

# Perspektiven der Decarbonisierung für die chemische Industrie in Österreich

IM AUFTRAG DES  
FACHVERBANDES DER CHEMISCHEN INDUSTRIE

Dr. Andreas Windsperger  
DI Michael Schick  
DI Bernhard Windsperger



**INSTITUT FÜR  
INDUSTRIELLE  
ÖKOLOGIE**

St. Pölten, im Oktober 2018

## Inhalt

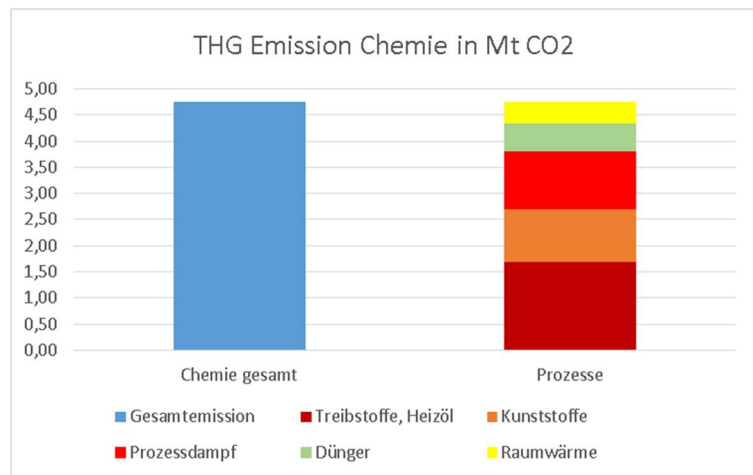
Executive Summary .....	3
Einleitung.....	8
Hintergrund .....	8
Ziel .....	9
Methodik und Durchführung .....	10
Prozesse der Decarbonisierung.....	11
Energieeffizienz Potenziale .....	11
Low-Carbon Strom für Prozesswärme und Stromverbraucher .....	13
Chlor-Elektrolyse mit erneuerbarem Strom.....	14
Wasserstoff basierte Produktionsverfahren .....	15
Ammoniak und Harnstoff über die Wasserstoff-Route .....	15
Methanol aus Wasserstoff .....	16
Methanol aus Biomasse .....	17
Olefine aus Methanol.....	18
Bioethylen aus Ethanol.....	19
Vergleich der Potenziale der Low-Carbon Routen.....	20
Synthetische Treibstoffe .....	20
Klimaschutz-Beiträge chemischer Produkte .....	21
Szenarien einer Low-Carbon Chemieindustrie.....	24
Business as Usual (BAU) .....	24
Intermediate Szenario (Interm).....	25
Ambitious Szenario (Ambit) .....	28
Maximum Szenario (Max) .....	31
Zusammenfassung und Vergleich der Szenarien .....	34
Mengenentwicklung.....	34
Strombedarf und CO <sub>2</sub> -Reduktion .....	34
Rohstoffbedarf .....	36
Kostensituation .....	37
Veränderungen im Energiefluss .....	39
Resumee .....	40
Literatur, Hinweise .....	41

## Executive Summary

Die chemische Industrie ist seit jeher einer der Pfeiler unserer technisierten Gesellschaft. Es bedurfte vieler Entwicklungen und Innovationen, um den hohen technischen Standard und die Qualität der Produkte, die wir heute im Alltag verwenden, zu erreichen. Die Prozesse der chemischen Industrie sind im Grundstoffbereich mit großem Energie- und Rohstoffeinsatz und daraus resultierend mit Emissionen verbunden. Der Einsatz hocheffizienter KWK-Anlagen mit emissionsarmen Brennstoffen sowie die Forcierung der Abwärmenutzung führte in den letzten Jahren zu einer kontinuierlichen Entkopplung des Energieeinsatzes von der Produktionsleistung. Die verstärkte Verwendung von erneuerbaren Energieformen brachte eine zusätzliche Verringerung der CO<sub>2</sub>-Intensität und stellt einen weiteren wesentlichen Beitrag zum Klimaschutz dar.

Die chemische Industrie verwendet überwiegend fossile Rohstoffe (Rohöl und Erdgas, insgesamt etwa 20 Mio. Tonnen, das entspricht etwa 12 % des gesamten Rohstoffeinsatzes in Österreich, inklusive mineralischer und biogener Ressourcen). Bei der Verarbeitung fallen Treibhausgas-(THG)-Emissionen an, die in Relation zum Energieinhalt in den Produkten relativ gering sind, sie machen etwa 13 % der THG-Emissionen der österreichischen Industrie aus.

Wird der Energieinhalt der Produkte thermisch genutzt, führt der enthaltene fossile Kohlenstoff zu THG-Emissionen. Dies ist bei chemischen Produkten in der Regel erst am Ende der Nutzungsdauer der Fall, erfolgt bei Brenn- und Treibstoffen aber bereits im Rahmen der Nutzung. Im Sinne des Klimaschutzes wird daher zunehmend eine Decarbonisierung - eine Abkehr von der Verwendung fossiler Rohstoffe - gefordert.



Um mögliche Wege zur Decarbonisierung der chemischen Produktion zu untersuchen, hat der Europäische Chemieverband (CEFIC) die DECHEMA beauftragt, diesbezüglich eine Analyse für die chemische Industrie in Europa durchzuführen. Der Fachverband der Chemischen Industrie Österreichs hat beim Institut für Industrielle Ökologie eine Studie in Auftrag gegeben, die die europäische Analyse mit Szenarien bis 2050 auf die chemische Industrie in Österreich umlegt. Hierfür wurden die Annahmen und spezifischen Faktoren der DECHEMA als Ausgangsbasis verwendet. Ein wesentlicher Unterschied ist jedoch, dass die Ausrichtung auf erneuerbaren Strom in Österreich den Verzicht auf Atomstrom bedeutet, während in der EU bei low carbon energy auch Atomstrom inkludiert ist.

Schwerpunkte für die Decarbonisierung sind dabei:

- Weitergehende Effizienzsteigerungen
- Einsatz von erneuerbarem Strom

- Neue effiziente Prozesse wie z. B. Einsatz von Sauerstoff depolarisierten Kathoden (ODC) bei der Chlor-Alkali-Elektrolyse
- Neue Technologien im Bereich der Grundchemikalien:
  - Low Carbon Ammoniak Prozess unter Verwendung von Elektrolyse-Wasserstoff (anstelle von Methan)
  - Umstellung der Methanol- und Olefinproduktion (Ausgangsbasis für Kunststoffe): Hier wird auf fossile Rohstoffe zur Gänze verzichtet. Der benötigte Kohlenstoff wird als CO<sub>2</sub> aus Verbrennungsabgasen gewonnen. Der erforderliche Wasserstoff wird durch Elektrolyse von Wasser unter Einsatz von erneuerbarem Strom erzeugt.
  - Vermehrter Einsatz von Biomasse als Kohlenstoffquelle (ebenfalls für Methanol und Olefine)

Die einzelnen Szenarien der Decarbonisierung der chemischen Produktion in Österreich gehen von einem unterschiedlichem Ausmaß der Umsetzung der oben genannten neuen Prozesse aus. Sie werden mit dem Business-as-usual (BAU)-Szenario, der Veränderung durch die wirtschaftliche Entwicklung und die Weiterführung von Effizienzsteigerungen, verglichen.

