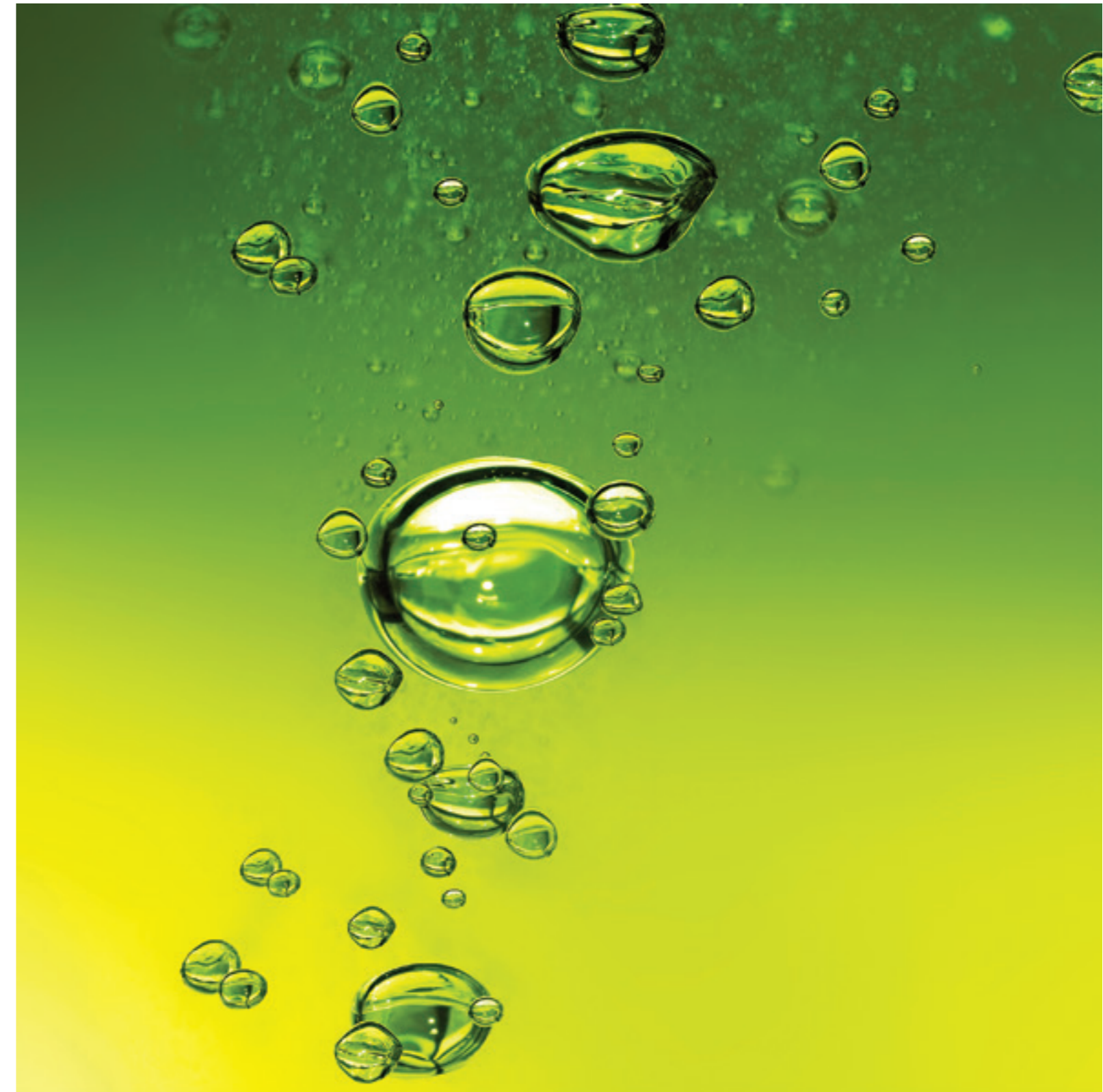
Der Einsatz von CO₂-armen Flüssigkraftstoffen (z. B. nachhaltige Biokraftstoffe, E-Fuels und Power-to-Liquids) in Kombination mit der teilweisen Elektrifizierung der Fahrzeugflotte und weiteren Steigerung der Energieeffizienz von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor reduziert die THG-Lebenszyklusemissionen von leichten Kraftfahrzeugen genauso wirksam und effizient wie die vollständige Elektrifizierung der Fahrzeugflotte.

Die folgenden Punkte sind besonders auffallend:

- a. Beide Szenarien **reduzieren die THG-Lebenszyklusemissionen** auf weniger als 13 Prozent des Wertes von 2015.
- b. Das **Szenario CO₂-arme Flüssigkraftstoffe** erzielt eine **marginal höhere Reduktion der Lebenszyklusemissionen** als das **Szenario hoher Anteil Elektrofahrzeuge**. Bei Tank-to-Wheel senkt das **Szenario CO₂-arme Flüssigkraftstoffe** die Emissionen von leichten Kraftfahrzeugen bis 2050 um 90 Prozent gegenüber dem Wert von 1990.
- c. Was die **Kosten für den Endnutzer** und die **gesellschaftlichen Kosten** (einschließlich externer Effekte) angeht, kommen die beiden Szenarien praktisch zum **gleichen Ergebnis**.

Einige andere Ergebnisse der Ricardo-Studie sollten eine Berücksichtigung in den Hauptschlussfolgerungen finden. Im Einzelnen sind das:

- Die **Kosten für die Lade-Infrastruktur** im Szenario hoher Anteil Elektrofahrzeuge sind **substanziell** (insgesamt **630 Mrd. Euro** bis 2050). Dies trägt dazu bei, dass die beiden untersuchten Szenarien im Hinblick auf Kosten für den Endnutzer und die Gesellschaft vergleichbar sind.
- Das Szenario hoher Anteil Elektrofahrzeuge beinhaltet **potenzielle Risiken**. Eines ist die **Versorgungssicherheit** bei entscheidenden Ressourcen für die **Batterieherstellung**. Ein weiteres ist die benötigte **höhere Batterieproduktionsrate**, um eine vollständige Umstellung auf batterieelektrische Fahrzeuge bis 2040 zu erreichen.
- Der **beträchtliche Nettorückgang der Steuererträge** (bis zu **66 Mrd. €/a**) beim Szenario hoher Anteil Elektrofahrzeuge würde mit Sicherheit Veränderungen im Steuersystem erfordern.
- Schnelle Fortschritte bei Technologien und ihren Kosten führen zu weiteren **erheblichen Unsicherheiten**:
 1. die zukünftige Weiterentwicklung und Kosten von **Batterietechnologie** und **Verbrennungsmotoren**
 2. die **erforderliche Infrastruktur** für eine vollständige Umstellung auf batteriebetriebene Elektrofahrzeuge
 3. die **CO₂-Effizienz und Kosten** CO₂-armer Flüssigkraftstoffe
 4. die Entwicklung der **CO₂-Bilanz und der Kosten für Elektrizität in der EU**
 5. die Verfügbarkeit fortschrittlicher **Biokraftstoffe und E-Fuels**
 6. **Verbraucherpräferenzen** (siehe Seite 11)
 7. die Auswirkungen des autonomen Fahrens und Car-Sharings, die nicht berücksichtigt wurden



4.

ERFORDERLICHE POLITISCHE UND REGULATORISCHE VERÄNDERUNGEN ZUR UMSETZUNG DIESER VISION

4.1. Eine wirtschaftliche Chance für die EU und die Rolle der Politik

Wie in den vorangegangenen Abschnitten beschrieben, verfügen die Produktion CO₂-armer Flüssigkraftstoffe und Produkte sowie die Systeme, in denen sie zur Anwendung kommen, über ein riesiges Potenzial, zum EU-Ziel einer THG-armen Wirtschaft beizutragen. Dies stellt eine große wirtschaftliche Chance für die EU dar, ihre globale Führungsrolle im Klimaschutz weiter auszubauen.

Dabei können auch das in der EU vorhandene technische Wissen, die flexible Infrastruktur und qualifizierten Arbeitskräfte wirksam eingesetzt und eine moderne industrielle Wertschöpfungskette geschaffen werden, die zuverlässig Produkte liefert und gleichzeitig ihre Klimaziele verfolgt. Die erdölverarbeitende und -vertreibende Industrie ist in der Lage, **ihr riesiges F&E-Potenzial und ihre finanziellen Ressourcen einzusetzen**, um die für die Energiewende benötigten CO₂-armen Produkte und Geschäftsmodelle zu entwickeln. Sie kann sie außerdem in enger Zusammenarbeit mit den meisten daran beteiligten Branchen auf den Markt bringen.

Zeitgleich wird ein passender regulatorischer Rahmen benötigt, um sicherzustellen, dass diese Branche weiterhin im Wettbewerb mit Raffinerien außerhalb der EU bestehen kann. **Politische Entscheidungsträger auf EU- und nationaler Ebene spielen dabei eine ausschlaggebende Rolle.** Sie müssen den richtigen regulatorischen Rahmen schaffen, um Investitionen sowie die Entwicklung und Umsetzung innovativer Technologien zu fördern und möglich zu machen.

Es wird unbedingt eine EU-Industriepolitik gebraucht, die Bedingungen für europäische Raffinerien schafft, unter denen sie sich weiterentwickeln und modernisieren können, so dass die für die zukünftige Industrielandschaft benötigte technische Entwicklung sichergestellt ist.

4.2. Revolutionäre Technologien und politische Unterstützung

Es gibt viele Beispiele für die erfolgreiche Einführung revolutionärer Technologien. Dazu gehören der Ersatz von Petroleumlampen bei der Haus- und Straßenbeleuchtung durch elektrisches Licht sowie der Ersatz von Pferdefuhrwerken durch Verbrennungsmotoren im Verkehr. Computer, Mobiltelefonie, Digitalfotografie, Robotik und das Internet sind weitere Beispiele. Sie alle haben etwas gemeinsam: Ihre schnelle, exponentiell zunehmende Verbreitung war ihrer **Überlegenheit beim Verbrauchernutzen** geschuldet und nicht das Ergebnis regulatorischer Vorgaben oder politischer Unterstützung für bestimmte ausgewählte Technologien.

Ein zielgerichteter und marktorientierter Ansatz erlaubt im Allgemeinen das Entstehen neuer Technologien zu den geringsten gesellschaftlichen Kosten. In manchen Fällen ist jedoch eine zeitlich begrenzte Unterstützung gerechtfertigt, um Forschung, Entwicklung und erste Marktdurchdringung neuartiger Technologien zu fördern, die Themen von größter Wichtigkeit anpacken.

Wann immer zeitlich begrenzte Förderung gewährt wird, sollten politische Entscheidungsträger einheitliche Wettbewerbsbedingungen schaffen, damit sich alle **vielversprechenden Technologien, die den politischen Zielen potenziell gerecht werden**, entwickeln und miteinander konkurrieren können, wenn sie auf den Markt kommen. Politische Entscheidungsträger sollten davon Abstand nehmen, bestimmte Technologien auf der Grundlage willkürlicher Auswahlkriterien bevorzugt zu fördern. Während dies den ausgewählten Technologien zur Marktreife verhelfen vermag, behindert es gleichzeitig die Entwicklung von Alternativen. Es ist unklug, vielfältigen Lösungen eine Chance zu verweigern und ausgewählten neuen Technologien zu vertrauen, die ihren Mehrwert für den Verbraucher oder die Gesellschaft als Ganzes noch nicht unter Beweis gestellt haben.

4.3. Investitionsrendite und öffentliche Anerkennung von CO₂-armen Technologien

Eine wesentliche Anforderung an den regulatorischen Rahmen besteht darin, dass er Bedingungen für rentable Investitionen in solche neuen Technologien schafft, die zur Erreichung der EU-Zielvorgaben beitragen. Gleichzeitig sollten Bürger und Verbraucher auf faire, transparente und unparteiische Weise über die Vorzüge und Nachteile aller konkurrierender Technologien informiert werden. Zu diesem Zweck sollten Politiker und Regulierer auch bei der Information der Öffentlichkeit einheitliche Bedingungen garantieren. Dies wird einen umfassenden und ganzheitlichen Ansatz ermöglichen, so dass die Verbraucher informierte Entscheidungen unter Berücksichtigung aller Konsequenzen fällen können.

4.4. Die Grundsätze eines investitionsfreundlichen politischen Handlungsrahmens

Politische Rahmenbedingungen haben erhebliche Auswirkungen auf Investorenentscheidungen. Investoren müssen finanzielle Risiken mit der Aussicht auf eine Rendite in Einklang bringen. Im globalen Wirtschaftsumfeld werden Investitionsentscheidungen in verschiedenen Regionen durch Nachfragetrends, Handelschancen und andere Faktoren, wie Betriebskosten und Steuersysteme, beeinflusst. Eine weitere äußerst wichtige Einflussgröße ist das regulatorische Umfeld. Das gilt besonders für kapitalintensive Branchen, wie die Erdölraffination, die sich durch lange Investitionszyklen auszeichnen. Um Investoren anzulocken, sollten bestimmte politische Grundsätze eingehalten werden:

- Die politischen Rahmenbedingungen müssen langfristige Stabilität für die gesamte finanzielle Laufzeit eines Investitionsprojektes bieten. Das können 15 Jahre oder mehr sein.
- **Technologieneutralität sollte sichergestellt werden** durch
 - ein **Regelwerk**, das fairen Wettbewerb unter den Technologien zulassen und dafür sorgen muss, dass die Art und Weise, wie die Vorzüge der einzelnen miteinander konkurrierenden Technologien berücksichtigt werden, jegliche Voreingenommenheit ausschließt.
 - die **Förderung von F&E und früher Markteinführung** innerhalb festgelegter Zeit- und Finanzrahmen. Damit wird **einer großen Bandbreite vielversprechender No-Regret-Technologien** ermöglicht, Fortschritte auf der Lernkurve zu machen.
 - korrekte, transparente und unparteiische Information der Öffentlichkeit über die Vorzüge jeder Technologie.
- Die Maßnahmen müssen in der gesamten EU, wenn nicht gar weltweit, einheitlich sein, um den **Binnenmarkt** zu schützen.
- **Alternative Compliance-Mechanismen** sind nötig, um unverhältnismäßige Konsequenzen für die verpflichteten Kreise zu verhindern.
- Die Zielvorgaben sollten ein Gleichgewicht von **umweltpolitischen, gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Zielen** beinhalten.
- Wenn Politik und Regulierung europäische Industriebranchen im Vergleich zu Wettbewerbern außerhalb der EU **benachteiligen**, sollten angemessene Schutzmaßnahmen ergriffen werden, um die Abwanderung von Unternehmen aus der EU zu verhindern (Verhinderung von „Carbon Leakage“).

4.5. Der gegenwärtige energie- und klimapolitische Rahmen und seine Defizite

Der heutige energie- und klimapolitische Ansatz ist branchenbasiert, in vielen Fällen vorgabenorientiert, nicht immer technologieneutral, und es mangelt an langfristiger Berechenbarkeit. Infolgedessen werden im Klimaschutz nicht immer die kosteneffizientesten Lösungen verfolgt, und in vielversprechende neue Technologien wird nur investiert, wenn politische Entscheidungsträger sie für förderungswürdig halten.

Der geltende **branchenbezogene Ansatz** führt dazu, dass ein Problem, das alle betrifft, durch Anwendung unterschiedlicher Vorschriften auf verschiedene Branchen behandelt wird. Die Senkung der THG-Emissionen wird durch die folgenden Regelungen vorangetrieben:

- im Strom- und industriellen Sektor vor allem durch ein Emissionshandelssystem (Emissions Trading System, ETS)
- bei Fahrzeugen in erster Linie durch CO₂-Emissionsgrenzwerte
- bei Kraftstoffen indirekt über die Erneuerbare-Energien-Richtlinie (RED), direkt über die Kraftstoffqualitätsrichtlinie Art. 7a sowie über andere Gesetzesvorschriften wie die Energieeffizienzrichtlinie (EED). Darüber hinaus wird die Wahl von Kraftstoff und Technologie stark durch die Besteuerung beeinflusst.

Die Fahrzeug- und Kraftstoffrichtlinien haben auch Auswirkungen auf die Vereinbarung über die Lastenverteilung für Nicht-ETS-Sektoren.

Das Fehlen eines ganzheitlichen Ansatzes macht es zwar einfacher, die einzelnen Vorschriften um- und durchzusetzen, insbesondere da die Verpflichteten klar genannt sind. Die Folge können jedoch suboptimale Lösungen für ein generelles Problem sein. Bei THG-Emissionen zum Beispiel variieren die Kosten für die Minderung einer Tonne CO₂ stark nach Branchen. In einem Sektor können teure Technologien gefördert werden, um eine Senkung der THG-Emissionen zu erreichen, die andere Technologien in einem anderen Sektor wirtschaftlicher erzielen könnten.

Bestimmte **Technologievorgaben** finden sich, unter Nichtbeachtung des Technologieneutralitätsprinzips, implizit in den CO₂-Emissionsstandards für Fahrzeuge. Während ein Ziel in der Theorie mit verschiedenen Technologien erreicht werden kann, bevorzugt die Einführung eines Tank-to-Wheel-Ansatzes der EU Technologien mit niedrigen oder null CO₂-Emissionen in der Fahrphase. Er ignoriert THG-Emissionen, die mit der Kraftstoffproduktion und Erzeugung anderer Energien in Zusammenhang stehen, die im Fahrzeug verwendet und während seiner Herstellung und Entsorgung emittiert werden. Er lässt auch die Herkunft des CO₂ unberücksichtigt, das, wie im Fall der Biokraftstoffe, aus einer erneuerbaren Quelle stammen kann.