Das Intermediate-Szenario betrachtet neben der kontinuierlichen Effizienzsteigerung den verstärkten Einsatz von erneuerbarem Strom für die Dampfbereitstellung und für Antriebe und Öfen bis hin zur vollständigen Umstellung im Jahr 2050. Die Einführung von Low-Carbon Prozessen beginnt erst langsam und erreicht 2050 30 % der Produktionsmenge an Grundstoffen.

Das Ambitious-Szenario geht bei der Energieeffizienzverbesserung und dem Einsatz von erneuerbarem Strom für die Dampfbereitstellung sowie für Antriebe und Öfen analog dem Intermediate-Szenario bis zur vollständigen Implementierung 2050. Die Einführung von Low-Carbon Prozessen deckt 2050 aber bereits 50 % der Produktionsmenge an Grundstoffen ab.

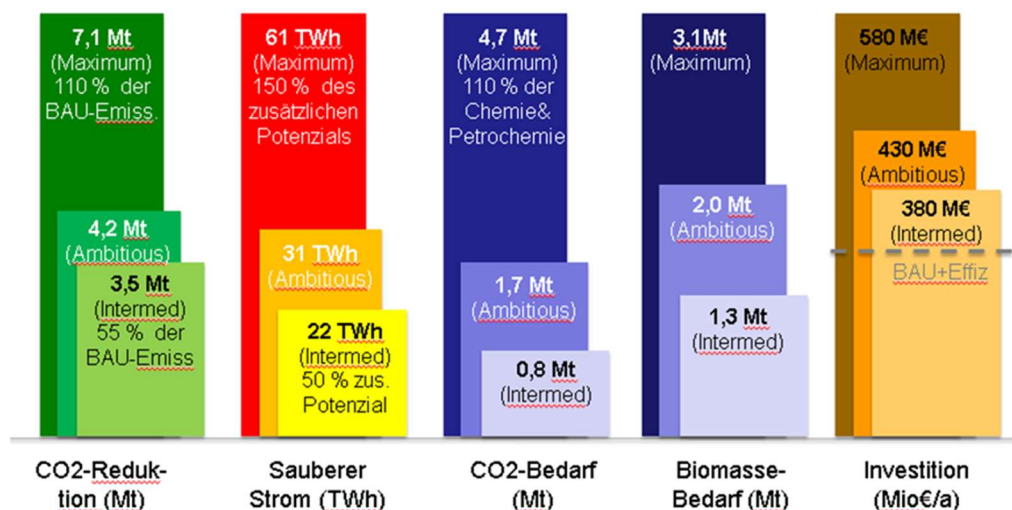
Die Effekte werden hier vor allem durch die Umstellung der Dampf- und Strombereitstellung erreicht. Die Wirkungen der neuen Technologien erreichen wegen der anfänglich noch langsamen Einführung erst gegen Ende des Betrachtungszeitraums nennenswerte Bedeutung. Die Ergebnisse zeigen eine Verschiebung weg vom Einsatz fossiler Brennstoffe hin zu erneuerbarem Strom. Trotz Effizienzsteigerungen steigt der Stromeinsatz, vorwiegend durch die Wasserstoffbereitstellung aus der Wasser-Elektrolyse, deutlich an und liegt 2050 im Intermediate-Szenario bereits über den im Business-as-usual erwarteten Verbrauchswerten, im Ambitious-Szenario mit 30 TWh sogar beim doppelten Wert. Dies entspricht etwa drei Viertel des gesamten Stroms aus Wasserkraft in Österreich bzw. der Leistung von ca. 30 Kraftwerken in der Größenordnung des Donaukraftwerkes Freudenaus. Die CO<sub>2</sub>-Reduktion liegt 2050 in beiden Szenarien mit 3,5 bzw. 4,1 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub> relativ ähnlich und entspricht etwa drei Viertel der gesamten Emission von Chemie und Raffinerie im BAU-Szenario.

Im Maximal-Szenario erfolgt schließlich die weitestgehende Decarbonisierung der chemischen Produktion durch Herstellung der Olefine (Grundkörper für Synthesen und für viele Kunststoffe) mittels CO<sub>2</sub> aus Abgasen sowie mit Wasserstoff aus der Wasser-Elektrolyse oder durch die Verwendung von Biomasse statt Rohöl. Dies führt zu einer weiteren,

deutlichen Steigerung des Stromeinsatzes. Unverändert bleibt die vollständige Umstellung des Dampfeinsatzes sowie der Antriebe und Industrieöfen auf erneuerbaren Strom bis 2050.

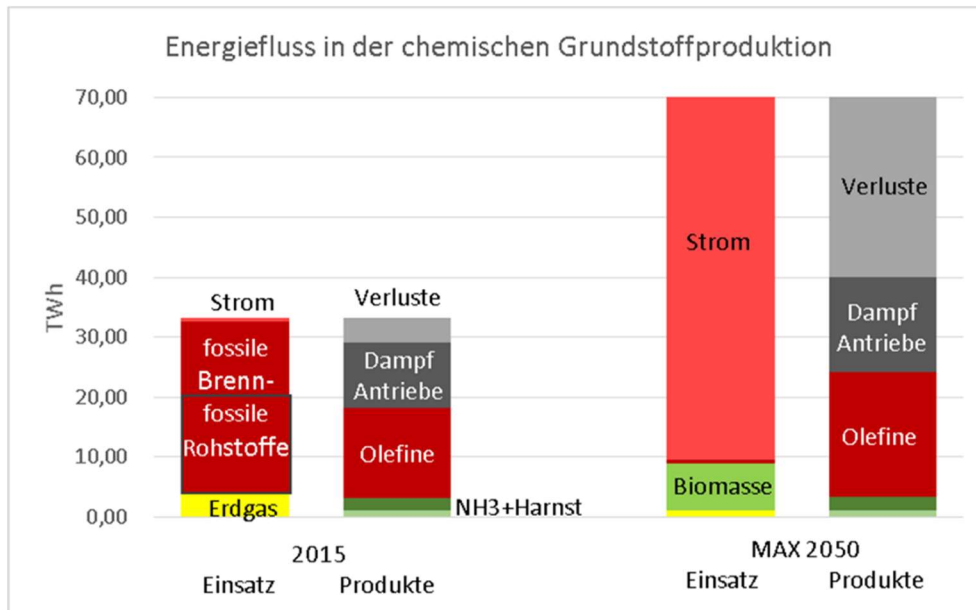
Die Bereitstellung des in diesem Szenario insgesamt notwendigen zusätzlich Strombedarfs von 60 TWh aus erneuerbaren Energieformen scheint aus heutiger Sicht nicht möglich, da dies nahezu dem gesamten Stromeinsatz des Jahres 2016 in Österreich entspricht. Die vollständig erneuerbare Stromherstellung ist zwar ein deklariertes politisches Ziel, deren Verdopplung für den Industrieinsatz oder die äquivalente Einsparung in den anderen Sektoren ist jedoch nicht realistisch. Die CO<sub>2</sub>-Reduktion im Maximum-Szenario übersteigt die im BAU erwartete Emission des Sektors Chemie und Raffinerie im Jahr 2050 (110% der BAU-Emissionen), was weitestgehender Decarbonisierung entspricht. Für die Bereitstellung des Kohlenstoffs fällt aber ein hoher Bedarf an CO<sub>2</sub> und auch Biomasse an. Bei den getroffenen Annahmen ergäbe sich ein CO<sub>2</sub>-Bedarf von 4,7 Mio. Tonnen, was etwa der gesamten derzeitigen THG-Emission von Chemie und Raffinerie entspricht. Die CO<sub>2</sub>-Abscheidung in diesem Ausmaß wäre aus ökonomischen Gründen nur bei großen Standorten mit hoher CO<sub>2</sub>-Emission, wie bei Kraftwerken mit mehr als 100 MW, möglich. Die Deckung des anfallenden Biomasse-Bedarfs (3 Mio. Tonnen trockene Biomasse im Maximal-Szenario) ist wegen der Konkurrenzsituation beim Rohstoff Holz schwierig, da dies in etwa dem gesamten Einsatz von Industrieholz in Österreich 2016 entspricht.

Die Implementierung der neuen Prozesse zur Decarbonisierung erfordert den Ersatz und die Neuerrichtung von Anlagen, was mit hohen Investitionskosten in der chemischen Industrie verbunden ist. Bei maximaler Umsetzung wären alleine für die Grundstoffherstellung jährliche Investitionen von etwa 580 Mio. Euro notwendig. Investitionen für die Weiterverarbeitung sind dabei nicht enthalten und wären weiterhin notwendig. Ebenso wenig fanden Investitionen im Energiesektor für die Bereitstellung des erneuerbaren Stroms sowie der Ausbau der Netze und Speicher in den Berechnungen Berücksichtigung.



Nachfolgend werden die Veränderungen durch die neuen Prozesse zur Decarbonisierung für die Bereitstellung der chemischen Grundstoffe in Form eines Energieflusses dargestellt. Bei diesem sind sowohl die Rohstoffe als auch der Energieeinsatz sichtbar. Für den Vergleich wird die Situation 2015 dem Maximal-Szenario für 2050 gegenübergestellt.

Die aktuelle Situation der Grundstoffherstellung baut auf dem Einsatz von Rohöl und Erdgas auf, aus denen auch die wesentlichen Energieträger bereitgestellt werden. Der Einsatz von Fremdstrom ist demgegenüber relativ gering. Im Vergleich zeigt sich im MAX-Szenario durch den Umstieg vom fossilen Rohstoff großteils auf die Wasserstoffroute eine mehr als Verdreifachung des Strombedarfs gegenüber dem konventionellen Energiebedarf, der aus erneuerbaren Quellen gedeckt werden müsste. Durch den notwendigen Aufbau der chemischen Strukturen aus Wasserstoff und CO<sub>2</sub> ergeben sich aber auch deutlich höhere Verluste von etwa 50 % des notwendigen Stromeinsatzes.



Für eine vollständige Abkehr vom Einsatz von Rohöl wäre auch die Umstellung der Brenn- und Treibstoffe auf eine erneuerbare Basis notwendig, die primär den Energiebereich betrifft und im Rahmen dieser Arbeit nicht betrachtet wurde.

### Fazit

- Der Einsatz von erneuerbarem Strom ohne Atomstrom ist für Österreich ein Eckpfeiler in der Decarbonisierung der chemischen Produktion. Effizienzsteigerungen und der Stromeinsatz für Antriebe und die Dampfbereitstellung können die CO<sub>2</sub>-Emission der chemischen Industrie bis 2050 etwa auf die Hälfte reduzieren. Der zusätzliche Bedarf an erneuerbarem Strom von 15 TWh entspricht dabei etwa dem aktuellen Energieverbrauch von Chemie und Raffinerie.
- Neue Verfahren der Chlor- und der Düngemittelherstellung mit der Verwendung von erneuerbar erzeugtem Wasserstoff enthalten bereits wesentliche Elemente der Decarbonisierung. Sie führen zu einer weiteren Reduktion von etwa 1,5 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub>, erfordern aber neben dem Investitionsaufwand auch zusätzlichen erneuerbaren Strom in Höhe von 5 bis 7 TWh, was etwa der Hälfte des Energieeinsatzes von Chemie und Raffinerie entspricht.
- Die zusätzliche Bereitstellung von Kunststoffen ohne fossile Rohstoffe entweder durch Reduktion von CO<sub>2</sub> aus Abgasen mit Wasserstoff aus der Wasser-Elektrolyse oder der Verwendung von Biomasse hätte maßgebliche Klimaeffekte. Insgesamt würde die CO<sub>2</sub>-Reduktion über die erwartete Emission von Chemie und Raffinerie im Jahr 2050 hinaus gehen. Sie erfordert insgesamt aber erneuerbaren Strom in Höhe

des aktuellen gesamten Stromverbrauchs in Österreich, deren zusätzliche erneuerbare Bereitstellung für die produzierende Industrie schwer vorstellbar ist. Auch die Deckung des entstehenden Bedarfs an 4,5 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub> aus Rauchgasen und von 6 Mio. Festmeter Holz erscheint derzeit unrealistisch.