Genau genommen besteht für Fahrzeughersteller bei der Einhaltung der CO₂-Emissionsgrenzwerte ein großer Anreiz, sogenannte „emissionsarme und Null-Emissions-Fahrzeuge“ herzustellen und zu verkaufen und ihre Investitionen auf die Entwicklung dazu passender Technologien zu konzentrieren. Der Nachteil ist, dass Investitionen in die Erforschung des riesigen Potenzials weiterer Effizienzverbesserungen bei konventionellen Fahrzeugen geringe Priorität haben oder vernachlässigt werden. Des Weiteren bietet diese Regelung Kraftstoffherstellern keinen Anreiz, in CO₂-arme Kraftstoffe zu investieren und sie zu entwickeln, da ihr Beitrag zur Emissionssenkung im Verkehrssektor nicht angerechnet wird.

Ein großes Defizit des gegenwärtigen regulatorischen Rahmens ist **das Fehlen einer Vergütung für Investitionen in innovative, CO₂-arme Technologien für Raffinerien und ihre Produkte**. Tatsächlich sind die ETS-Anreize zur CO₂-Einsparung unzureichend, um eine Rendite aus großen Investitionen in Raffinerien zu erwirtschaften. Dies hat zum Beispiel Auswirkungen auf Projekte zur Entwicklung von CO₂-Abscheidung und -Speicherung oder -Verwendung, die darauf abzielen, die mit der Herstellung von Ölprodukten verbundenen THG-Emissionen zu senken.

Im Falle der CO₂-armen Flüssigkraftstoffe belohnt nur die Erneuerbare-Energien-Richtlinie große Projekte für Power-to-Liquids oder fortschrittliche Biokraftstoffe, und die Berechenbarkeit der Vorschriften ist ungewiss. Aufgrund der Ausgestaltung der CO₂-Standards werden die Vorteile nicht anerkannt, die Fahrzeughersteller aus Fortschritten bei den Kraftstoffen ziehen.

Ein weiteres Problem ist die **Rechtssicherheit**. Wenn auf der Basis einer bestimmten politischen Maßnahme Investitionen erfolgen, können spätere Politikänderungen, die diese Maßnahme modifizieren, enorme Auswirkungen auf diese Investitionen haben. Als die Biodiesel- und Erneuerbare-Energien-Branche in mehreren EU-Ländern ihre regulatorische Förderung verlor, brach ihr Geschäftsmodell zusammen und sie reduzierte ihre Produktionsleistung erheblich.

Die Rechtssicherheit kann durch die Vermeidung von Überlappung und die Sicherstellung der Komplementarität von Rechtsinstrumenten verbessert werden. Zu diesem Zweck sollte die Europäische Kommission regelmäßig geeignete Folgenabschätzungen neuer Gesetze und der Überlappung bestehender Vorschriften durchführen.



ANHÄNGE

Konkrete Maßnahmenvorschläge

ANHANG 1: SENKUNG VON THG-EMISSIONEN IM VERKEHRSSSEKTOR GEMÄß EU-RECHT	s 60
ANHANG 2: RAFFINATION IN DER EU	s 66
A. Die Raffinerieindustrie: ein Beispiel für positive Weiterentwicklung in der Vergangenheit und ein Gewinn für die EU in der Gegenwart	s 66
B. Raffinerie/Steamcracker-Standorte in Europa	s 72
C. Emissionsquellen in einer Raffinerie	s 74
D. Flüssigkraftstoffe im PKW-Segment	s 76
E. Luftqualität in Städten	s 78
F. Fahrzeugbezogene Maßnahmen für die Flotte	s 79
ANHANG 3: BORDEIGENE CO₂-ARME TECHNOLOGIEN	s 80
A. Eigenschaften alternativer Kraftstoffe	s 81
B. Hochoktaniges Benzin	s 81
C. HVO	s 81
D. Bio-Tfuel-Projekt	s 83
E. Waste-to-Fuel	s 84
F. Abfälle zu Kraftstoffen und Rohstoffen	s 87
G. Algen	s 89
H. Methanolherstellung	s 90
I. Power-to-Liquids	s 91
J. Power-to-Liquids: SUNFIRE technology	s 91
k. Refhyne-Projekt	s 92
L. Bordeigene CO ₂ -Abscheidung	s 93
ANHANG 4: ANDERE CO₂-ARME TECHNOLOGIEN (RAFFINERIE-BEZOGEN)	s 96
A. Bio-Raffinerien	s 97
B. Fernwärme-Projekt (MiRO)	s 99
C. Großprojekt CCS-Wertschöpfungskette in Norwegen	s 99
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	s 102

ANHANG 1

Senkung von THG-Emissionen im Verkehrssektor gemäß EU-Recht

Spezielle Teile des Rechts der Europäischen Union erfordern eine Reduzierung von Treibhausgasemissionen (THG) im Verkehrssektor. Insbesondere zwei Rechtsvorschriften haben erhebliche Auswirkungen auf Kraftstoffe: die Kraftstoffqualitätsrichtlinie und die Erneuerbare-Energien-Richtlinie. Das Emissionshandelssystem (Emissions Trading System, ETS) spielt ebenfalls eine entscheidende Rolle im Rahmen der Emissionsminderung für die europäische Industrie, einschließlich der Raffination.

Die Kraftstoffqualitätsrichtlinie verlangt bis 2020 im Vergleich zum EU-Durchschnittsniveau der Lebenszyklus-Treibhausgasemissionen pro Energieeinheit aus fossilen Kraftstoffen im Jahr 2010 eine sechsprozentige Reduzierung der Treibhausgasintensität von Kraftstoffen, und sie reguliert die Nachhaltigkeit von Biokraftstoffen. Diese Richtlinie hat bereits eine erheblichen Senkung des Schwefelgehalts von Kraftstoffen bewirkt, was zum Einsatz von Fahrzeugtechnologien geführt hat, die die Emission von Treibhausgasen und Luftschadstoffen verringern und einen großen Nutzen für Gesundheit und Umwelt liefern. Die Treibhausgasintensität von Kraftstoffen

wird auf Lebenszyklusbasis errechnet. Das bedeutet, dass die Emissionen aus der Gewinnung, Verarbeitung und Verteilung von Kraftstoffen eingerechnet werden.

Gemäß der Erneuerbare-Energien-Richtlinie müssen alle EU-Staaten dafür sorgen, dass mindestens 10 Prozent ihrer Kraftstoffe bis 2020 aus erneuerbaren Quellen stammen. Der Text legt außerdem Nachhaltigkeitskriterien für alle Biokraftstoffe fest, die in der EU produziert oder verbraucht werden. Um als nachhaltig zu gelten, müssen Biokraftstoffe THG-Einsparungen von mindestens 35 Prozent im Vergleich zu fossilen Kraftstoffen erreichen. Diese Anforderung wurde 2017 auf 50 Prozent und 2018 auf 60 Prozent angehoben, jedoch nur für neue Produktionsanlagen. Bei der Berechnung der Treibhausgaseinsparungen werden alle Lebenszyklusemissionen berücksichtigt. Dazu gehören Emissionen aus dem Anbau, der Verarbeitung und dem Verkehr.

Im Jahr 2020 werden die unter dieses System fallenden Emissionen 21 Prozent geringer sein als 2005. Im Jahr 2030 wären sie gemäß der geänderten ETS-Richtlinie der Europäischen Kommission (2018/410) 43 Prozent niedriger.

ABBILDUNG 1: TREIBHAUSGAS-EMISSIONEN, ANALYSE NACH QUELL-SEKTOREN, EU-28, 1990 UND 2015

[Prozentanteil am Gesamtausstoß]

	1990	2015	Anteil 1990	Anteil 2015
Kraftstoffverbrennung und diffuse Emissionen aus Kraftstoffen (ohne Verkehrssektor)	3,554,774	2,454,082	62.2%	55.1%
Verkehr (inklusive internationalem Luftverkehr)	851,082	1,048,070	14.9%	23.6%
Industrieprozesse und stoffliche Verwendung	516,886	373,937	9.0%	8.4%
Landwirtschaft	548,270	436,784	9.6%	9.8%
Abfallwirtschaft	240,948	139,313	4.2%	3.1%
Gesamt (ohne LULUCF, aber inkl. internationalem Luftverkehr)	5,711,969	4,450,151	100%	100%

Quelle: EUROSTAT, 2017-GHG_statistics_tables_and_figures-update

Die Daten der Europäischen Umweltagentur (European Environment Agency, EEA) zu THG-Emissionen zeigen, dass die gesamten Emissionen aus der Kraftstoff-

verbrennung im Straßenverkehr in der EU-28 zwischen 2006 und 2015 zurück gegangen sind, während die Zahl der Fahrzeuge und gefahrenen Kilometer zunahm.

ABBILDUNG 2: GESAMTEMISSIONEN DEN EU-28 DURCH KRAFTSTOFFVERBRENNUNG IM VERKEHRSSSEKTOR

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
EU (28 Länder)	919,687.43	930,594.17	907,134.33	883,165.35	878,080.31	868,655.49	842,471.48

	2013	2014	2015
EU (28 Länder)	838,238.55	848,351.01	862,088.61

Einheit: Tausend Tonnen.
AIRPOL: THG (CO₂, N₂O in CO₂-Äquivalenten, CH₄ in CO₂-Äquivalenten, HFC in CO₂-Äquivalenten, PFC in CO₂-Äquivalenten, SF₆ in CO₂-Äquivalenten, NF₃ in CO₂-Äquivalenten).
AIREMSECT: Kraftstoffverbrennung im Straßenverkehr

Quelle: EEA und EU-Dienste.

ABBILDUNG 3: DURCHSCHNITTLICHE CO₂-EMISSIONEN PRO KILOMETER FÜR NEUE PERSONENKRAFTWAGEN

Unit: g CO₂ pro km

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
EU-28								123.4	119.5	118.1
EU-27	158.7	153.6	145.7	140.3	135.7	132.2	126.7			

Quelle: EEA und EU-Dienste.

Es kann ein deutlicher Anstieg der Zahl der Fahrzeuge pro 1000 Einwohner beobachtet werden¹. Hinzu kommt ein kleiner Zuwachs bei Lastwagen und Sattelzügen. Dies bedeutet eine ständige Zunahme der Zahl der Fahrzeuge auf den Straßen und sollte, wenn alles andere gleich bleibt, einen erheblichen Anstieg der Emissionen zur Folge haben.

Daten hervorgeht², jedoch stetig ab, was zeigt, dass die Anstrengungen der Automobil- und Kraftstoffbranche Erfolg haben.

¹ EUROSTAT-Publikation "Energy, transport and environment indicators" (2016).

² EUROSTAT EEA THG-Emissionen-Statistik (xls), EUROSTAT durchschnittliche THG-Emissionen pro km bei Personenkraftwagen, EUROSTAT EEA THG-Emissionen aus dem Straßen- und Inlandsluftverkehr

Die durchschnittlichen CO₂-Emissionen pro PKW-Neuwagenkilometer nehmen, wie aus EEA- und EU-



ANHANG 2

Raffination in der EU

A. Die Raffinerieindustrie: ein Beispiel für positive Weiterentwicklung in der Vergangenheit und ein Gewinn für die EU in der Gegenwart

Im Laufe des letzten Jahrhunderts hat die Raffineriebranche bewiesen, dass sie sich weiterentwickeln und besser werden, sowie zu besserer Luftqualität und einer Minderung des Klimawandels beitragen kann.

a) Qualitätsverbesserung:

Im Laufe der Zeit sind die Endanwendungen von Mineralölprodukten immer anspruchsvoller geworden, was striktere Vorgaben hinsichtlich Sicherheit, Leistungsfähigkeit und Schadstoffemissionen erforderte. Dies hat zu einem Anstieg der Entschwefelung von Rohöl in europäischen Raffinerien von insgesamt etwa 35 Prozent im Jahr

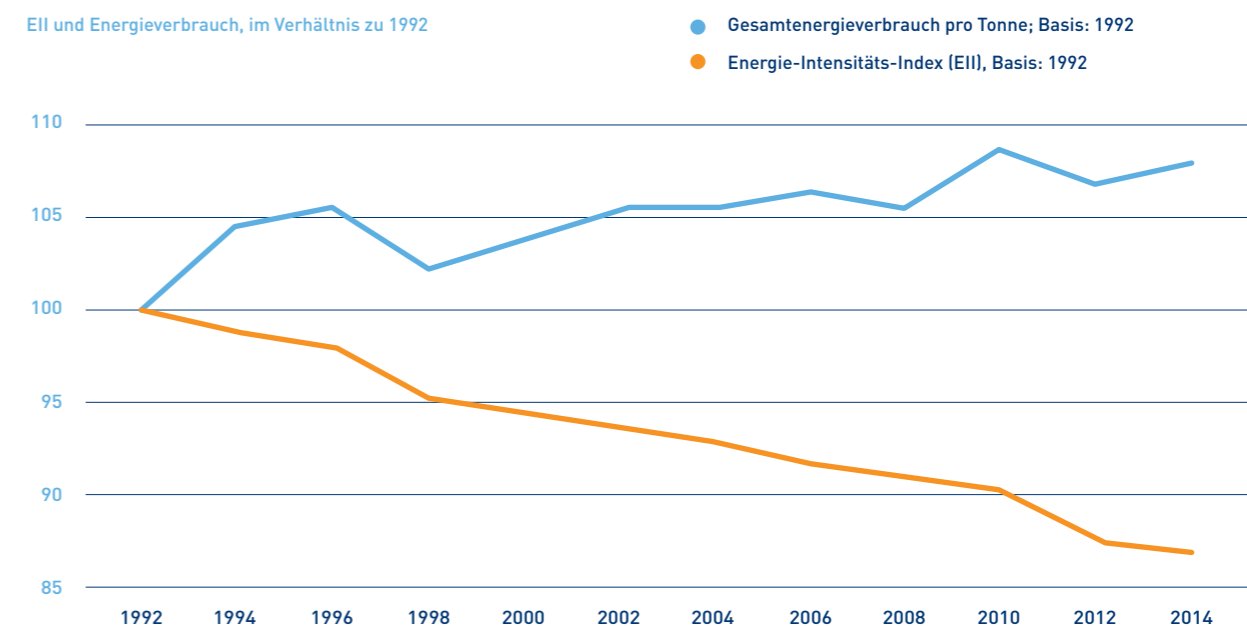
1992 auf mehr als 60 Prozent im Jahr 2010 geführt [Concawe 03/12].

b) Energieeffizienzverbesserung:

Einzelne europäische Raffinerien haben aufgrund veränderter Marktnachfrage und größerer Raffineriekomplexität (sowie einem etwas höheren Durchsatz) sukzessive mehr Energie verbraucht, um strengere Produktspezifikationen einzuhalten (insbesondere der niedrigere Schwefelgehalt).

Der Raffineriebetrieb ist jedoch leistungsfähiger geworden: Die Effizienz hat in den letzten 22 Jahren um mehr als 13 Prozent zugenommen. 2010 bedeutete dies eine jährliche durchschnittliche Einsparung gegenüber dem Leistungsgrad des Jahres 1992 von 60 ktoe (2,5 PJ) pro Raffinerie oder

ABBILDUNG 4: ENERGIEVERBRAUCH UND EFFIZIENZENTWICKLUNG DER EUROPÄISCHEN RAFFINERIEEN IM VERGLEICH ZU 1992



Quelle: Solomon Associates, berichtet in [Concawe 3/13].

mehr als 4 Mtoe (167 PJ) für alle europäischen Raffinerien zusammen. Diese jährliche Einsparung entspricht ungefähr dem gesamten durchschnittlichen Jahresenergieverbrauch von vier großen europäischen Raffinerien.

Der von der EU-Kommission durchgeführte Raffinerie-Fitnesscheck kam zu dem Schluss, dass der mineralölverarbeitende Sektor der EU einen beträchtlichen Anteil am von der Fertigungsindustrie geschaffenen Mehrwert hat, zur Beschäftigung beiträgt und einen erheblichen Umsatz erwirtschaftet

- Laut den von der Kommission zusammengetragenen Daten leistete der mineralölverarbeitende Sektor in der EU einen direkten Beitrag von ca. 1,2 Prozent zur Bruttowertschöpfung (Gross Value Added, GVA) in der Fertigung.
- Die Branche beschäftigt direkt etwa 119.000 Mitarbeiter und gibt jährlich ca. 6,3 Mrd. Euro für Löhne und Gehälter aus. Die Löhne machten 43,4 Prozent des gesamten Mehrwerts aus. Die verbleibenden 56,7 Prozent umfassten Kapitalverbrauch und andere Steuern abzüglich der Subventionen und Gewinne.