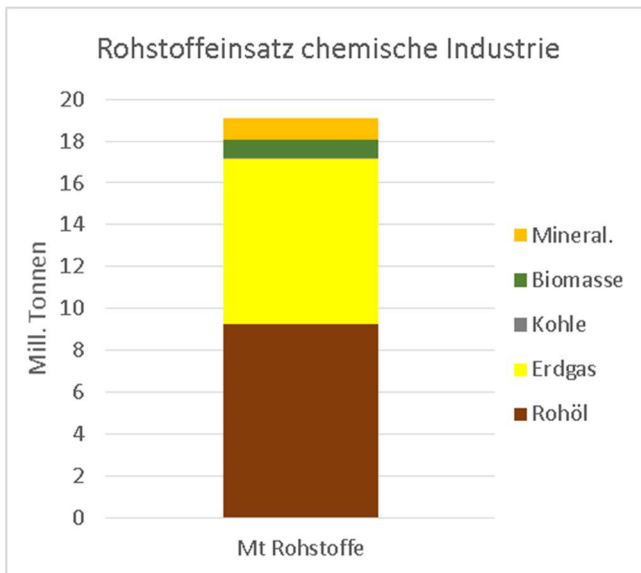
- Der Ausstieg aus fossilen Rohstoffen zeigt nicht die oft erwartete Reduktion des Energiebedarfs. Die Herstellung von chemischen Grundstoffen über die Wasserstoff-Route ist mit hohem Strombedarf und auch einer deutlichen Steigerung der Verluste verbunden, da die chemischen Strukturen aus Wasserstoff und CO<sub>2</sub> oder über Biomasse erst aufgebaut werden müssen, was hohen Energieeinsatz erfordert.
- Der Erhalt des Materials in den chemischen Produkten erscheint damit vorrangig. Dies wäre durch Recycling bei sortenreiner Trennung oder Neu-Synthese nach chemischer Zerlegung in Grundbausteine bei vermischten Materialien möglich und würde fossile Emissionen aus den Produkten vermeiden. Allerdings muss dabei der Aufwand von Sammlung, Trennung und Aufarbeitung berücksichtigt werden.
- Die Umsetzung der betrachteten Decarbonisierungswege führt zu hohen Investitionskosten und zwischenzeitlich auch zu höheren Kosten der Produkte, die eine Verschlechterung der Konkurrenzfähigkeit am Markt mit sich bringen würde.

## Einleitung

### Hintergrund

Die chemische Industrie ist seit jeher einer der Pfeiler unserer technisierten Gesellschaft, indem sie viele Produkte unseres täglichen Lebens liefert. Es bedurfte vieler Entwicklungen und Innovationen, um zu dem hohen technischen Standard und der Qualität der Produkte, die wir heute im Alltag verwenden, zu kommen. Diese Entwicklungen haben oft in Wellen stattgefunden, nach anfänglicher Begeisterung über neue Produkte zeigten sich negative Effekte, die zu Gegenbewegungen führten und neue Herausforderungen für die Entwickler darstellten. Die Annahme dieser neuen Herausforderungen war eine der Triebfedern für die ständige Weiterentwicklung der Funktion und auch der Umwelteigenschaften der Produkte.

Die Herstellung der großen Vielzahl an Produkten, die wir heute nutzen, ist natürlich auch mit Energie- und Rohstoffeinsatz sowie auch mit Emissionen verbunden. Die Chemische Industrie inklusive der Petrochemie ist einer der energieintensiven Produktionsbereiche, daher wird seit Langem auch aus Gründen der Kostenoptimierung eine effiziente



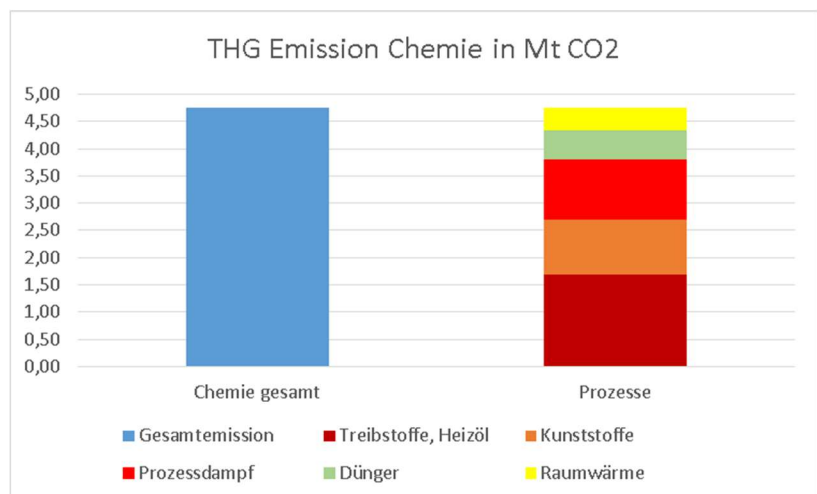
Ressourcennutzung und die Reduktion des Energieeinsatzes in der Produktion angestrebt.

Die chemische Industrie setzt überwiegend fossile Ressourcen (v.a. Rohöl und Erdgas) ein, die großteils aus Importen stammen. Die Aufbereitung in der Raffinerie und die Weiterverarbeitung zu den Endprodukten erfolgt in Österreich.

Abbildung 1: Rohstoffeinsatz der chemischen Industrie in Österreich, eig. Darstellung

Insgesamt machen die dabei anfallenden THG-Emissionen etwa 13 % der gesamten österreichischen Industrie aus, die Aufteilung nach deren Herkunft zeigt die folgende Abbildung. In Relation zum Energieinhalt in den Produkten ist der Aufwand der Bereitstellung relativ gering.

Abbildung 2: THG-Emissionen der österreichischen chemischen Industrie, eig. Darstellung





Studien zeigen, dass in vielen Bereichen durch chemische Produkte mehr Energie und Emission eingespart werden, als diese bei der Herstellung freisetzen (siehe auch das Kapitel „Klimaschutzbeiträge chemischer Produkte“). Nach ihrer Nutzung stellen die Produkte ein maßgebliches Energiepotenzial dar, führen aber wegen des gebundenen fossilen Kohlenstoffs auch zu einer Emission von fossilem CO<sub>2</sub>, das zur Klimabelastung beiträgt.

Durch das verstärkte Streben nach naturnahen Produkten und Produktionsformen werden in der chemischen Industrie Wege zum Ausstieg aus der Verwendung von fossilen Rohstoffen gesucht. Diese werden allgemein als Decarbonisierung der Produktionswege und des Energiesystems bezeichnet und stellen eine neue Herausforderungen für die chemische Industrie dar

## Ziel

Angesichts der laufenden Diskussionen war es notwendig, Wege zur Decarbonisierung der chemischen Produktion für zukünftige Strategien und Perspektiven zu suchen. Die DECHEMA hat im Auftrag des Europäischen Chemieverbandes CEFIC vor Kurzem eine derartige Analyse für die chemische Industrie in Europa durchgeführt<sup>1</sup>, die hier im Auftrag des Fachverbands der Chemischen Industrie auf Österreich umgelegt wird. Schwerpunkte dabei sind speziell der Einsatz erneuerbarer Energieformen, der letztlich auch eine Abkehr von den fossilen Rohstoffen unterstützen soll. Mit erneuerbarer Energie (Low Carbon Power) soll Wasserstoff durch Elektrolyse von Wasser regenerativ bereitgestellt werden (siehe nachfolgende Abbildung). Anstelle fossiler Kohlenwasserstoffe steht der Einsatz von CO<sub>2</sub> aus Abgasen oder Kohlenstoff aus Biomasse im Zentrum einer Decarbonisierung. Die Annahmen und die spezifischen Faktoren werden von der DECHEMA-Studie übernommen und auf die Produktion in Österreich angewendet.

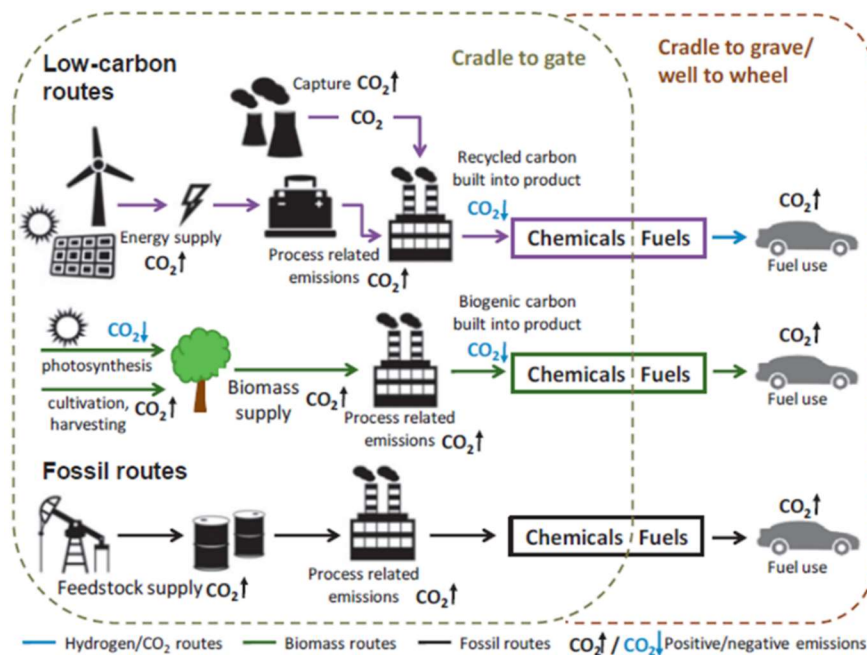


Abbildung 3: Wege zur Decarbonisierung, Qu: DECHEMA

<sup>1</sup> DECHEMA 2017. „Low Carbon Energy and Feedstock for the European Chemical Industry“ im Auftrag des CEFIC

Der Aufbau von Kohlenwasserstoffen aus CO<sub>2</sub> und Wasser entspricht der Umkehrung der Verbrennungsreaktion und benötigt daher große Mengen an Energie. Die Decarbonisierung des Energiesektors mit Ausrichtung auf die Abdeckung des Strombedarfs über erneuerbare Energieformen ohne Atomstrom ist für Österreich eine der notwendigen Erfordernisse für die Abkehr vom Einsatz fossiler Rohstoffe in der Chemischen Industrie.

Neben diesen grundsätzlichen Umstellungen im Produktionssystem werden aber auch die kontinuierliche weitere Verbesserung und die Effizienzsteigerung mit einbezogen. Das Ausmaß der Fortführung der konventionellen Verbesserungen und der „revolutionären“ Systemänderung werden in Szenarien auf ihre Effekte hinsichtlich Energie- und Rohstoffbedarf sowie CO<sub>2</sub>-Reduktion betrachtet.

## **Methodik und Durchführung**

In Analogie zur DECHEMA-Studie betrifft der Umfang der Betrachtung die gesamte chemische Industrie in Österreich. Damit kommt es teilweise zu Überschneidungen mit der Erdölaufarbeitung in der Raffinerie, die vor allem die Bereitstellung der Kunststoffmonomere (Olefine) betrifft. Da der Schwerpunkt der Betrachtung auf der chemischen Industrie liegt, werden die Energieträger Öl und Erdgas sowie die Treibstoffe nicht detailliert betrachtet. Es werden nur die Wege und Möglichkeiten, hier ebenfalls zu decarbonisieren, beschrieben, allerdings nicht in den Szenarien quantifiziert.

Da die chemische Industrie eine große Zahl an Produkten verarbeitet, werden hier nur die für eine Decarbonisierung wesentlichsten Grundstoffe betrachtet, die Ausgangsprodukte für eine große Zahl an Endprodukten sind. Dabei handelt es sich um folgende Grundstoffe:

- Chlor mit Natronlauge als Koppelprodukt
- Ammoniak und Harnstoff für Dünger und Kunststoffe
- Methanol für Synthesen
- Olefine (Ethylen, Propylen) als zentrale Grundstoffe für Kunststoffe und viele andere Produkte

Die Auswahl der Produkte entspricht jener der DECHEMA-Studie, die Umlegung auf Österreich erfolgt unter Bezug auf die österreichischen Produktionsmengen unter Berücksichtigung der nationalen Rahmenbedingungen. Damit sind nicht nur die Mengen deutlich niedriger als in der EU, sondern auch die Anteile der einzelnen Grundstoffe unterschiedlich. Speziell der Anteil der Kunststoffe liegt im Vergleich relativ hoch.

Insgesamt werden bei der Umlegung auf Österreich folgende Prozesse bzw. Verbesserungen betrachtet:

- Steigerung der Energie- und Prozesseffizienz
  - Kontinuierliche Verbesserung
  - Sanierung von Anlagen
  - Einsatz von Best-Practise Technologien
- Decarbonisierung der Energiebereitstellung
  - Verwendung von Low Carbon Strom für die Dampfbereitstellung
  - Forcierung des Einsatzes von Brüdenkompression
  - Einsatz von Low Carbon Strom für Industrieöfen und Antriebe

- Herstellung von Wasserstoff aus der Elektrolyse von Wasser mit Low-Carbon Strom
  - Alkalische Elektrolyse
  - Proton-Exchange-Membran (PEM) Elektrolyse
  - Wasserdampf-Elektrolyse mit Keramikmembran
- Low Carbon Ammoniak Prozess - Verwendung von Elektrolyse-Wasserstoff für die Ammoniak-Herstellung (anstelle von Methan)
- Herstellung von Kohlenwasserstoffen ohne fossile Rohstoffe
  - Methanol mit Elektrolyse-Wasserstoff
  - Methanol aus Biomasse
  - Olefine aus Methanol (MTO-Prozess)
  - Ethylen aus Ethanol (Bio-Ethylen)
- Herstellung von Treibstoffen aus Biomasse mit der Fischer-Tropsch (FT) Synthese (wird nicht quantifiziert)

## Prozesse der Decarbonisierung

Nachfolgend werden die einzelnen Schritte in Richtung einer Decarbonisierung beschrieben. Dabei werden die konventionellen Prozesse und die für eine Decarbonisierung notwendigen Umstellungen sowie die Unterschiede zu den bisherigen Prozessen kurz dargestellt und ihre möglichen Effekte für Österreich angegeben.