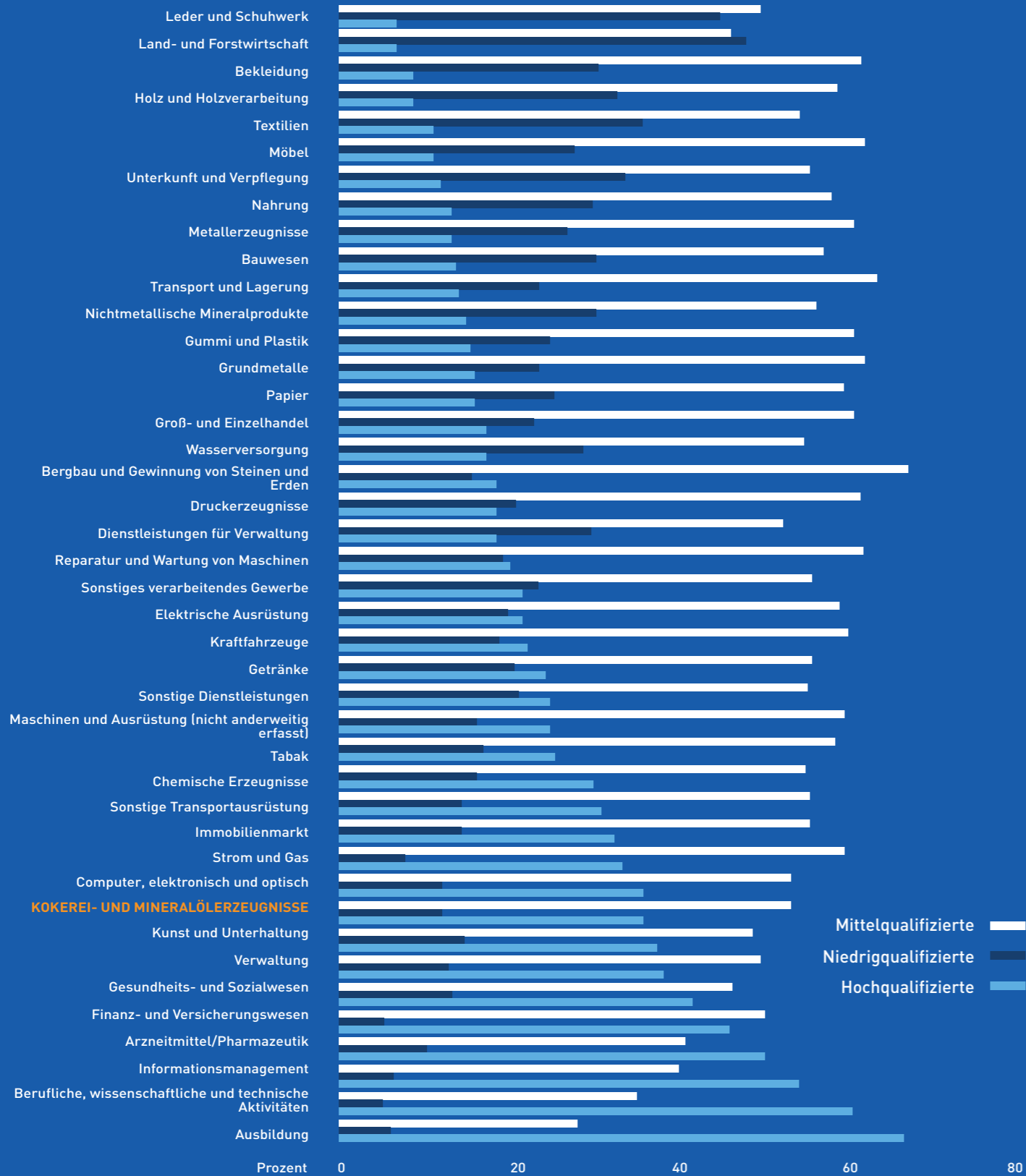
- Die europäische Raffinerieindustrie generiert einen Jahresgesamtumsatz von ca. 686 Mrd. Euro oder ca. 5,8 Mio. Euro pro Mitarbeiter.
- Die 82 Erdölraffinerien repräsentieren 55 Prozent der weltweiten Raffineriekapazität.

Raffinerieerzeugnisse auf Mineralölbasis sind ein wichtiges Element im Handel mit Ländern außerhalb der EU: Sie machen den Großteil der europäischen Energieexporte aus. 2013 exportierte Europa 96,6 Mio. Tonnen oder ca. 2 Mio. Barrel Raffinerieprodukte pro Tag, was zu Nettoimporten von 89,4 Mio. Tonnen führte (BP 2014).

Obwohl nicht greifbar und daher schwer quantitativ zu bestimmen, könnten mit der mineralölverarbeitenden Industrie auch wichtige positive externe Effekte verbunden sein, wie zum Beispiel Wissenstransfer aus Forschung und Innovation. Abbildung 2.2.1 zeigt den Produkt- und Prozessinnovationsgrad verschiedener Branchen in der EU. Der Sektor „Herstellung von Koks und raffinierten Mineralölerzeugnissen“ ist dabei einer der aktivsten im Bereich Produkt- und Prozessinnovation.

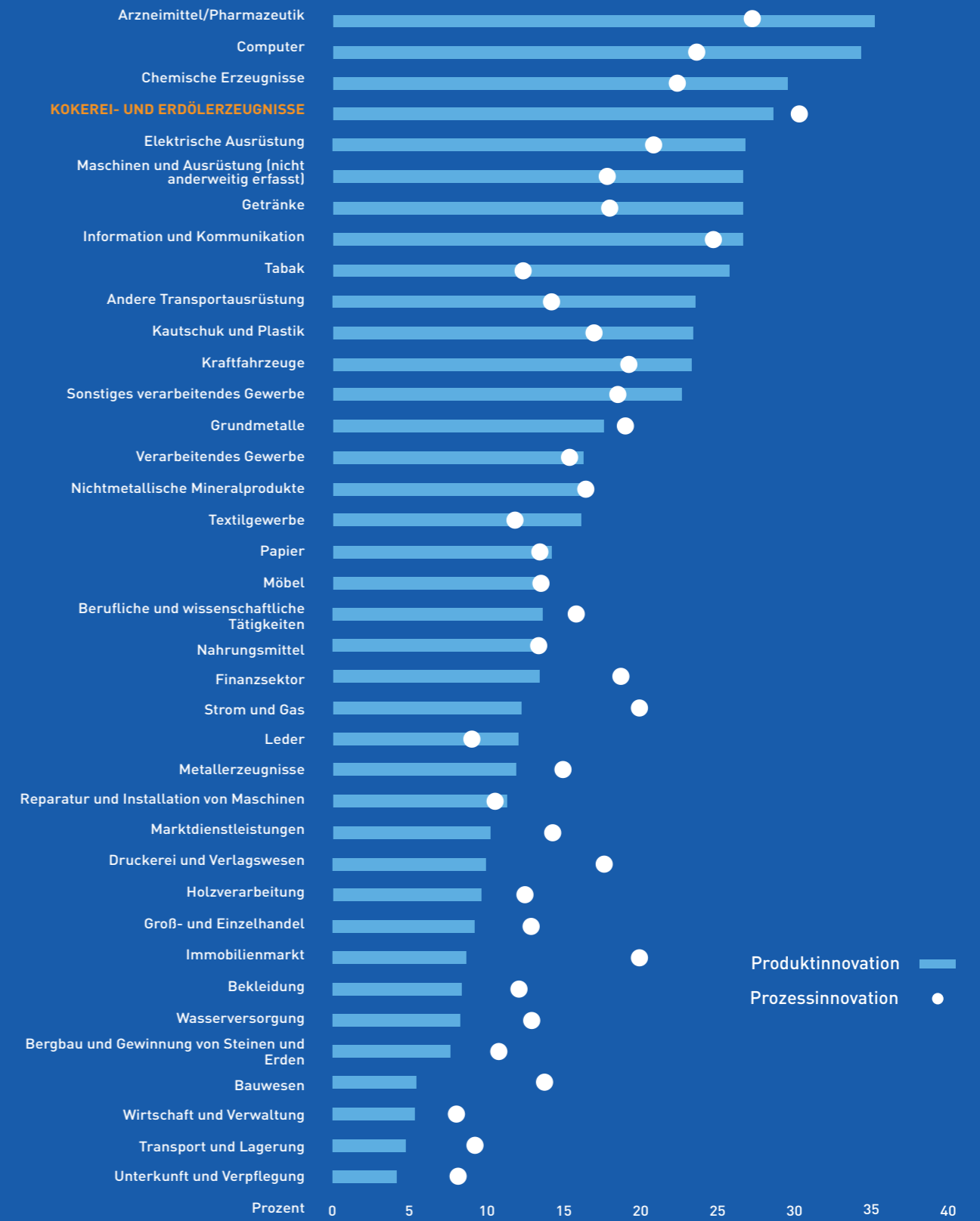


ABBILDUNG 5: PRODUKT- UND PROZESSINNOVATION IN DER EU LAUT COMMUNITY INNOVATION SURVEY 2010



Quelle: EU, 2013, Branchen hervorgehoben von IPTS.

ABBILDUNG 6: QUALIFIKATIONS- UND WISSENSINTENSITÄT
(in % der Gesamtbeschäftigung)



Quelle: EU, 2013, Branchen hervorgehoben von IPTS.

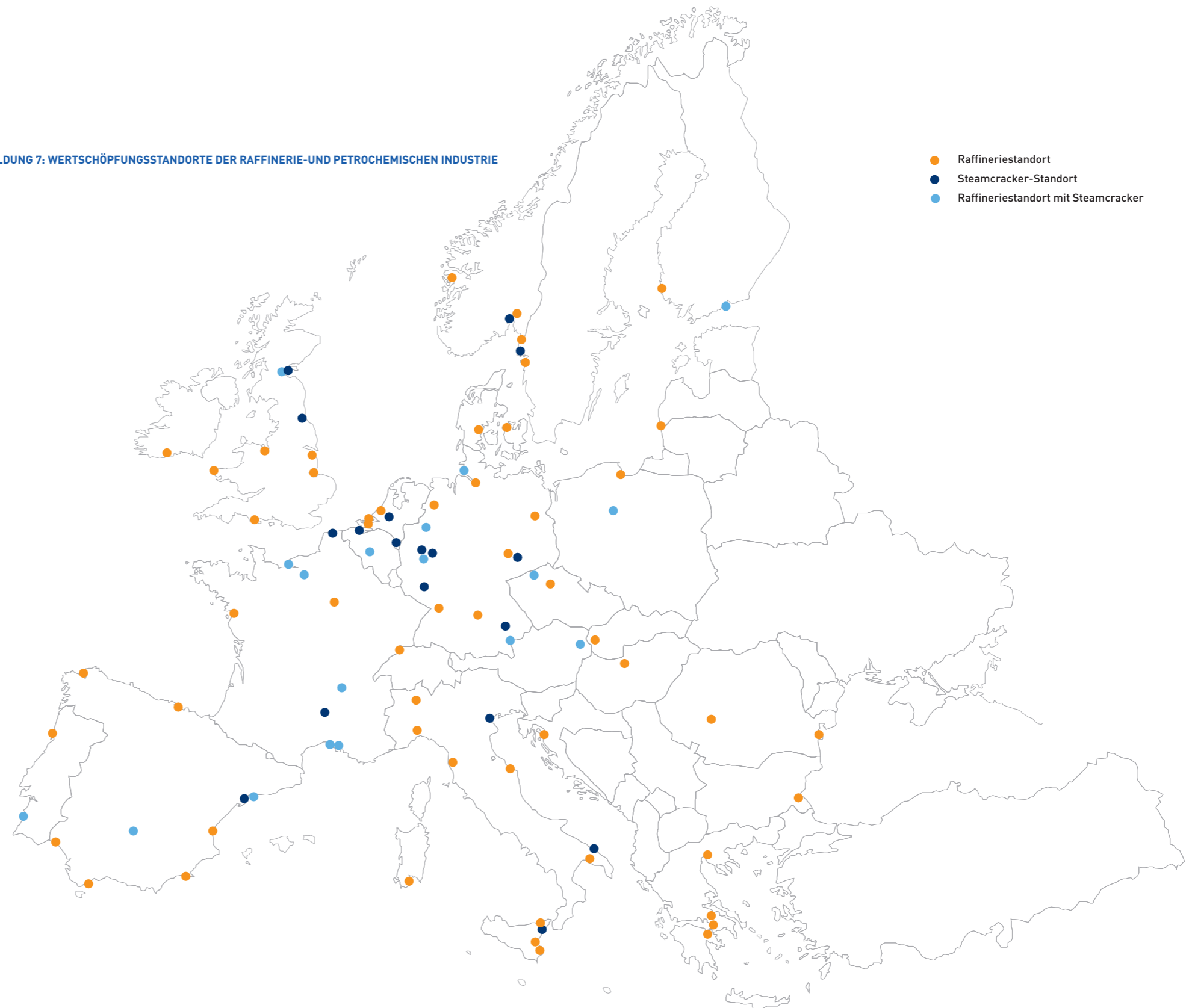
B. Raffinerie- und Steamcracker-Standorte in Europa

Kohlenwasserstoffe sind die wichtigsten Rohstoffe der chemischen Industrie für die Herstellung alltäglicher Produkte wie Kunststoffe, Kleidung und Pharmazeutika.

- 40 Millionen Tonnen Ethen-basierter Chemikalien werden jedes Jahr in der EU produziert³. Die Mehrheit der petrochemischen Rohstoffe (Naphtha) wird von der Raffinerieindustrie geliefert.
- Viele Chemie- und Raffineriestandorte sind integriert. So befinden sich von den 58 Steamcrackern (petrochemische Anlagen) in der EU 41 im Verbund mit Raffinerien, die im Schnitt weniger als zwei Kilometer entfernt liegen. Diese Nähe erleichtert eine effiziente gemeinsame Nutzung von Infrastruktur, den Austausch von Rohstoffen und Nebenprodukten unter den Anlagen sowie energieeffizienten Betrieb. Des Weiteren schafft die Integration dieser Industriestandorte Synergien, wie Produktpipeline-Ver-netzung, gemeinsam genutzte Häfen und Versorgungsleistungen.
- Die Symbiose der Branchen - Raffinations- und Chemieindustrie - stärkt die internationale Wettbewerbsfähigkeit dieser Cluster.

³ https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/20131127_2nd_meeting_cefic_competitiveness.pdf

ABBILDUNG 7: WERTSCHÖPFUNGSSTANDORTE DER RAFFINERIE-UND PETROCHEMISCHEN INDUSTRIE



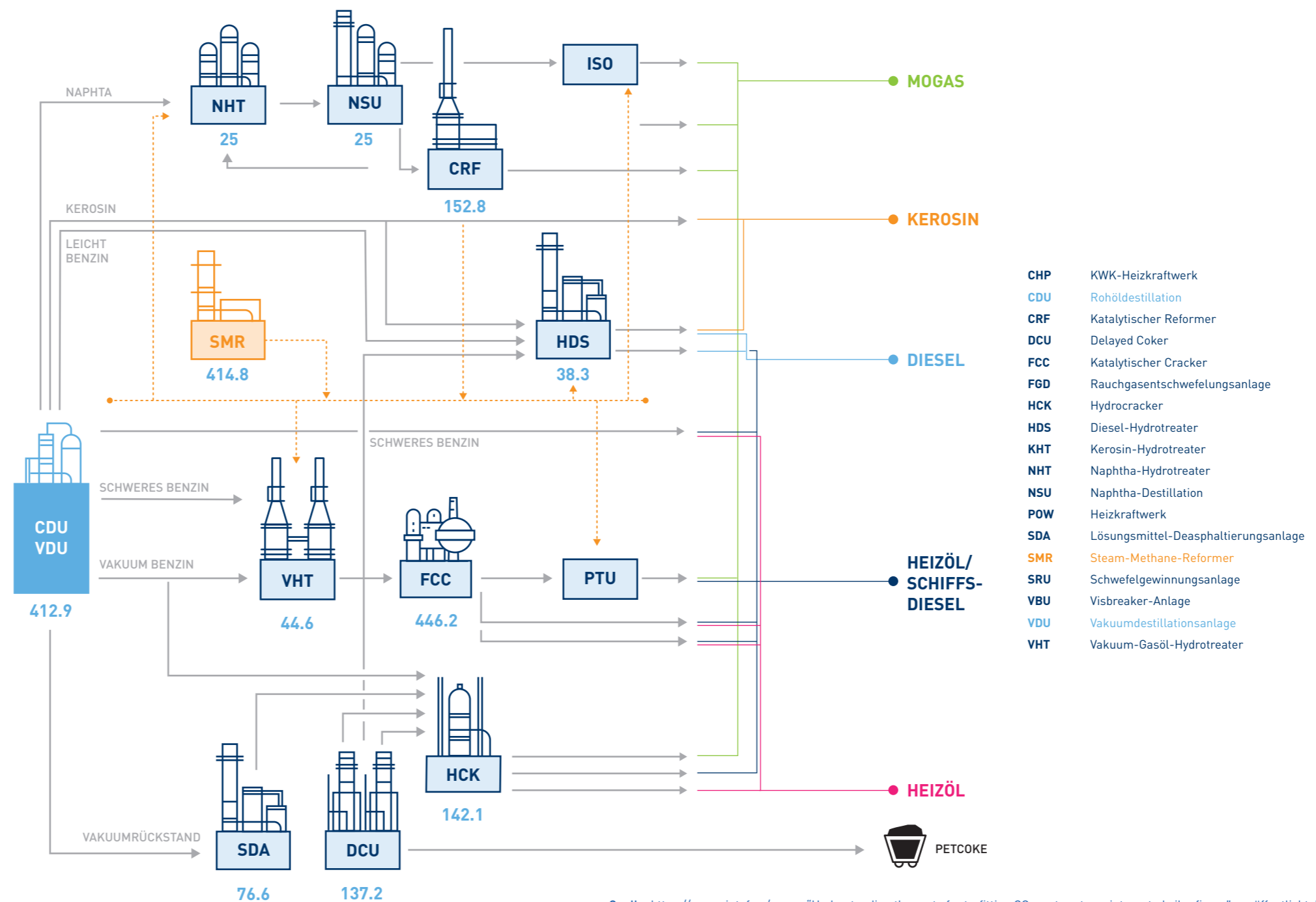
C. Emissionsquellen in einer Raffinerie

Eine Erdölraffinerie besteht aus verschiedenen komplexen miteinander verbundenen Prozessen, die eine ganze Bandbreite hochwertiger Mineralölprodukte herstellen. Obwohl jede Anlage einzigartig ist, sind sie alle energieintensiv (typischerweise 100 bis 200 kg CO₂/Tonne Rohöl).

Das hier dargestellte Beispiel⁴ einer typischen komplexen Raffinerie zeigt mehr als zehn Emissionsquellen, von denen fünf für 75 Prozent des gesamten ausgestoßenen CO₂ verantwortlich sind. Die CO₂-Konzentration schwankt zwischen 5 und 20 Prozent des Volumens.

⁴ Alle Details verfügbar unter <https://www.sintef.no/recap>, "Understanding the cost of retrofitting CO₂ capture to an integrated oil refinery", veröffentlicht im Juni 2017.