## Energieeffizienz Potenziale

Diese Potenziale werden durch einen kontinuierlichen Verbesserungsprozess zur Energieeffizienz-Steigerung, der in Betrieben durch zahlreiche Programme (ISO 14000, EMAS,..) implementiert ist, genutzt. Sie hat dazu geführt, dass in den letzten Jahren der Energieeinsatz in der Industrie generell trotz steigender Produktionsmengen kaum gestiegen ist, was eine Entkopplung des Energieeinsatzes vom Materialdurchsatz darstellt.

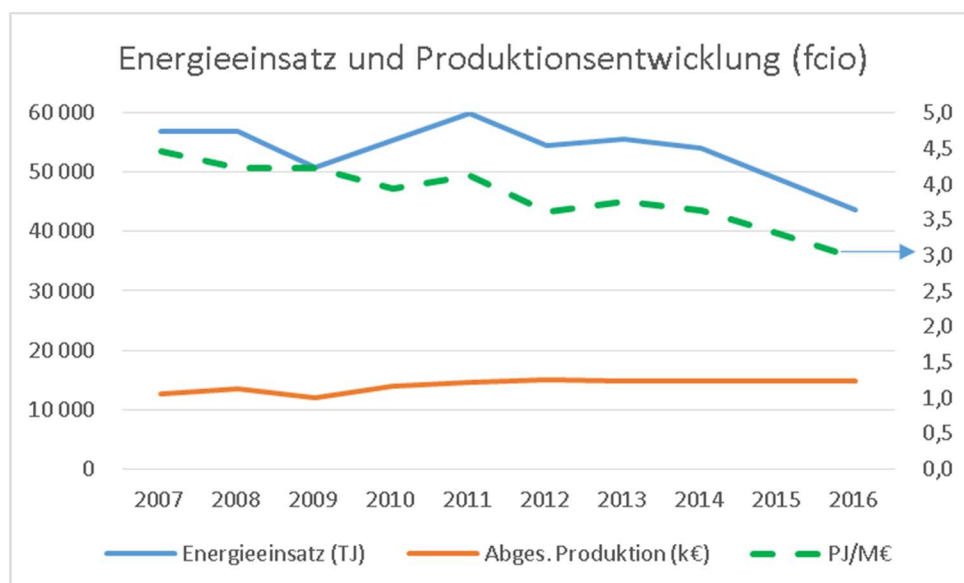


Abbildung 4: Entkopplung von Energieeinsatz von der Produktion in der chemischen Industrie Österreichs, eig. Darstellung

Der Einsatz hocheffizienter KWK-Anlagen mit emissionsarmen Brennstoffen führte zu einer beständigen Senkung des spezifischen Energieeinsatzes bezogen auf die Produktionsleistung. Der Umstieg auf wenig emissionsintensive Brennstoffe sowie der verstärkte Einsatz von erneuerbaren Energieformen führten zu einer Verringerung der CO<sub>2</sub>-Intensität und stellen wesentliche Beiträge zum Klimaschutz dar. So weist die österreichische Chemische Industrie einen CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor<sup>2</sup> von 37 t CO<sub>2</sub>/TJ auf, der nur bei 60 % des EU-Wertes liegt.

Zur Steigerung der Energie- und Prozesseffizienz“ werden hier folgende Maßnahmen betrachtet:

- Kontinuierliche Verbesserung der Effizienz und Sanierung von Anlagen im Rahmen der normalen Geschäftstätigkeit. Hier rechnet man aus der Erfahrung von „Technology Roadmaps“ mit Verbesserungen zwischen 0,2 bis 1% pro Jahr.
- Umstieg auf Best-Practise Technologien, die oft eine komplette Umstellung im Rahmen einer Neuinstallation erfordern. Bei modular aufgebauten und komplexen Anlagen ist aber auch die Erneuerung von Anlagenteilen möglich, die dann Best Practise ohne vollständigen Ersatz nahe kommen. Die dabei möglichen Einsparungen sind bei den einzelnen Prozessen sehr unterschiedlich, sie liegen bei petrochemischen Crack-Prozessen bei 10 % und können EU-weit bis über 50 % bei der Ammoniakherstellung gehen.
- Wärmeintegration und Abwärmenutzung bieten noch immer große Potenziale in Betrieben. Die Umsetzung dieser Maßnahmen ist nicht durch die technische Machbarkeit determiniert, sondern hängt meist von der Wirtschaftlichkeit ab. Durch die hohen Energiekosten sind speziell in der energieintensiven Industrie aber die großen Potenziale bereits ausgeschöpft. Die Lukrierung der verbleibenden Potenziale hängt von einer weiteren Steigerung der Energiekosten ab.

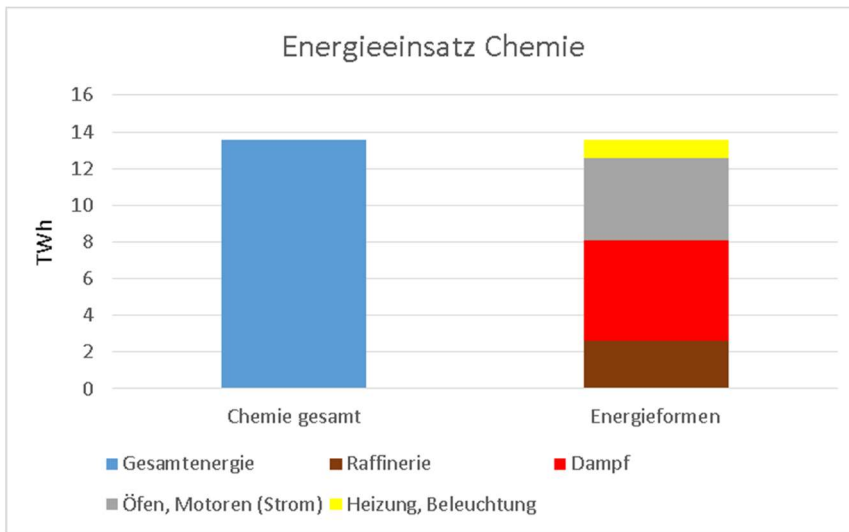
Für die Abschätzung der Effekte muss immer der aktuelle Stand der Prozesse berücksichtigt werden, da der Spielraum bei gutem technischen Standard oft nur mehr gering ist. Unter Berücksichtigung der aktuellen Situation wird eine jährliche Einsparung von 0,56 % der Energie angenommen, mit der bis 2050 eine Einsparung von bis zu 20 % des Energieeinsatzes erzielt werden könnte. In der chemischen Industrie würde dies bei einem emissionsintensiven Energiesystem eine Reduktion von über 0,2 Mt CO<sub>2</sub> ermöglichen. Bei niedriger Emissionsintensität würde sich diese bei weiterer Verringerung der Emissionsintensität auf unter 0,1 Mt reduzieren. Bei Einbeziehung der Raffinerie wären Reduktionen bis zu 1 Mio. t CO<sub>2</sub> möglich.