ABBILDUNG 8: VEREINFACHTES FLUSSDIAGRAMM EINER TYPISCHEN KOMPLEXEN RAFFINERIE
Emissionen in Kt/y



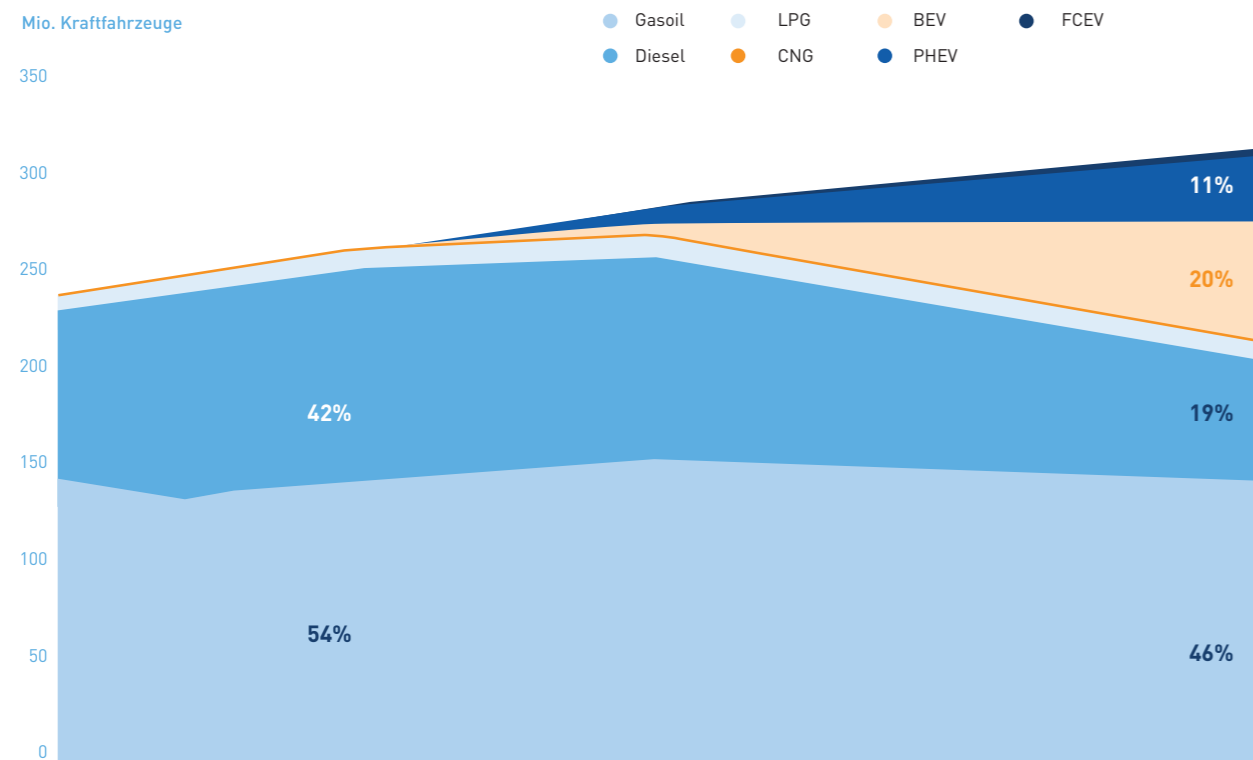
Quelle: <https://www.sintef.no/recap>, "Understanding the cost of retrofitting CO₂ capture to an integrated oil refinery", veröffentlicht Juni 2017.

D. Flüssigkraftstoffe im Pkw-Segment: langfristiger Ausblick

Die Vormachtstellung des Verbrennungsmotors in der vorhandenen Fahrzeugflotte und sein großer Anteil an den Neufahrzeugen bedeuten, dass flüssige Kohlenwasserstoffe bis 2050 für Personenkraftwagen benötigt werden. In den kommenden Jahrzehnten werden Effizienzsteigerungen beim Verbrennungsmotor, die einen niedrigeren Kraftstoffverbrauch und geringere CO₂-Emissionen zur Folge haben, ein wichtiger Beitrag zu den Entkarbonisierungszielen der EU für den Verkehrssektor sein.

Einige Analysten und Flottenmodellierungsexperten haben neue Baselines für die mögliche langfristige Zusammensetzung des PKW-Segments entwickelt, die eine fortschreitende Marktdurchdringung von alternativen Antrieben vermuten. Speziell EMISIA, ein Spin-off-Unternehmen der Aristoteles-Universität von Thessaloniki, hat kürzlich seine SIBYL-Baseline aktualisiert, die auf COPERT basiert, einem Software-Tool, das weltweit eingesetzt wird, um Emission von Luftschadstoffen und Treibhausgasen aus dem Straßenverkehr zu berechnen. SIBYL bildet die mögliche Weiterentwicklung der Flotte auf der Basis von Daten und Szenarien ab, die von der EU-Kommission und anderen Institutionen und Interessen-

ABBILDUNG 9: PROGNOSTIZIERTER FAHRZEUGBESTAND



Quelle: Emisia, Updated baseline included in SIBYL (a vehicle stock projection tool with internal energy consumption, emission and cost estimation capabilities).

vertretern, wie dem Beratenden Ausschuss für die Europäische Forschung im Bereich Straßenverkehr (European Road Transport Research Advisory Council ERTRAC), veröffentlicht werden. Dieses Modell sagt einen

weiter bestehenden Bedarf an Flüssigkraftstoffen voraus, da Verbrennungsmotoren, auch über 2030 hinaus, weiterhin die Hauptantriebstechnik bleiben werden.

FAHRZEUGBEZOGENE MASSNAHMEN FÜR DIE FLOTTE - BEISPIEL FÜR SCHWERLAST



Quelle: ACEA TML Reports, July 2014.

LUFTQUALITÄT IN STÄDTEN

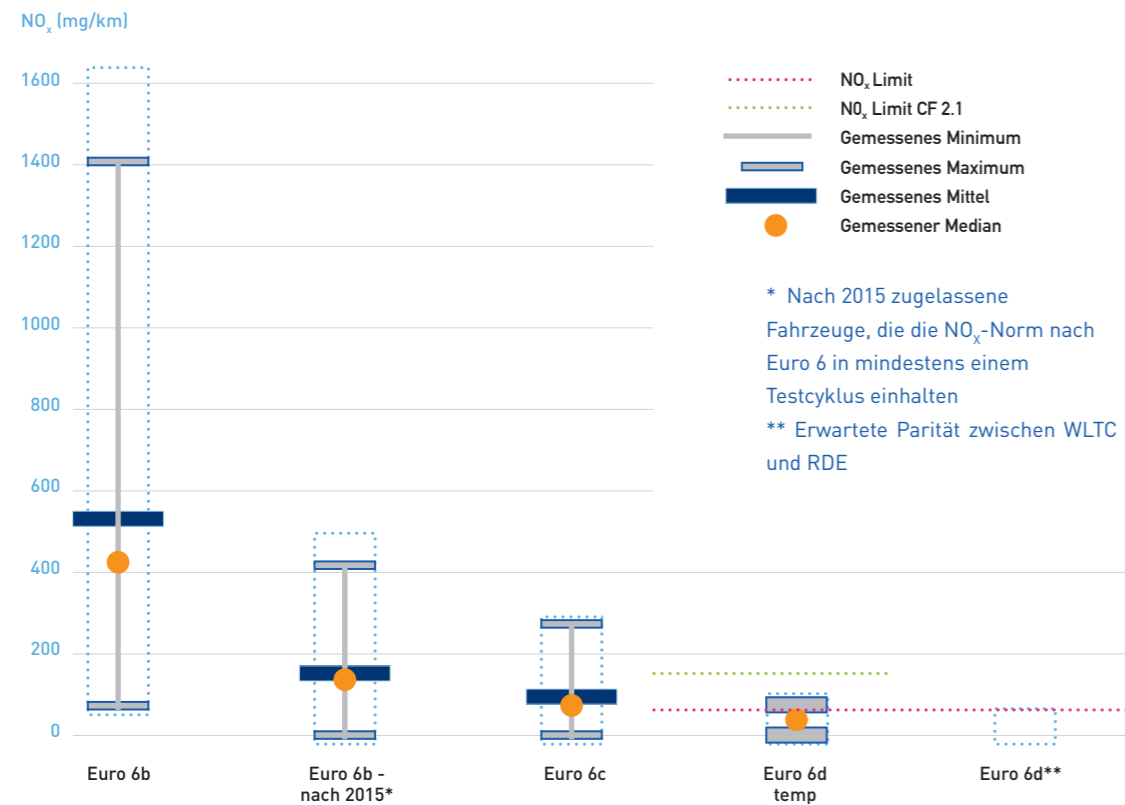
Im praktischen Fahrbetrieb (RDE) halten Dieselfahrzeuge mit neuester Technik die EU-Emissionsgrenzwerte für NO_x und Partikelmasse (PM) ein.

Eine von Ricardo durchgeführte Studie zeigt, dass unter „RDE-Bedingungen“ getestete Euro-6d-(TEMP)-Dieselfahrzeuge die EU-Emissionsgrenzwerte für NO_x und Partikelmasse einhalten*.

1. Erkenntnisse deuten darauf hin, dass die realistischen NO_x-Emissionen pro Dieselfahrzeug über die verschiedenen Stufen der Euro-6-Abgasnorm von Euro 6b bis Euro 6d erheblich gesenkt werden.
2. Es gibt Hinweise darauf, dass die für Euro 6d angewandten technischen Lösungen im praktischen Fahrbetrieb und unter „moderaten RDE-Bedingungen“ regulierte Konformitätsfaktoren erreichen werden.
3. Für die Verringerung von Diesel-NO_x in der Praxis ist eine spezielle und sorgfältige Konfiguration und Kalibrierung der Abgaskontrollsysteme nötig.
4. Diesel-PN-Daten für Euro-6c- und Euro-6d-Fahrzeuge aus der Praxis liegen im Rahmen der Euro-6-Konformitätsfaktor Grenzen.

* https://www.concawe.eu/wpcontent/uploads/2018/04/RD18-000697-2-CONCAWE_Expectations_for_Actual_Euro_6_Vehicle_Emissions.pdf.

GEMESSENE NO_x-EMISSIONEN BEI EURO 6 DIESEL PKW UNTER REALEN TESTBEDINGUNGEN



Quelle: Ricardo, Expectations for Actual Euro 6 Vehicle Emissions, April 2018.

Diesel-Fahrzeuge, die im praktischen Fahrbetrieb (RDE) konform sind, tragen erheblich zur Verbesserung der Luftqualität in Städten bei.

Eine von AERIS durchgeführte Studie modellierte die Auswirkungen der Emissionsgrenzwerte unter RDE-Bedingungen für Euro 6d TEMP und Euro 6d auf die Luftqualität in europäischen Städten**.

1. Auf der Basis der Ricardo-Schätzungen für Euro-6d-Emissionswerte unter RDE-Bedingungen wird die Einhaltung der Luftreinheitsvorschriften mit den gegenwärtigen Emissionsgrenzwerten größtenteils bis 2025/30 erreicht.
 - a) Was NO₂ angeht, werden 2020 geschätzt ca. 4 Prozent der Überwachungsstationen nicht konform sein, 2025 noch 2 Prozent.
 - b) Im Jahr 2030 sind immer noch 1 Prozent der Stationen nicht konform.
2. Diesel-Feinstaub ist ein zunehmend geringerer Einflussfaktor auf die städtische Luftqualität.
 - a) Bremsen- und Reifenverschleiß sind, unabhängig von der Antriebsart, die Hauptverursacher primärer Partikelmasse-Emissionen (PM).
3. Die AERIS-Modellierung zeigt, dass es 2030 keinen Unterschied hinsichtlich der Exposition der Bevölkerung zwischen dem Nullemissionsfahrzeug-Szenario (ZEV) und dem fortlaufenden Austausch heutiger Diesel durch Euro-6d-Dieselfahrzeuge gibt.
4. Kenntnis der Emissionsquellen auf lokaler Ebene ist der Schlüssel zu zielgerichteten Maßnahmen, die am effektivsten und nützlichsten im Kampf gegen die verbleibenden Brennpunkte in den Städten sein werden.

Die AERIS-Modellierung zeigt, dass ab 2020 der Austausch aller neuen Dieselfahrzeuge durch Nullemissionsfahrzeuge (Auspuffrohr) den Compliance-Outlook gegenüber dem fortlaufenden Austausch von Dieselfahrzeugen durch Euro-6d-Dieselfahrzeuge nur wenig verbessern wird.

** https://www.concawe.eu/wp-content/uploads/2018/04/Rpt_18_8.pdf



ANHANG 3

CO₂-arme Kraftstoffe und fahrzeuginterne CO₂-arme Technologien

A. Eigenschaften alternativer Kraftstoffe

Alternative Flüssigkraftstoffe können aus Erdgas und erneuerbaren oder biologischen Energieträgern hergestellt werden. Sie können verwendet werden, um Mobilität nachhaltig und CO₂-arm zu machen. Zu den Vorteilen des Einsatzes dieser Kraftstoffe gehören auch Energieeinsparungen und die gesamten Umweltauswirkungen. Einige dieser Verbindungen werden bereits in Erdölraffinerien beim Mischen eingesetzt (z. B. ETBE, ETOH und HVO) und sind schon an Tankstellen verfügbar (z. B. E10 Benzin, E85 Benzin und B7 Dieselmotorkraftstoff). Andere Produkte befinden sich in der Erforschungsphase, der Entwicklung oder frühen Kleinserien-Produktion. Dazu gehören sowohl Biokraftstoffe also auch Rohstoffe aus Abfall und erneuerbaren Energieträgern.

B. Hochoktaniges Benzin

Ölfirmen und Automobilhersteller („OEMs“) kamen gemeinsam zu dem Schluss, dass die Erhöhung der Oktanzahl beim Benzin ein entscheidender Schritt zur Steigerung des Motorwirkungsgrads ist. Es können verkleinerte Motoren mit einem höheren Kompressionsverhältnis und verbesserter Motorenlüftung entwickelt werden, um den Gesamtwirkungsgrad zu steigern. Diese Modifikationen können wegen der hohen Temperaturen aber auch zu Nageln oder Klopfen führen. Daher müssen diese Effekte durch eine höhere Kraftstoffqualität (Research-Oktanzahl oder ROZ) ausgeglichen werden. Moderne Fahrzeuge haben hochentwickelte Motor-managementsysteme, die Klopfen erkennen können und den Motor so einstellen, dass er ohne Klopfen läuft, indem sie den Zündzeitpunkt verändern und damit eine niedrigere Verdichtung simulieren. Bei einem Kraftstoff mit niedrigerer Oktanzahl schaltet der Motor in eine Konfiguration, mit der Klopfen vermieden wird. Dies führt jedoch zu einem Leistungsverlust und Emissionsanstieg.

Untersuchungen der europäischen Produktion von Benzin mit hohem Sauerstoffgehalt im Gemisch haben gezeigt, dass anfänglich eine ROZ von mindestens 102 für einen kleinen Prozentsatz (10 %) des Benzinpools innerhalb der bestehenden EN-228-Spezifikationen realisierbar ist. Die CO₂-Intensität dieses neuen Kraftstoffs kann nahezu der

von existierendem Benzin mit ROZ 95 entsprechen, wird aber von der Sauerstoffanreicherung abhängen. Die Zusammenarbeit von Ölgesellschaften und Automobilherstellern sollte gefördert werden, um Fortschritte bei dieser vielversprechenden Möglichkeit zur Verbesserung des Wirkungsgrads von Fremdzündungsmotoren zu machen.

Eine unabhängige Studie⁵ zeigt, dass die Erhöhung der ROZ um fünf Punkte den Verbrauch bei Fahrzeugen mit hochverdichtenden Motoren um 3,0 bis 4,4 Prozent senkt.

C. HVO

Hydriertes Pflanzenöl (HVO) ist eine Biokraftstoffsorte, die seit 2007 auf dem Markt ist und breite Akzeptanz genießt, weil ihre physikalischen und chemischen Eigenschaften denen von fossilen Kraftstoffen sehr ähnlich sind. Sie wird durch das Hydrotreating verschiedener Fettarten gewonnen: Pflanzenöle, Alt- oder Restöle und tierische Fette. Ölgesellschaften und Technologieanbieter (Axens-IFP, Honeywell-UOP, Neste, Haldor Topsoe, ENI) haben auf der Basis von Know-how aus der Erdölraffination verschiedene Prozesse entwickelt. Die meisten können auch andere Arten von Biorohstoffen wie Ligninderivate (z. B. Tallöl) verarbeiten. Egal welcher Rohstoff verwendet wird, das Endprodukt ist ein paraffinisches Kohlenwasserstoffgemisch frei von Aromaten und Sauerstoff und von hoher Kraftstoffqualität. HVO können als Premium-„Drop-In“-Kraftstoffe betrachtet werden in dem Sinne, dass sie, dank ihrer im Wesentlichen paraffinischen und isoparaffinischen Natur, Diesel ohne Modifikationen am Betankungssystem oder Fahrzeug und ohne Probleme im Betrieb ersetzen können⁶. Negative Wechselwirkungen mit Motor-komponenten (wie Filtern, Einspritzventilen und Motorölen) werden ebenfalls vermieden. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass die Kältefließfähigkeit von HVO durch Modifikation des Prozesses oder zusätzliche katalytische Aufbereitung auch an lokale Anforderungen angepasst werden kann (einschließlich Kraftstoffe für den Einsatz unter **arktischen Wetterbedingungen** und gemäß Jet-Spezifikationen).

⁵ Environ. Sci. Technol. 48, 12, 6561-6568.

Laut der EU-Richtlinie zur Errichtung der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe kann HVO als Fahrzeugkraftstoff (gemischt oder rein) zu einer Verringerung der Auspuffemissionen beitragen und ist eine alternative Möglichkeit die Entkarbonisierung des Verkehrs voran zu treiben. Tatsächlich leistet die Einbeziehung von HVO - über sauerstoffangereicherte Biokraftstoffkomponenten hinaus - einen Beitrag zu mehr erneuerbaren Kraftstoffen im Verkehr .

Abhängig vom Rohstoff verursachen HVO verglichen mit mineralölbasiertem Diesel bis zu 90 Prozent niedrigere THG-Emissionen. Außerdem haben wissenschaftliche Studien und Feldversuche gezeigt, dass reiner erneuerbarer Diesel PM-Emissionen um 33 Prozent, NO_x um 9 Prozent und CO-Emissionen um 24 Prozent senken kann.

HVO hat eine höhere Cetanzahl⁷ von 75-95 und garantiert so eine effiziente, saubere Verbrennung und liefert verglichen mit zum Beispiel traditionellem Biodiesel (FAME) zusätzliche Leistung.

Erneuerbarer Diesel kann vermischt mit mineralölbasiertem Diesel innerhalb der technischen Vorgaben der EN 590 Dieselkraftstoffnorm vertrieben werden. Er kann auch in Reinform unter Einhaltung der EN 15940 für paraffinischen Dieselkraftstoff verwendet werden.

Neste schätzt, dass 2017 weltweit 4,5 Millionen Tonnen HVO produziert wurden.

HVO erfordern keine Investition in die Infrastruktur zur Belieferung der Endkunden, weil die vorhandene Infrastruktur und Logistiksysteme sich dafür eignen.

Die meisten LKW-Motorenhersteller und eine wachsende Zahl von PKW-Herstellern haben ihre Fahrzeuge für reinen erneuerbaren Diesel zertifiziert (RD100; die einzigen Zusätze sind Schmierstoffadditive).

Seit Januar 2016 vertreibt Eni zum Beispiel ein Premiumprodukt namens Eni Diesel+ an italienischen Tankstellen. Dieser besteht aus 15 Prozent Biodiesel (HVO), was mehr als das Doppelte des maximalen FAME-Anteils gemäß EN 590 (Blending-Limit 7 % V/V) ist und die CO₂-Emissionen deutlich reduzieren kann.

Ein weiterer Erstanwender der HVO-Herstellung und verteilung ist Neste. Seit 2017 vertreibt Neste ein zu 100 Prozent aus HVO bestehendes Produkt an finnischen Tankstellen unter dem Markennamen Neste *MY Renewable Diesel*.

⁶ Nils-Olof Nylund, Kimmo Erkkilä, Matti Ahtainen, Timo Murtonen, Pirjo Saikkonen, Arno Amberla & Hannu Aatola - Optimized usage of NExBTL renewable diesel fuel - VTT - ISBN 978-951-38-7795-8 (<http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>).

⁷ Cetanzahl: ein Wert, der die Zündwilligkeit von Dieselkraftstoff beschreibt. Je höher diese Zahl, desto einfacher ist es, einen Standard-Dieselmotor (Direkteinspritzung) zu starten. Sie gibt den Prozentsatz (in Volumen) des Cetans (chemische Bezeichnung Hexadecan) in einem brennbaren Gemisch (aus Cetan und 1-Methylnaphthalin) an, dessen Zündeigenschaften denen des getesteten Dieselkraftstoffs entspricht.

D. Bio-Tfuel-Projekt: synthetische Kraftstoffe aus thermochemischer Umwandlung von Biomasse

Das Bio-Tfuel-Projekt verwendet einen thermochemischen Prozess, um lignozellulosehaltige Biomasse, wie Stroh, Forstabfälle und bestimmte Pflanzen, in Biokraftstoffe umzuwandeln.

Das Projekt verbindet verschiedene Prozesse, um hochqualitativen Biodiesel und Bio-Treibstoff herzustellen, wie im Diagramm dargestellt:

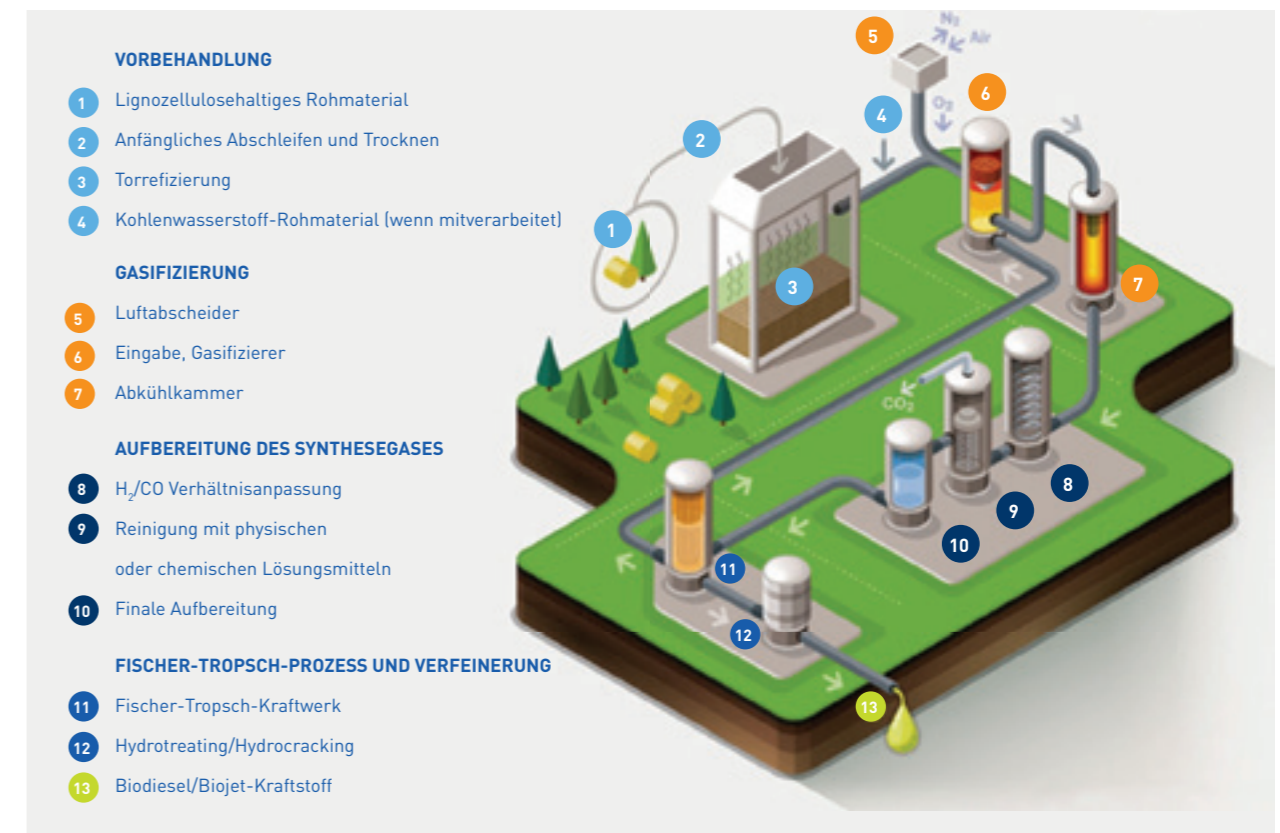
1. Vorbehandlung
2. Vergasung von Zellulosematerial, das zuvor in einer speziellen Anlage geröstet wurde

3. Reinigung (Synthesegasaufbereitung)
4. Fischer-Tropsch-Synthese

Die Vergasungstechnik erweitert die Biomassearten, die für die Herstellung von Biokraftstoffen eingesetzt werden können, um Lignozellulose (landwirtschaftliche Nebenprodukte, Forstabfälle oder spezielle Biomasse). Die Flexibilität des Prozesses bedeutet, dass er ein Gemisch aus mineralölbasierten Rohstoffen und Biomasse verarbeiten kann, die unterschiedlich verfügbar sein können.

Das Bio-Tfuel-Projekt produziert schwefel- und aromatenfreie Biokraftstoffe. Diese können als solche oder gemischt mit anderen Kraftstoffen verwendet werden und jeden PKW- oder LKW-Motor und alle Flugzeugturbinen antreiben.

ABBILDUNG 10: DIAGRAMM DES THERMOCHEMISCHEN UMWANDLUNGSPROZESSES



Quelle: <https://www.total.com/en/energy-expertise/projects/bioenergies/biotfuel-converting-plant-wastes-into-fuel>

Nach fünf Jahren F&E wurde die erste Produktionsanlage im Dezember 2016 am Dünkirchener Standort in Flandern (Frankreich) eingeweiht und steht jetzt kurz vor dem Produktionsbeginn.

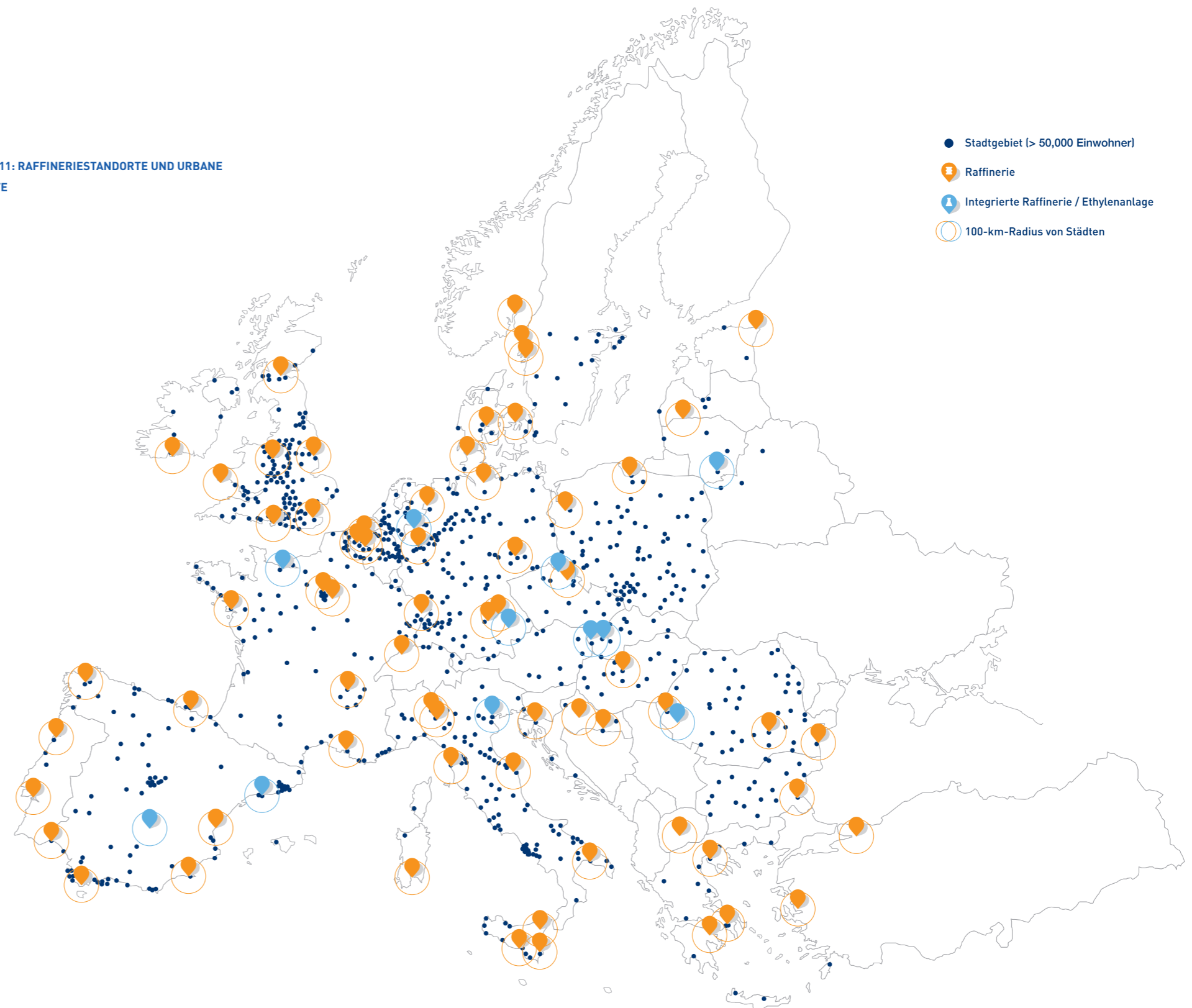
E. Abfälle zu Kraftstoffen

Emissionen, die in Zusammenhang mit der Verwendung von raffinierten Mineralölerzeugnissen stehen, können auf vielfältige Weise gesenkt werden, doch meistens erfordert das den Einsatz alternativer Rohstoffe für die Ölprodukte. Fortschrittliche Biokraftstoffe werden bereits in großem Umfang entwickelt, doch weitere Möglichkeiten entstehen aus der Verarbeitung oder Mitverwendung neuer Formen von Abfällen.

Abfallentsorgung und -verwertung ist ein wichtiges Thema in Industrieländern, aber erst recht in Entwicklungsländern. Europa hat die Möglichkeit, einen nachhaltigen Rahmen für diesen Bereich vorzugeben und ein Problem in eine Chance zu verwandeln. Die Raffinerieindustrie kann ihr Wissen und ihre Erfahrung in die Entwicklung von Alternativen zu Deponieentsorgung und Verbrennung von Kunststoffmüll und -rückständen einbringen. Weitere Technologieentwicklung ist nötig, um Abfallverwertungsströme so anzupassen, dass in Raffinerien einsetzbare Rohstoffe produziert werden, und um die Qualität der Endprodukte zu garantieren.

Die Karte im folgenden Schaubild zeigt, dass sich viele Raffineriestandorte innerhalb eines 100-km-Radius von Städten mit mehr als 50.000 Einwohnern befinden.

ABBILDUNG 11: RAFFINERIESTANDORTE UND URBANE GROßGEBIETE



Fallbeispiel: End-of-Life-Kunststoffe (EOL) für die Kraftstoffherstellung Projektentwicklung: Thermisches anaerobes Öl-Cracken

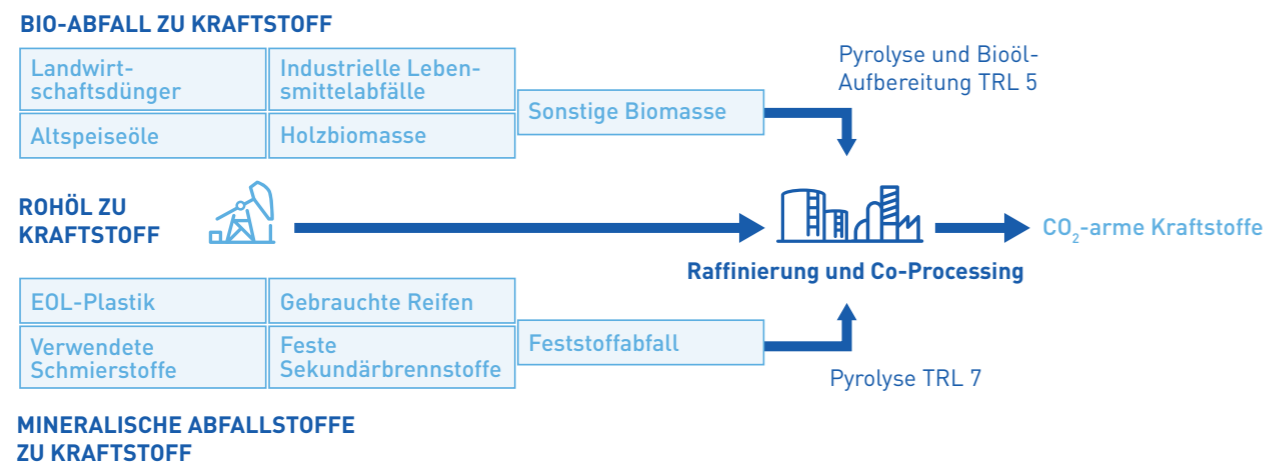
- **CO₂-Reduzierung erreicht durch:**
 - > teilweisen Ersatz von Rohöl als Raffinerierohstoff
 - > Vermeidung von Kunststoffverbrennung
 - > Austausch eines Teils des über weite Entfernungen transportierten Rohöls mit Kunststoffabfällen und -rückständen aus der näheren Umgebung
- **Kreislaufwirtschaft:** Verbesserung der Ökobilanz petrochemischer Produkte.
- **Vorteile:**
 - > niedrige Kosten und lokale Rohstoffe
 - > Verfügbarkeit von Kunststoffabfällen und -rückständen: Laut PlasticsEurope gehen 30,8 Prozent der Kunststoffe auf eine Deponie.
- **Technologie:** Anaerobe thermische Pyrolyse (Technology Readiness Level 7 oder TRL7)

- **Modulare Technologie:** Vorhandene Referenzen mit Prozesskapazitäten zwischen 10 und 20 Tonnen pro Tag.

Um die Führungsrolle der europäischen Raffinerie-industrie bei Technologien zu sichern, die die Umwandlung von End-of-Life-Kunststoffen (EOL) in Kraftstoffe ermöglichen, sind die folgenden Bedingungen unerlässlich:

- Es muss einen angemessenen Förderrahmen geben für
 1. Investitionen in die Entwicklung und den Ausbau von Technologien, um Betriebskosten, Kapitaleinsatz und Scale-up-Risiken zu senken und Skaleneffekte zu nutzen.
 2. Anreize zur Verwendung von Abfall und Rückständen in Raffinationsprozessen: Ein regulatorischer Rahmen kann Synergien zwischen der Abfall- und Raffinerieindustrie schaffen.
- Langfristige Kohärenz und Stabilität von Ressourcen- und Energiepolitik, um Investitionen in emissions-senkende Technologien in Europa zu fördern.

ABBILDUNG 12: INTEGRATION VERSCHIEDENER ABFALLFORMEN IN ERDÖLRAFFINATIONSPROZESSE



Quelle: http://www.plasticseurope.org/documents/document/20161014113313-plastics_the_facts_2016_final_version.pdf

F. Abfälle zu Kraftstoffen und Rohstoffen

Fallbeispiel: Kommunale Abfälle (Municipal Solid Waste, MSW) zu Kraftstoffen und Rohstoffen Projektentwicklung: Fulcrum

Die ständig wachsende Nachfrage nach Flüssigkraftstoffen stellt die Automobil- und Mineralölbranche in Zusammenhang mit der Einhaltung zukünftiger strenger EU-THG-Ziele vor eine große Herausforderung. Bei BP hat man erkannt, dass die Raffinerieindustrie sich weiter entwickeln und neue Technologien, Rohstoffe und Arbeitsweisen einführen muss, um CO₂-arme Mobilität zu ermöglichen.