---

<sup>2</sup> Emission pro Energieeinheit unter Berücksichtigung des Energie-Mixes der Branche

## Low-Carbon Strom für Prozesswärme und Stromverbraucher

Die Bereitstellung von Prozessenergie erfolgt in der chemischen Industrie und der Raffinerie in hohem Maße mit Dampf, daneben macht auch der Stromeinsatz für Öfen und Motoren



maßgebliche Anteile aus (siehe Abbildung). In der Raffinerie sind beide Energieformen gemeinsam vertreten. Die Anteile von Heizung und Beleuchtung sind nur untergeordnet.

Abbildung 5: Energieeinsatz in der Chemischen Industrie (inkl. Raffinerie) in Österreich, eig. Darstellung

Damit kommt dem Brennstoffeinsatz für die Wärme- und Strombereitstellung große Bedeutung zu, da diese auch bei den Emissionen wesentliche Anteile haben. Hinter dem Einsatz von Dampf in Prozessen steht eine CO<sub>2</sub>-Emission von etwa 1 Mio.t, knapp dahinter folgt die hinter dem Stromeinsatz stehende Emission mit 0,8 Mio.t.

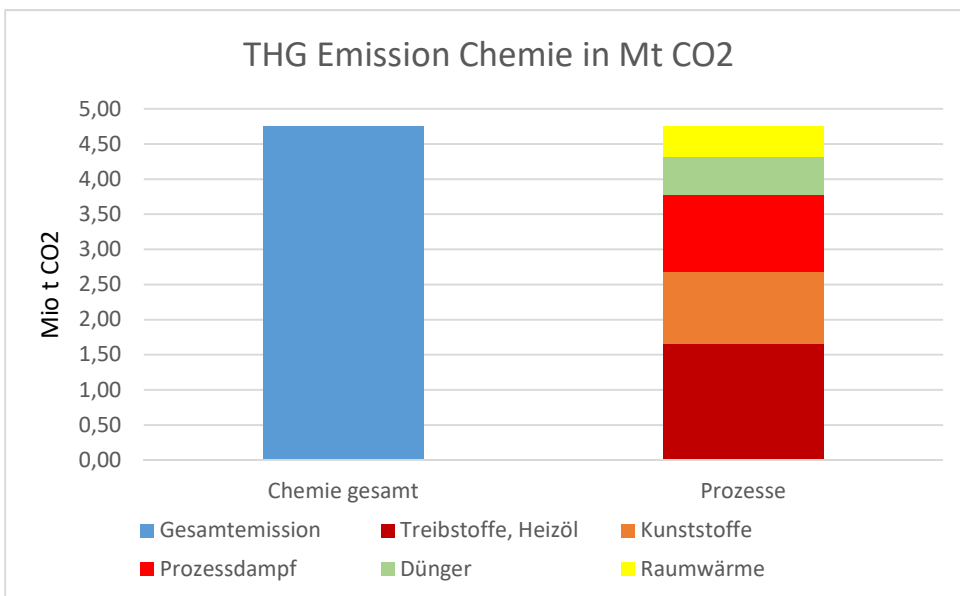


Abbildung 6: THG-Emissionen der chemischen Industrie (inkl. Raffinerie) in Österreich, eig. Darstellung

Im Rahmen einer Decarbonisierung ist die Nutzung von erneuerbarem Strom auch für die Dampfbereitstellung oder direkt für „Power to Heat“ Anwendungen anstelle der Bereitstellung von Dampf mit Kesselanlagen möglich. Diese Stromanwendungen sind zwar grundsätzlich hocheffizient, allerdings ist die Nutzung von Dampfüberschüssen aus Prozessen und von Abwärme bei „Power to Heat“ nicht mehr in dieser Form möglich. Daher

müssen diese Energiebeträge, die bisher aus Abwärme gedeckt wurden, in einem Ausmaß von etwa 20 % zusätzlich aufgebracht werden.

Ebenso wird der Einsatz von erneuerbarem Strom auch für Antriebe und Öfen angenommen. Eine effiziente Möglichkeit des Stromeinsatzes ist die Anwendung von Brüdenkompression, die Nutzung des gebildeten Dampfes für Heizzwecke durch Steigerung des Drucks. Dies entspricht dem Prinzip der Wärmepumpe und hat bereits vielfache Anwendung speziell bei Verdampfern in der Chemischen Industrie, wobei zukünftig mit Leistungszahlen (Verhältnis der erhaltenen zur eingesetzten Energie, liegt derzeit zwischen 3 und 5) zwischen 5 und 10 gerechnet wird. Es handelt sich wegen des erprobten Einsatzes und der Einsparung von Brennstoff um eine auch ökonomische Technologie vor allem für Großanlagen. Bei kleinen Anlagen fallen die zusätzlichen Investitionen gegenüber der Einsparung stärker ins Gewicht.

Zukünftig wird wegen der angenommenen Steigerung der Wirtschaftsleistung (ohne Berücksichtigung einer kontinuierlichen Effizienzsteigerung) auch mit einer Steigerung des Dampf- und Strombedarfs gerechnet. Dadurch wird insgesamt mit einer Erhöhung des Strombedarfs von 10 TWh 2015 auf 15 TWh bis 2050 gerechnet, der dann erneuerbar bereitgestellt werden muss. Dieser Umstellung zur Deckung des Energiebedarfs steht eine deutliche Reduktion bei der CO<sub>2</sub>-Emission im Ausmaß von 2,3 bis 2,5 Mio.t gegenüber, der Anteil der Dampfbereitstellung liegt hier bei der Hälfte bis zwei Drittel.

### **Chlor-Elektrolyse mit erneuerbarem Strom**

Die Chlor-Herstellung stellt einen Sonderfall im Zuge der Decarbonisierung dar, da sie bereits derzeit auf dem Einsatz von Strom aufbaut. Die CO<sub>2</sub>-Emission ist damit von der Menge an Strom pro Produktmenge einerseits und andererseits von der Emissionsintensität des verwendeten Stroms abhängig. Es besteht damit ein enger Zusammenhang mit der Decarbonisierung des Strommarktes.