In diesem Zusammenhang ist BP eine strategische Partnerschaft mit Fulcrum BioEnergy eingegangen, einem Pionier in der Entwicklung und Herstellung von CO₂-

armem Flugzeugtreibstoff. Fulcrum hat einen zuverlässigen und effizienten Prozess für die Herstellung von kostengünstigem, nachhaltigem Bio-Treibstoff aus kommunalen Abfällen (MSW) entwickelt und nachgewiesen.

Das Unternehmen hat sich langfristig Zugang zu großen Mengen von MSW-Rohstoffen gesichert und entwickelt aktiv sein Vorhaben. Zunächst wird es in Nordamerika Waste-to-Fuel-Anlagen bauen. Dort ist seine erste Fabrik zur Zeit im Bau. Später könnte es in andere Teile der Welt expandieren.

Der Prozess verwendet Vergasung und Fischer-Tropsch-Technologie, um ein **synthetisches Rohöl-Substitut** herzustellen, das mit Hilfe der Raffinations- und Blendingerfahrung von BP in Flugzeugtreibstoff umgewandelt werden kann.

ABBILDUNG 13: KOMMUNALE ABFÄLLE ZU CO₂-ARMEM FLUGZEUGTREIBSTOFF

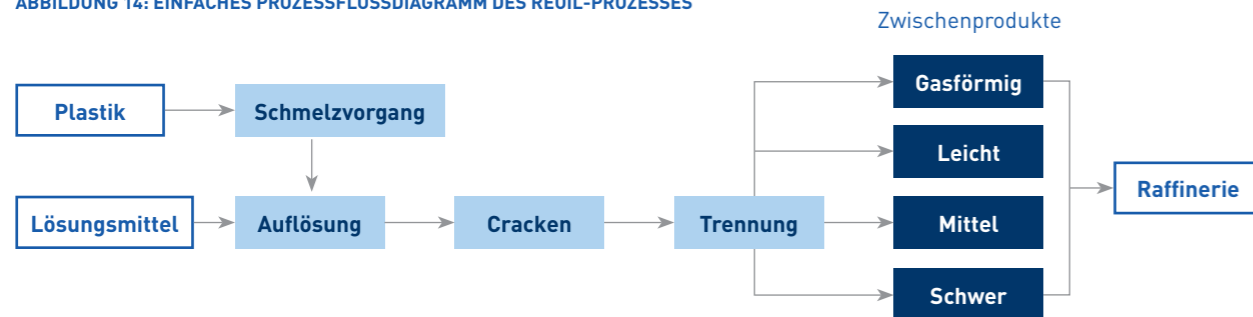


**Fallbeispiel: Kunststoffe zu Kraftstoffen und Rohstoffen⁸
Projektentwicklung: ReOil von OMV**

Ein innovativer von ReOil entwickelter Prozess macht aus Altkunststoffen unter mäßigem Druck und normalen

Raffineriebetriebstemperaturen sogenanntes R-crude. Dieses R-crude kann dann in der vorliegenden Form in Raffinerien eingesetzt werden, um Kraftstoffe oder chemische Rohstoffe herzustellen. Abbildung 1 zeigt die wesentlichen Prozessschritte.

ABBILDUNG 14: EINFACHES PROZESSFLUSSDIAGRAMM DES REOIL-PROZESSES



Im Vergleich zu Rohöl enthält das mit dem ReOil-Prozess hergestellte R-crude einen großen Anteil wertvoller leichter und mittelschwerer Bestandteile. Diese Komponenten können in chemische Rohstoffe, Kraftstoffe oder beides umgewandelt werden. Nur ein kleiner Teil muss weiterverarbeitet werden, z. B. durch Cracken. Alternativ könnten sie auch als Energiequelle für interne Prozesse dienen.

Der Großteil des Kunststoffmülls geht auf Deponien oder wird verbrannt. 60 % der Kunststoffabfälle sind Verpackungen, von denen nur 40 Prozent recycelt werden⁹. In einigen Fällen ist es möglich, die Abfälle wiederzuverwenden oder sie mit einem hohen

Reinheitsgrad zu recyceln (z. B. um PET-Flaschen herzustellen). Allerdings beträgt die Recyclingquote bei polyolefinen Abfällen wie Folien, Behältern und Tassen nur ca. 10 Prozent¹⁰. (Es können dickwandiges Polyethylen, Polypropylen oder Polystyren hergestellt werden.) Siehe Beispiele in Abbildung 2.

⁸ Ein anderes in der Entwicklung befindliches Waste-to-Fuel-Projekt ist ReOil von OMV.

⁹ Europäische Strategie für Kunststoffe.

¹⁰ Kranzinger et al. 'Outputorientierte Betrachtung Der Nass-Mechanischen Aufbereitung von Polyolefinreichen Abfällen Für Das Rohstoffliche Recycling'. Österreichische Wasser Abfallwirtschaft 69, no. 11 (1 December 2017): 460-69. doi:10.1007/s00506-017-0423-y.

Beispiele für Kunststoffabfall-Fractionen, die für den ReOil-Prozess geeignet sind.



G. Algen, ein Biokraftstoff von morgen, hergestellt in den Raffinerien von heute

Algen konsumieren von Natur aus Kohlenstoffdioxid (CO₂) und produzieren Lipide, die zu einem erneuerbaren, CO₂-armen Fahrzeugkraftstoff gemacht werden können. Von der Herstellung bis zur Verbrennung bietet die Algenproduktion einige entscheidende Vorteile, die weitere Forschung rechtfertigen:

- **Algen konsumieren CO₂:** Produktionsstätten könnten auch als Projekte zur CO₂-Abscheidung fungieren.
- **Emissionsarmer Kraftstoff:** Auf Lebenszyklusbasis emittieren Algen-Biokraftstoffe etwa halb so viel THG wie Kraftstoffe auf Mineralölbasis.
- **Hohe Ausbeute:** 0,4 ha (~4.000 m²) Algen liefert einen Ertrag von mehr als 7.570 Litern (2.000 Gallonen) Kraftstoff.
- **Ganzjährige Ernte:** Algen können mehrmals im Jahr geerntet werden.

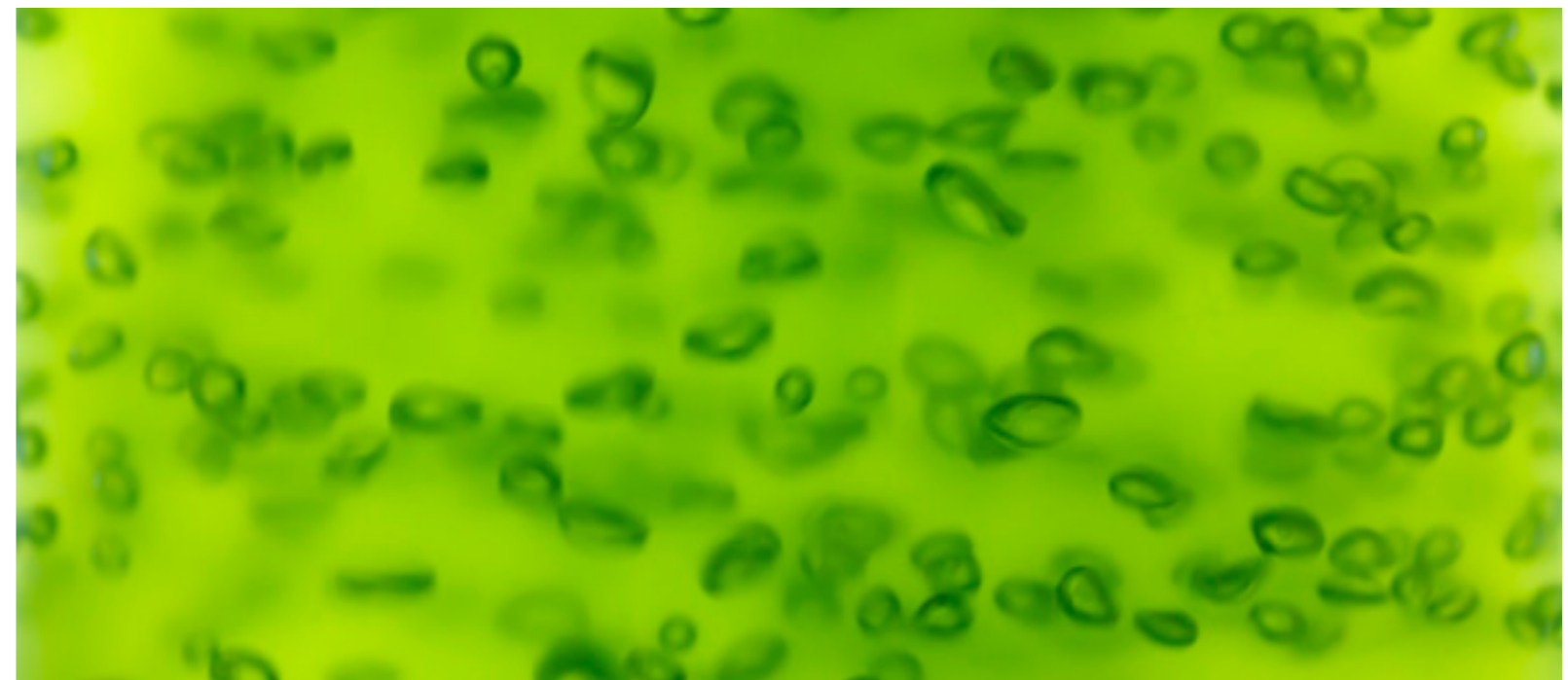
• **Keine Nutzung von Ackerland:** Algen können auf Land kultiviert werden, das sich für keinen anderen Zweck eignet und mit Wasser, das nicht für die Nahrungsmittelerzeugung genutzt werden kann.

• **Wasseraufbereitung:** Algen können in Abwasser privaten und gewerblichen Ursprungs gezüchtet werden und Schmutzwasser reinigen, während sie gleichzeitig energiereiche Biokraftstoffe produzieren.

• **Motorenkompatibel:** Diesel auf Algenbasis kann ohne große Änderungen in der Infrastruktur und in bestehenden Diesel-Fahrzeugen verwendet werden.

Da die Herstellungsprozesse für Algen-Biokraftstoffe und die heutigen Fahrzeugkraftstoffe ähnlich sind, könnten Algen-Biokraftstoffe in vorhandenen Raffinerien verarbeitet werden, um das Angebot von konventionellem Benzin, Diesel und anderen Kraftstoffen zu ergänzen.

Die Herausforderung besteht darin, dies wirtschaftlich und in großem Maßstab zu tun - und die Technologie von der Petrischale zum Kraftstofftank zu überführen.



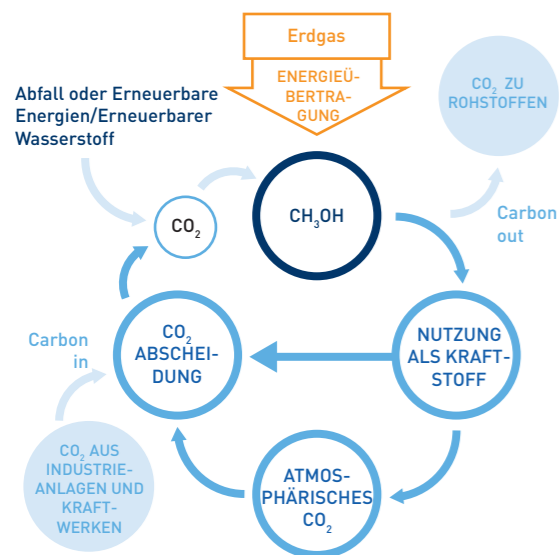
ExxonMobil forscht aktiv an Biokraftstoffen aus Algen. Zusammen mit Synthetic Genomics Inc, der Colorado School of Mines und der Michigan State University macht das Unternehmen Fortschritte bei der Identifizierung und Verbesserung von Algenstämmen, die zu hoher Lipidproduktion fähig sind und dabei wünschenswerte Wachstumsraten aufrecht erhalten.

H. Methanolherstellung

Die von George Olah im letzten Jahrzehnt propagierte Vision einer "Methanol-Wirtschaft"¹¹ könnte ein möglicher Weg sein, die Umstellung von fossilen auf CO₂-arme Kraftstoffe zu bewerkstelligen. Methanol könnte sogar ein Weg sein, auf lange Sicht eine Kreislaufwirtschaft mit Null CO₂-Emissionen zu schaffen.

Die Umstellung auf erneuerbare Energieträger erfordert Zeit, doch Erdgas könnte sofort einen Beitrag zur Senkung der THG-Emissionen leisten – entweder durch Direktnutzung oder nach der Umwandlung in Methanol.

ABBILDUNG 15: METHANOL-WIRTSCHAFT



Quelle: George A. Olah, Alain Goeppert, G. K. Surya Prakash - Beyond Oil and Gas: The Methanol Economy - John Wiley & Sons, 21.08.2006.

Erdgas ist reichlich vorhanden und weit verbreitet, und es stehen bekannte und erprobte Technologien für seine Nutzung zur Verfügung. Erdgas hat eine niedrigere CO₂-Intensität (was die CO₂-Emissionen bei seiner Verbrennung angeht) als Kohle oder Öl. Es kann in Methanol umgewandelt werden, um einen alternativen Kraftstoff zur Mischung mit traditionellen fossilen Kraftstoffen herzustellen, was die CO₂-Bilanz des Verkehrssektors verbessern würde.

Methanol ist ein guter Energieträger, leicht zu transportieren und kann als Rohstoff für die Herstellung von Kraftstoffen und Chemikalien eingesetzt werden. Es enthält eine hochoktanige Komponente und kann für die Produktion alternativer Kraftstoffe verwendet werden, indem es zu unterschiedlichen Anteilen Raffinerieproduktströmen beigemischt wird. Es wurde bereits als Kraftstoff beim Indianapolis Grand Prix (Formula Indy) und anderen Autorennen eingesetzt. China nutzt zur Zeit bis zu 12 Mt Methanol pro Jahr als Fahrzeugkraftstoff. In den chinesischen Provinzen werden unterschiedliche Methanol-Benzin-Gemische (M15, M50 und M85) verwendet. Es wurden bereits mehr als 200 Millionen Meilen in China damit gefahren. Israel hat einen erfolgreichen Fahrversuch mit M15 durchgeführt. Australien testet gerade Benzin-Ethanol-Methanol-Kraftstoff (GEM)¹².

Heutzutage wird Methanol in erster Linie aus Erdgas hergestellt. Mittelfristig könnte es aus landwirtschaftlichen Abfallprodukten oder anderen Abfällen produziert werden. Ein weiterer Schritt könnte langfristig die Methanolherstellung aus abgeschiedenem CO₂ sein, das aus den Emissionen von Industrie und Fahrzeugauspuffen stammt. Daher kann Methanol durch die Entkarbonisierung des Fahrzeugkraftstoff-Energiemixes einen wichtigen Beitrag zur Förderung der Kreislaufwirtschaft leisten.

Ein Beispiel für die Nutzung von Methanol als Kraftstoffkomponente ist die Entwicklung eines alternativen Fahrzeugkraftstoffs von Eni zusammen mit Fiat Chrysler Automobiles (FCA) in Italien. Der alternative Kraftstoff

¹¹ George A. Olah, Alain Goeppert, G. K. Surya Prakash - Beyond Oil and Gas: The Methanol Economy - John Wiley & Sons, 21.08.2006.

¹² <http://methanolfuels.org/public-policy/asia-pacific-middle-east/>

besteht aus Methanol aus Erdgas (15 % V/V) und Ethanol aus erneuerbaren Energieträgern, die dann Raffinerieproduktströmen beigemischt werden.

I. Car-Sharing-Initiative "Enjoy"

Zusätzlich zu Formulierungsstudien, dem Mischen von Komponenten und Tests an Fahrzeugen und Motoren wurde von Dezember 2017 bis Mitte 2018 auch ein Feldversuch durchgeführt. Enjoy ist eine Car-Sharing-Initiative, die Eni mit dem Ziel gestartet hat, Produkte und Dienstleistungen für nachhaltige Mobilität zu entwickeln. An dem Versuch nahmen fünf der Car-Sharing-Fahrzeuge von Enjoy im Stadtgebiet von Mailand teil, die mit alternativem M15-Kraftstoff betrieben wurden. Die Fahrzeuge wurden an normalen Eni-Tankstellen an speziellen Tanksäulen ohne jegliche Hardware-Modifikation betankt. Der Einsatz dieses alternativen Kraftstoffs kann die CO₂-Emissionen um bis zu 4

Prozent senken (2 Prozent während der Verbrennung und weitere 2,3 Prozent aus dem Kraftstoffproduktionszyklus und der organischen Komponente).

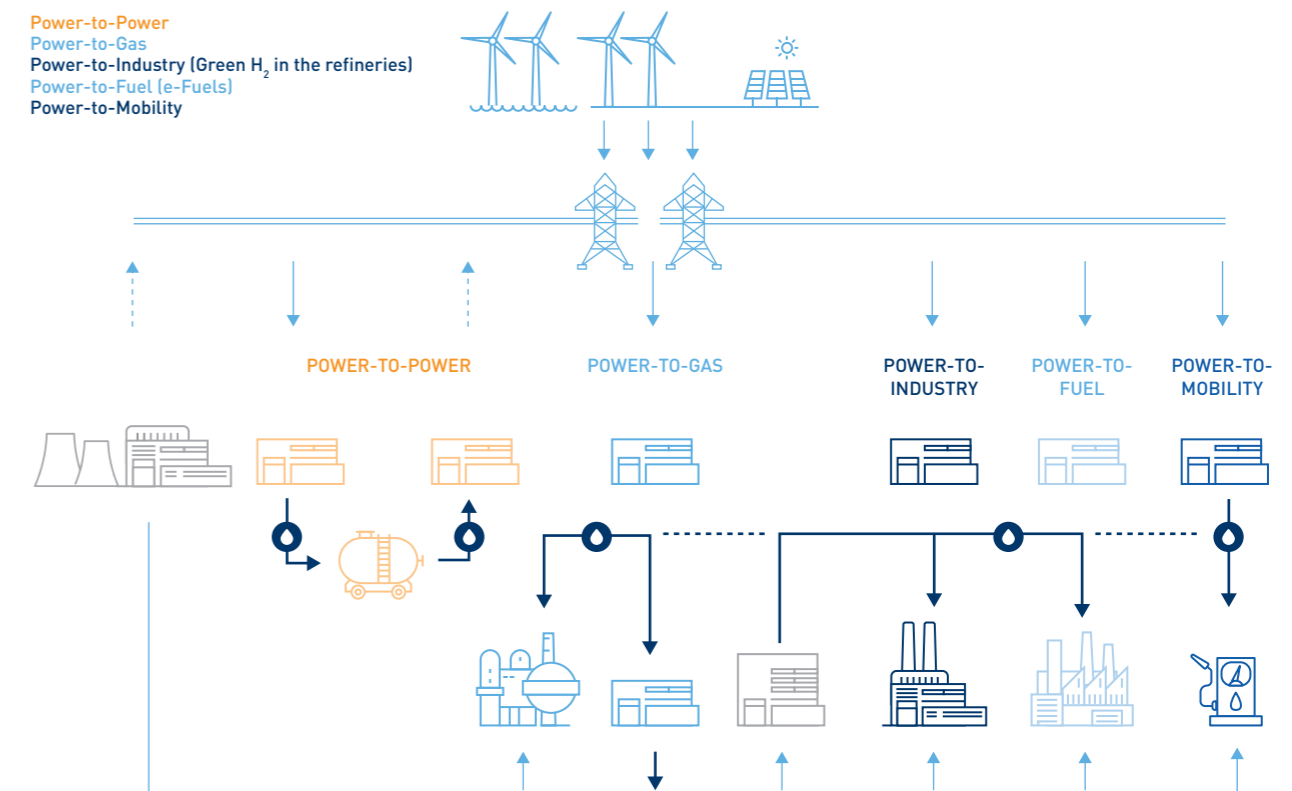
Der mögliche zukünftige Austausch von Methanol durch Bio-Methanol aus erneuerbaren Energieträgern, der zur Zeit untersucht wird, könnte die CO₂-Emissionen um etwa 10 Prozent reduzieren, was ein erheblicher Beitrag wäre.

J. Power-to-Liquids: SUNFIRE technology

Erneuerbare Energien können auf unterschiedliche Weise genutzt werden, um zur Produktion von Flüssigkraftstoffen beizutragen.

Eine Möglichkeit ist Power-to-Industry, wobei regenerative Energieträger die Industrie entkarbonisieren, indem sie die CO₂-Emissionen des verbrauchten Stroms reduzieren, und

ABBILDUNG 16: ROLLE DER ERNEUERBAREN ENERGIEN



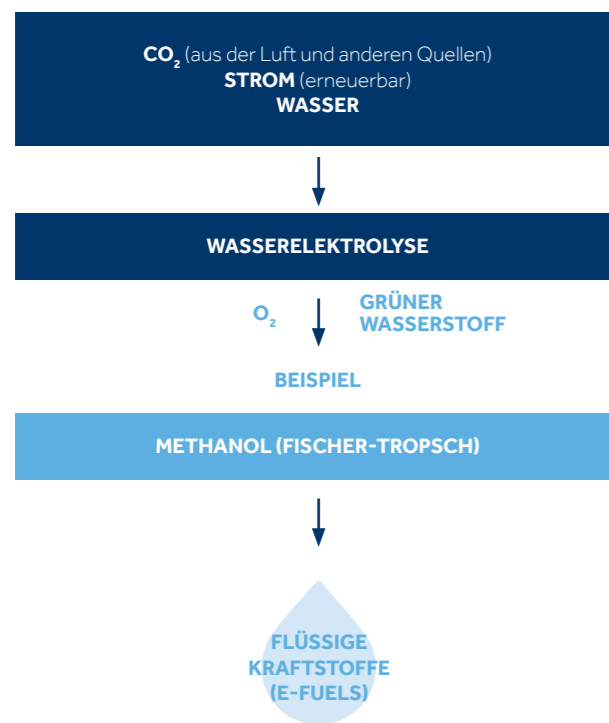
Quelle: Role of Renewable Power HYDROGENICS. European Fuels Markets & Refining Strategy Conference. London (2017)

Bio-Wasserstoff produziert wird, um die Mineralölbasis von Diesel und Benzin zu entschwefeln. Erneuerbare Energien können auch für Power-to-Fuel verwendet werden, indem über verschiedene Prozesse synthetische Kraftstoffe (E-Fuels) wie Syn-Diesel hergestellt werden.

SUNFIRE Power-to-Liquid-Technologie (PtL):

Sunfire begann mit der Produktion seiner CO₂-armen Synthetikkraftstoffe, auch bekannt als „Wunderkraftstoff“, in

ABBILDUNG 17: THREE STAGE PRODUCTION PROCESS



Quelle: SUNFIRE

seiner Pilotanlage in Dresden. Diese Fabrik ist die weltweit erste Power-to-Liquids-Produktionsstätte. Laut Aussage des Unternehmens erreicht die Power-to-Liquids-Technologie, die Blue Crude (ein synthetisches Rohöl) synthetisiert, Systemwirkungsgrade von ca. **70 Prozent**.

Das Herzstück des dreistufigen Herstellungsprozesses ist ein reversibler Elektrolyseur, der mit einem Wirkungsgrad von ca. 90 Prozent Wasserstoff erzeugt. Dieser Bio-

Wasserstoff (H₂) reagiert mit CO₂ (aus der Luft oder aus Abfallquellen extrahiert) und produziert eine Mischung aus CO₂-Ketten, die denen in konventionellem Rohöl ähneln. Dieses synthetische Rohöl kann anschließend in Raffinerien verarbeitet werden, um zum Beispiel synthetischen Diesel mit ähnlichen Eigenschaften wie konventioneller Diesel auf Mineralölbasis herzustellen. Der synthetische Diesel kann in die vorhandene Kraftstoffinfrastruktur eingebracht werden. Dieser neue Syn-Diesel wurde 2015 in Berlin öffentlich in einem Audi A6 getestet.

Die Technologie hat ihr Potenzial im Pilotmaßstab unter Beweis gestellt. Doch sie steht vor großen Herausforderungen in Form von Skalierbarkeit und Zugang zu billigem Ökostrom.

K. REFHYNE Project – 10 MW PEM Electrolyser

Die Elektrolyse von Wasser zur Erzeugung von Wasserstoff könnte eine Schlüsselkomponente der vernetzten Energiesysteme von morgen sein. Damit diese "Power-to-X"-Konzepte wirtschaftlich umsetzbar werden, muss die Wasserelektrolyse eine Reihe technischer und kommerzieller Fortschritte machen, die im REFHYNE-Projekt überprüft werden.

Shell plant gemeinsam mit ITM Power und den Konsortium-Partnern SINTEF, Thinkstep und Element Energy ein Projekt zur Installation eines großen Elektrolyseurs, der am Standort Wesseling der Rheinland Raffinerie Wasserstoff herstellen wird. Dies ist die größte Anlage dieser Art in Deutschland und der weltweit größte PEM-Elektrolyseur (Polymer-Elektrolyt-Membran).

Das REFHYNE-Projekt wird vom „Gemeinsamen Unternehmen Brennstoffzellen und Wasserstoff“ der EU unterstützt. Das europäischen Partner-Konsortium hat eine Förderung von 10 Mio. Euro erhalten (etwa 50 Prozent der gesamten Projektinvestition). Es wird die Stabilität des Stromnetzes verbessern, in das ein wachsender Anteil variabler erneuerbarer Energien eingespeist wird.

Elektrolyse mit kostengünstigem Ökostrom könnte eine Schlüsseltechnologie für die potenziell CO₂-freie Wasserstoffproduktion in Raffinerien sein. Der Elektrolyseur bietet auch die Möglichkeit, große Mengen erneuerbaren Wasserstoffs für spezielle Großanwendungen in der Industrie oder im Verkehrssektor zu liefern, vorausgesetzt dass die

eingesetzte Energie aus „Öko-“ (regenerativem) Strom besteht. Das Projekt wurde Ende 2017 genehmigt und soll 2020 in Betrieb gehen. Die gewählte Elektrolyse-Technologie ist potenziell noch weiter ausbaufähig, wodurch die Stückkosten gesenkt werden könnten.

L. Fahrzeuginterne CO₂-Abscheidung

Die direkte Abscheidung von Kohlenstoffdioxid (CO₂) in Fahrzeugen könnte die gesamten CO₂-Emissionen aus dem Verkehrssektor erheblich senken und langfristig eine strategische Rolle bei der Entwicklung einer nachhaltigen, CO₂-armen Wirtschaft spielen. Biordeigene CO₂-Abscheidung könnte trotz der Komplexität des Prozesses hoch effektiv sein. Tatsächlich nimmt die Komplexität der Trennung von CO₂ von anderen Gasen mit zunehmender CO₂-Konzentration ab. Dies kann von der minimalen Energie (Arbeit) abgeleitet werden, die eingesetzt werden muss, um CO₂ mit einem isothermalen und isobaren Prozess aus einer Gasmischung abzuscheiden. Thermodynamisch betrachtet ist die minimale Energie (Arbeit) gleich der Differenz an Gibbs'scher freier Energie

im Ausgangs- und Endzustand. Typische Molfraktionen von CO₂ sind 0,12 in Kohle-Rauchgas, 0,0004 in atmosphärischer Luft und 0,135 in Fahrzeugabgasen. Die Molfraktion von CO₂ in Fahrzeugabgasen ist größer als im Rauchgas von Kohlekraftwerken, weil Fahrzeuge aus Umwelt- und Performancegründen normalerweise mit idealem oder nahezu idealem Luft-Kraftstoff-Verhältnis betrieben werden. Kraftwerke werden meist mit Luftüberschuss betrieben.

Die berechnete minimale Energie (Arbeit) für die Abscheidung von CO₂ ist in der folgenden Tabelle dargestellt¹³:

¹³ Francisco Javier Sotomayor - Future of Carbon Capture: Materials and Strategies - A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy (Environmental Engineering) in the University of Michigan 2016 - Doctoral Committee: Associate Professor Christian M. Las-toskie, Chair; Associate Professor Terese M. Olson; Associate Professor Donald J. Siegel; Assistant Professor Ming Xu.

ABBILDUNG 18: MINIMALE ENERGIE (ARBEIT) FÜR DIE ABSCHIEDUNG VON CO₂ MIT MCC, PCC UND DAC BEI 298 K

Prozentsatz des abgeschiedenen CO ₂	Reinheit des abgeschiedenen CO ₂	MCC* (0.135 CO ₂) kJ/kg	PCC** (0.12 CO ₂) kJ/kg	DAC*** (0.0004 CO ₂) kJ/kg
100	100	165	172	497
90	98	145	153	477
75	98	135	141	465
50	98	123	129	452

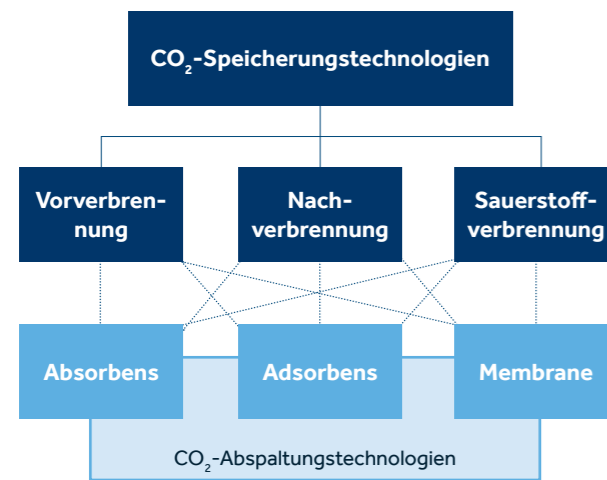
* MCC: Molecule Carbon Capture - ** PCC: Post Combustion Carbon Capture - *** DAC: Direct Air Capture

Im Allgemeinen entspricht die bordeigene CO₂-Abscheidung den eher traditionellen CCS-Technologien. Diese wurden hauptsächlich für stationäre Emissionspunkte in Kraftwerken entwickelt; CO₂-Abscheidung an Bord eines Fahrzeugs erhöht die Komplexität, weil die Prozesse miniaturisiert werden müssen. Bordeigene CO₂-Abscheidung könnte ebenfalls im Schwerlast- und Seeverkehr zur Anwendung kommen.

Die CO₂-Abscheidung kann mit drei verschiedenen Verfahren erfolgen¹⁴.

Die Nachverbrennungstechnologie (Post-Combustion Technology, PCC) ist gut für Verbrennungsmotoren geeignet, wie sie zur Zeit im Verkehrssektor zum Einsatz kommen¹⁵.

ABBILDUNG 19: BEISPIEL FÜR CO₂-SPEICHERTECHNOLOGIEN AN BORD



Quelle: Al-Meshari A.A., Saudi Arabia's efforts in carbon management, 2014.

¹⁴ Beispiele für bordeigene Abscheide-Prototypen aus der Literatur: Al-Meshari A.A., "Overview of CCS Activities in Saudi Arabia" berichtet, dass Demonstrationsfahrzeuge mit bordeigenem CCSS-System in einem Pickup 10 Prozent und in einem PKW 25 Prozent des CO₂ abgeschieden haben.

¹⁵ Sullivan J.M, Sivak M. "Carbon capture in vehicles: a review of general support, available mechanisms, and consumer-acceptance issues", UMTRI, Mai 2012



ANHANG 4

Andere CO₂-arme Technologien (Raffinerie-bezogen)

A. Bio-Raffinerien

Als Folge der schrittweisen Reduzierung von Blei im Benzin begannen Refiner Ende der 1980er Jahre, sauerstoffangereicherte Moleküle beizumischen, um die Oktanzahl zu erhöhen. In Ländern, wo es Anreize für die Entwicklung von Biokomponenten gab, wurden in oder neben Raffinerien Ethyl-tert-butylether-Anlagen (ETBE) gebaut. Damit sie ihre Biokraftstoffauflagen erfüllen, haben einige Refiner in der jüngeren Vergangenheit Pflanzenöl mitverarbeitet und die fossile Komponente reduziert, um Biokraftstoffe herzustellen. Das war der Anfang der Bioraffination.

In den vergangenen 10 Jahren wurden etwa 20 Raffinerien in ganz Europa geschlossen. Einige wurden zu Bio-Raffinerien umgebaut. Das war aus folgenden Gründen möglich:

1. Die über Jahre bei der Erdölraffination gesammelten und aufgebauten Erfahrungen und Fertigkeiten (Destillation, Hydrotreating, Cracken und Isomerisierung) können vorteilbringend für die Veredelung von Bioflüssigkeiten zu hochwertigen Biokraftstoffen genutzt werden.
2. Geschlossene Anlagen können zu deutlich geringeren Kosten zu Biokraftstoffanlagen umgebaut werden als der Neubau von Biokraftstoffanlagen verursachen würde. Außerdem kann die Logistikinfrastruktur (Rohrleitungen, Tanks, Auf- und Abladevorrichtungen) weiterverwendet werden.
3. Das regulatorische Umfeld verleiht Biokraftstoffen einen ausreichenden Wert, um die Investitionen zu rechtfertigen.
4. Eine wirtschaftlich nachhaltige industrielle Aktivität kann weitergeführt und Arbeitsplätze erhalten werden. Des Weiteren werden die gesamten Umweltauswirkungen erheblich reduziert.

Manchmal kann die neu umgebaute Bio-Raffinerie bestehende Synergien mit eventuell weiter betriebenen konventionellen Erdölraffinationsanlagen nutzen. Beispiele für die potenzielle Integration sind u.a. die (Co-) Destillation von Bio-Rohöl, Wasserstoffherstellung durch Reformierung und die Verwertung von Bio-Naphta und Bio-LPG für die Herstellung von Kraftstoffen oder Spezialitäten.

Die produzierten Biokraftstoffarten haben eine ähnliche Kohlenwasserstoffstruktur wie konventionelle Kraftstoffe. In einigen Fällen, wie bei HVO, verfügen sie über ausgezeichnete Qualität mit niedrigerer CO₂-Intensität. Wie im Abschnitt HVO erwähnt, ist die Qualität des Endprodukts unabhängig von der Art des eingesetzten erneuerbaren Rohstoffs. Sie können als Drop-In-Kraftstoffe mit konventionellen Kraftstoffen auf Mineralölbasis wie LPG, Diesel, Kerosin und Benzin gemischt werden.

Ein Schritt weiter als die Umwandlung einer konventionellen Raffinerie in eine Bio-Raffinerie ist die potenzielle Integration mit erneuerbaren Energieträgern. Da einige der konventionellen Anlagen (einschließlich Öltanks) nicht mehr gebraucht würden, stünden innerhalb der Anlage Flächen zur Verfügung, zum Beispiel für die Installation von Solarkollektoren. Der auf dem Gelände produzierte Ökostrom könnte entweder für den Bedarf der Bio-Raffinerie genutzt oder in das Netz eingespeist werden. Die La Mède Bio-Raffinerie in Frankreich ist ein Beispiel für solch eine mögliche Integration. Andere flächenintensive neuartige Technologien könnten ebenfalls von zusätzlichen Flächen profitieren, die aufgrund dieser Transformation frei werden.

Ein Beispiel: Enis grüne Raffinerie

Um etwas gegen die Strukturkrise der europäischen Raffinerieindustrie zu tun, hat Eni in ein innovatives grünes Raffinerie-Projekt investiert¹⁶, was zum Umbau seiner Raffinerie in Venedig in eine Bio-Raffinerie führte,

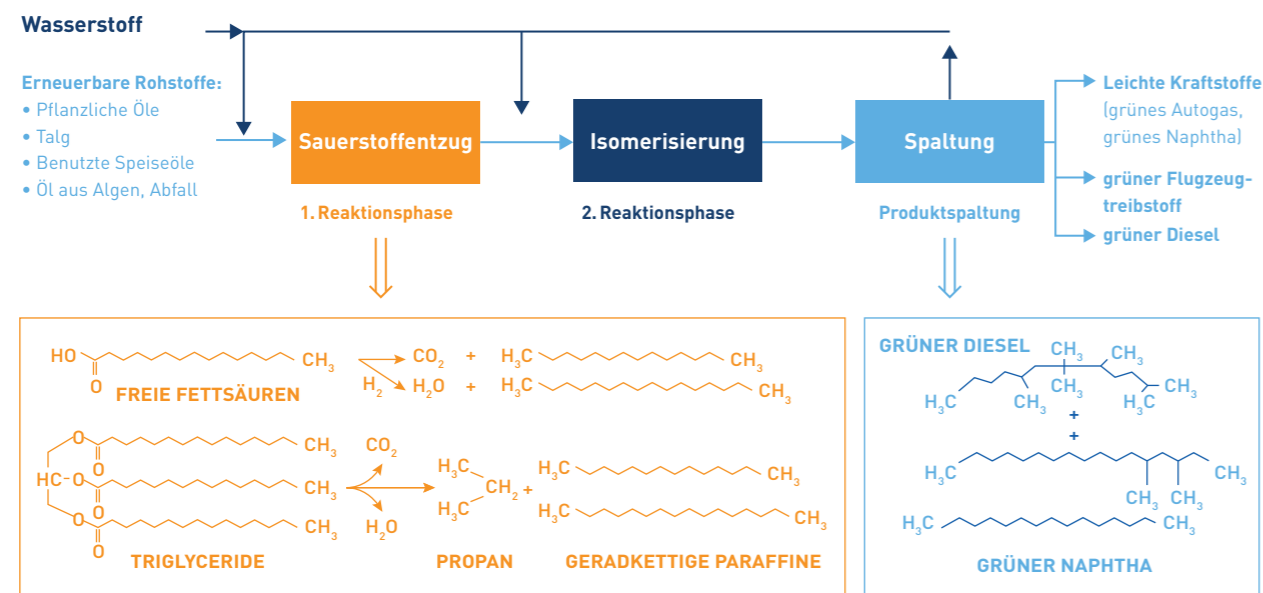
¹⁶Die Patente, die diese innovative Idee schützen, wurden im September 2012 von Eni angemeldet.

die in der Lage ist, eine neue Generation von Biokraftstoffen herzustellen. Die Umrüstung der vorhandenen Anlage in Venedig beschleunigte die Fertigstellung des Projekts erheblich und verringerte die erforderlichen Investitionskosten deutlich. Diese wurden auf ein Fünftel dessen geschätzt, was für eine komplett neue Ecofining™-Anlage¹⁷ mit derselben Kapazität nötig gewesen wäre. Ein Teil der Anlagen in der ehemaligen Fabrik wurde umgerüstet und in den neuen Prozess integriert. Die betriebliche Organisation der früheren

Raffinerie wurde geändert, um eine neue Produktionsstrecke speziell für Biokraftstoffe einzurichten.

Die grüne Raffinerie basiert auf der Ecofining™-Technologie. Das Fertigungsschema umfasst zwei aufeinander folgende Reaktionsschritte und eine Trennphase am Ende. Im ersten Schritt, der Sauerstoffentfernung, reagiert Wasserstoff mit dem erneuerbaren Rohstoff, um dem Rohstoff den Sauerstoff komplett zu entziehen. Dabei entsteht ein Zwischen-

ABBILDUNG 20: HYDROTREATED PFLANZÖL-PRODUKTIONSPROZESS



produkt mit einer geradkettigen paraffinischen Struktur. Im zweiten Schritt verleiht die Isomerisierung den Molekülen eine verzweigte Struktur. In der Trennphase werden schließlich die verschiedenen Produkte (Bio-LPG, Bio-Diesel, Bio-Flugzeugtreibstoff und Bio-Naphta) gemäß ihrer Destillationskurve abgeschieden.

HVO (hydrobehandeltes Pflanzenöl) ist ein hochwertiger Biokraftstoff, und seine Biodiesel-Fraktion kann alle mit traditionellem Biodiesel verbundenen Qualitätsprobleme überwinden. HVO stellt eine Alternative zu fossilem Dieselkraftstoff dar. Dank des organischen Rohstoffs und nachhaltigeren Produktionszyklus ist es direkt mit einer besseren CO₂-Bilanz (g CO₂/MJ) verfügbar.

Seit 2014 hat die Bio-Raffinerie in Venedig etwa 360.000 Tonnen Pflanzenöl pro Jahr verarbeitet. Dieses Produktionsniveau sollte mit der Inbetriebnahme der Gela-Raffinerie bis 2018 erhöht werden. Diese wird über die Kapazität verfügen, jährlich ca. 720.000 Tonnen Pflanzenöl zu verarbeiten und 530.000 Tonnen Biodiesel pro Jahr zu produzieren.

B. Fernwärme-Projekt MiRO

Die Raffinerie der Mineralölr Raffinerie Oberrhein GmbH (MiRO) mit Sitz am Rheinufer in Karlsruhe (Südwestdeutschland) und der örtliche Energieversorger Stadtwerke Karlsruhe haben gemeinsam ein revolutionäres Umweltprojekt entwickelt, das das Fernwärmesystem der Stadt Karlsruhe mit Abwärme aus der Raffinerie beliefern soll. Im Winter 2017/18 sollte mehr als die Hälfte der Fernwärme in Karlsruhe von MiRO geliefert werden.

Diese 24-Millionen-Euro-Investition wird die Heizwärmeversorgungssicherheit der Region erhöhen und gleichzeitig die Energieeffizienz der Raffinerie um bis zu fünf Prozent steigern. Da Raffinerieabwärme zum Einsatz kommt, werden keine zusätzlichen CO₂-Emissionen für Heizzwecke generiert. Daher spart das Projekt jedes Jahr mehr als 100.000 Tonnen CO₂ ein – was einen großen Umweltnutzen darstellt.

Zuverlässige Wärmeversorgung durch die Raffinerie ist die Voraussetzung für die geplante Expansion des Fernwärmenetzes entlang vorhandener Rohrleitungen. Das Netz besteht zur Zeit aus ungefähr 180 Kilometer Rohrleitungen, und in den nächsten Jahren kommen neue Leitungen dazu. Gleichermaßen stammt mehr als 90 Prozent des Heizwassers der Stadt Karlsruhe aus Kraft-Wärme-Kopplung im Dampfkraftwerk von EnBW im Rheinhafen und Prozessabwärme von MiRO.

Gunvor Raffinerie in Ingolstadt hat mit dem örtlichen Energieversorger ein ähnliches Projekt entworfen. Dieses verwendet industrielle Abwärme und spart 67.000 Tonnen CO₂ pro Jahr ein. Es ist der zweite Fernwärmelieferant in Ingolstadt.

C. Zusammenarbeit von Equinor, Shell und Total bei einem Großprojekt in der CCS-Wertschöpfungskette in Norwegen

Die drei Unternehmen unterzeichneten im Oktober 2017 einen Partnerschaftsvertrag, um die CO₂-Speicherung auf dem norwegischen Festlandssockel (NCS) zur Marktreife zu bringen.

Das Projekt ist Teil der Bemühungen seitens des norwegischen Staates, in Norwegen CO₂-Abscheidung und -Speicherung (CCS) in großem Maßstab zu entwickeln. Es wird CO₂ aus drei Onshore-Industrieanlagen in Ostnorwegen abscheiden und per Schiff zu einer Onshore-Anlage an der norwegischen Westküste (CCB Kollsnes) transportieren. Dort wird das CO₂ vom Schiff in Onshore-Tanks gepumpt. Anschließend wird es durch Pipelines östlich des Trollfelds auf dem NCS transportiert und zur dauerhaften Speicherung mehr als 2.000 Meter unter dem Meeresboden verpresst.

Die erste Phase dieses CCS-Projekts könnte eine Kapazität von ca. 1,5 Millionen Tonnen pro Jahr erreichen. Das Projekt ist so ausgelegt, dass es weitere CO₂-Mengen aufnehmen und damit andere kommerzielle CO₂-Sequestrierungsprojekte in Norwegen, Europa und

¹⁷ Honeywell UOP/Eni Ecofining™ Process for Green Diesel Production

weltweit fördern kann. Daher hat das Projekt das Potenzial, das erste der Welt zu sein, das CO₂ aus industriellen Quellen verschiedener Länder aufnimmt.

Der Bau des Großprojekts, einschließlich Onshore-Terminal, unterliegt der Zustimmung durch das norwegische Parlament, das die Investition bewilligen muss. Diese Entscheidung wird für 2019 erwartet.

Ziel des Projekts ist die Förderung der Weiterentwicklung von CCS als Mittel zur Erreichung der langfristigen Klimaziele Norwegens und der EU. Die Zusammenarbeit der Unternehmen wird die Grundlage für weitere Partnerschaften während der Bau- und Betriebsphase bilden.

Technologien für CCS in geologischen Formationen sind bekannt und etabliert. Es gibt zur Zeit weltweit 21

großformatige CCS-Projekte, die sich entweder in der Entwicklung oder im Betrieb befinden. Die CCS-Projekte von Equinor in Sleipner und Snøhvit gehören dazu und haben Equinor mehr als 20 Jahre Erfahrung im Betrieb von CO₂-Speicherung verschafft.

Fakten :

- Die CO₂-Abscheidung ist ein wichtiges Werkzeug zur Senkung von CO₂-Emissionen und zur Erreichung der globalen Klimaziele aus dem Pariser Übereinkommen.
- Gassnova SF ist leitend verantwortlich dafür, das Vorhaben, die vom norwegischen Staat gewünschte großformatige Demonstrationsanlage, zu realisieren.
- CCS umfasst drei Hauptphasen:

a) Abscheidung

CO₂ wird mit Hilfe eines chemischen Prozesses durch Trennung von anderen Gasen in einem Emissionsstrom abgeschieden. Der CO₂-Strom wird zu einem flüssigkeitsähnlichen Zustand verdichtet und dann weiter transportiert.

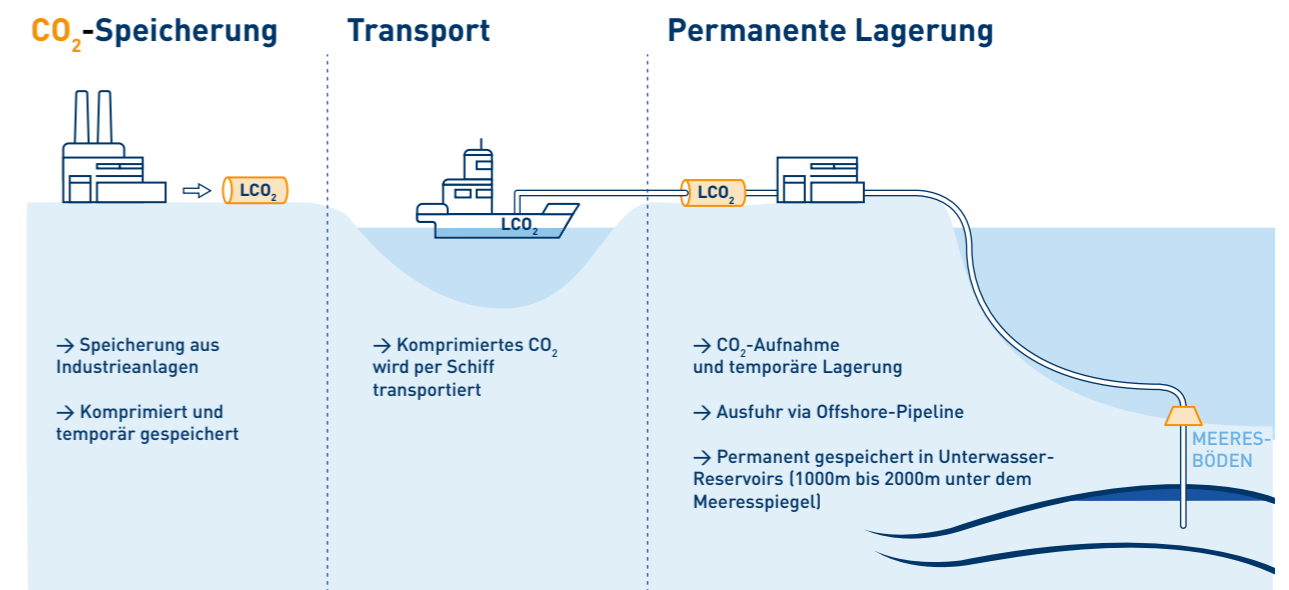
b) Transport

Nach der Verdichtung des CO₂-Gases wird es entweder mit Pipelines oder in Tankern an einen für die dauerhafte Speicherung geeigneten Ort verbracht.

c) Speicherung

Das CO₂ wird in geologische Formationen unterirdisch in Tiefen von einem Kilometer oder mehr verpresst. Geologische Formationen, die sich für die CO₂-Speicherung eignen, bestehen aus porösen Schichten, die es dem CO₂ erlauben, sich innerhalb der Formation zu bewegen und zu verteilen, sowie aus einer oder mehreren fester Gesteinsschichten, die oben wie ein Deckel wirken. Sie bilden eine Barriere, die ein Entweichen des CO₂ verhindern.

ABBILDUNG 21: THE NORTHERN LIGHTS PROJEKT



Quelle: <https://www.equinor.com/en/news/co2-ncs.html>

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

ACEA:	European Automobile Manufacturers' Association	ISL:	Island
BAU:	Business as Usual	JEC:	JRC-Eucar-Concawe
BEV:	Battery-Electric Vehicle	KHT:	Kerosene Hydrotreater
CCS:	Carbon Capture and Storage	LCA:	Life-Cycle Analysis
CCU:	Carbon Capture and Use	LNG:	Liquefied Natural Gas
CDU:	Crude Distillation Unit	LP:	Linear Programming
CEFIC:	European Chemical Industry Council	LPG:	Liquefied Petroleum Gas
CH:	Switzerland	LULUCF:	Land Use, Land-Use Change and Forestry
CHP:	Combined Heat and Power Plant	MCC:	Molecule Carbon Capture
CNG:	Compressed Natural Gas	MiRO:	Mineraloelraffinerie Oberrhein GmbH
COPERT:	MS Windows Software Program aiming at the calculation of Air Pollutant Emissions from Road Transport	MSW:	Municipal Solid Waste
COP21:	Conference of Parties	NCS:	Norwegian Continental Shelf
CRF:	Catalytic Reformer	NDC:	Nationally Determined Contribution
DAC:	Direct Air Capture	NExBTL:	Neste Renewable Diesel
DCU:	Delayed Coker Unit	NFR:	Net Fiscal Revenue
DECHEMA:	Deutsche Gesellschaft für Chemisches Apparatewesen	NHT:	Naphtha Hydrotreater
EASE:	European Association for Storage of Energy	NOR:	Norway
EEA:	European Environment Agency	NSU:	Naphtha Splitter Unit
EMS:	Energy Management System	OEM:	Original Equipment Manufacturer
EOL:	End-of-Life	OMV:	Österreichische Mineralölverwaltung (English: Austrian Mineral Oil Administration)
ERTRAC:	European Road Transport Advisory Council	O&M:	Operations & Maintenance
ETBE:	Ethyl Tert-Butyl Ether	PCC:	Pyridinium Chlorochromate
ETOH:	Ethanol	PEM:	Polymer Electrolyte Membrane
ETS:	Emissions Trading System	PET:	Polyethylene Terephthalate
EU:	European Union	PHEV:	Plug-in Hybrid Electric Vehicles
EV:	Electric Vehicle	PIV:	Plug-in-Vehicle
FAME:	Fatty Acid Methyl Ester	PJ:	Petajoule
FCC:	Fluid Catalytic Cracker	PM:	Particulate Matter
FCEV:	Fuel Cell Electric Vehicle	POW:	Power/CHP Plant
FCHV:	Fuel Cell Hydrogen Cars	PTL:	Power-to-Liquids
FGD:	Flue Gas Desulphurisation Unit	RDE:	Real Driving Emissions
FT:	Fischer-Tropsch	RED:	Renewable Energy Directive (RED II)
GCI:	Gasoline-Like Fuel	RON:	Research Octane Number
GEM:	Gasoline-Ethanol-Methanol	R&D:	Research and Development
GHG:	Greenhouse Gas	SDA:	Solvent Deasphalting Unit
HCK:	Hydro Cracker	SIBYL:	Baseline for the passenger cars sector
HEV:	Hybrid Electric Vehicles	SMR:	Steam Methane Reformer
HDS:	Diesel Hydro-Desulphurisation Unit	SRU:	Sulphur Recovery Unit
HVO:	Hydrotreated Vegetable Oil	TRL:	Technology Readiness Levels
IATA:	Air Transport Association	TTW:	Tank-to-Wheel
ICE:	Internal Combustion Engine	US:	United States
IEA:	International Energy Agency	VBU:	Visbreaker Unit
IMO:	International Maritime Organization	VDU:	Vacuum Distillation Unit
IPTS:	Institute for Prospective Technological Studies	VHT:	Vacuum Gasoil Hydrotreater
		WEO:	World Energy Outlook
		WTT:	Well-to-Tank
		WTW:	Well-to-Wheel
		ZEV:	Zero Emission Vehicle



Copyright © FuelsEurope 2018, editor John Cooper



FuelsEurope
Boulevard du Souverain, 165
1160 Brussels
www.fuelseurope.eu

 **FuelsEurope**
REFINING PRODUCTS FOR OUR EVERYDAY LIFE