Durch die Umstellung der Chlor-Herstellung auf das Membran-Verfahren ist die wesentlichste Belastung durch das Quecksilber weggefallen. Allerdings ist der hohe Stromverbrauch als Herausforderung verblieben. Verfahrensumstellungen und -verbesserungen setzen hier an und streben eine effizientere Nutzung des Stroms an.

- Umstellung Amalgam- auf Membran-Verfahren bringt eine Reduktion von etwa 23 % des Stromverbrauchs, allerdings ist eine weitere Aufkonzentrierung der Natronlauge notwendig
- Umrüstung von Membran-Zellen auf ODC-Technologie (Sauerstoff depolarisierte Kathode). Damit werden die Verluste reduziert und die Menge an Nebenprodukten verringert. Daraus ergibt sich eine weitere Energieeinsparung im Ausmaß von 30 %, die allerdings durch das Fehlen von Wasserstoff als Nebenprodukt gemindert wird.

In Österreich wird die Chlor Elektrolyse an einem Standort durchgeführt, der bereits mit einem Membranverfahren nach dem Stand der Technik ausgerüstet ist. Hier wurde daher der Einsatz der ODC-Technologie betrachtet. Aufgrund der besseren Effizienz ergibt sich eine Reduktion des Stromeinsatz um etwa ein Drittel auf 0,13 TWh, der dann erneuerbar bereitgestellt werden müsste. Diese Umstellung in der Bereitstellung bewirkt auch den großen Teil der Emissionsreduktion von insgesamt 0,02 Mio.t CO<sub>2</sub>.

## Wasserstoff basierte Produktionsverfahren

Die Decarbonisierung der Herstellung chemischer Produkte basiert im Wesentlichen auf der Umkehrung der Verbrennungsreaktion. Aus Kohlenstoff oder Kohlenstoffoxiden ( $\text{CO}_2$  oder  $\text{CO}$ ) werden mit Wasserstoff Kohlenwasserstoffe aufgebaut. Während  $\text{CO}_2$  grundsätzlich verfügbar ist, allerdings die Konzentration und die Mengen der jeweiligen Quellen (Rauchgase, Deponiegas, Biogas, etc.) wesentlich sind, ist die Bereitstellung von Wasserstoff der energetisch bedeutende Schritt. Im konventionellen Prozess wird der Wasserstoff über Methan bereitgestellt, wobei neben dem Wasserstoff der Reaktion entsprechend auch  $\text{CO}_2$  entsteht. Für die Decarbonisierung wird Wasserstoff durch elektrolytische Spaltung von Wasser erzeugt. Folgende Verfahren stehen zur Verfügung:

- Alkalische Elektrolyse mit wässriger Kalilauge unter  $100^\circ\text{C}$ , der spezifische Energieeinsatz beträgt  $4,3 \text{ kWh/m}^3$  Wasserstoff.
- Membranelektrolyse mit einer Protonen-leitenden Membran (Proton-Exchange-Membran (PEM)) bei unter  $100^\circ\text{C}$ , der spezifische Energieeinsatz beträgt  $4,0 \text{ kWh/m}^3$  Wasserstoff
- Wasserdampfelektrolyse mit einer Keramikmembran als Sauerstoffionenleiter bei unter  $1000^\circ\text{C}$ , damit ist eine deutliche Reduktion des spezifischen Energieeinsatzes auf  $2,6 \text{ kWh/m}^3$  Wasserstoff möglich

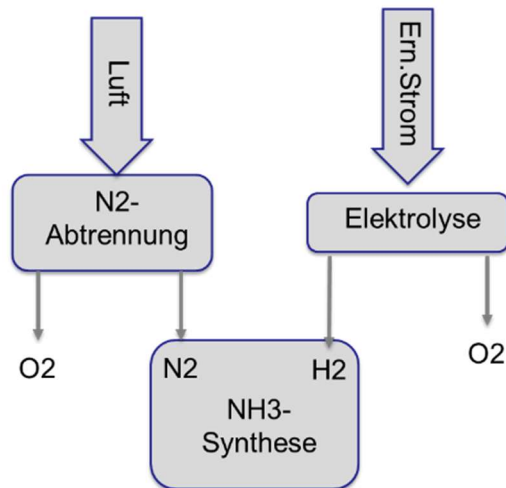
Die Erzeugungskosten für Wasserstoff hängen maßgeblich von den Energiekosten ab und liegen bei den Elektrolyse-Verfahren etwa beim doppelten Wert der Dampfkonzersion. Längerfristig wird bei steigenden Mengen und größeren Anlagen mit deutlichen Kostensenkungen gerechnet. Der Carbon Footprint der elektrolytischen Verfahren liegt bei Einsatz von Windstrom bei  $0,56 \text{ t CO}_2/\text{t H}_2$  ohne die Berücksichtigung des gebildeten Sauerstoffs.

## Ammoniak und Harnstoff über die Wasserstoff-Route

Die Herstellung von Ammoniak ist einer der wesentlichen Industrieprozesse und wird weltweit in großtechnischen Anlagen nach dem Haber-Bosch Verfahren durchgeführt. Dabei wird der Wasserstoff in einer Erdgasreformierung erzeugt, der dann mit Stickstoff aus dem Prozessabgas bei hohem Druck zu Ammoniak umgesetzt wird. Das bei der Reformierung entstehende  $\text{CO}_2$  wird teilweise aus dem Abgas abgetrennt und für die Herstellung von Harnstoff und weiter zu Melaminharz verwendet.

Bei Umstellung der Düngerherstellung auf eine Low Carbon Ammoniak Route würde die Bereitstellung des Wasserstoffs über die Elektrolyse von Wasser mit erneuerbarem Strom erfolgen und damit die  $\text{CO}_2$ -Emission aus der Erdgasreformierung vermeiden.

Allerdings müsste für die nachfolgende Haber-Bosch Reaktion der Sauerstoff aus der Reaktionsluft abgetrennt werden, um den Stickstoff für die Ammoniaksynthese zu liefern, während beim konventionellen Verfahren der Stickstoff im Abgas des Reformers anfällt.



Der weitere Prozess mit der Reaktion bei etwa 200 bar erfolgt wie bisher.

Die daran angeschlossene Produktion von Harnstoff ist technisch sehr eng mit der Ammoniak-Herstellung verknüpft. Ammoniak und CO<sub>2</sub> werden mit hohem Druck und hoher Temperatur direkt in den Reaktor eingebracht, die getrennte Angabe von Energie- und Emissionsdaten für die Harnstoffproduktion ist daher schwierig.

Abbildung 7: Schema der Low Carbon Ammoniak-Synthese, Qu. DECHEMA

Die benötigte Menge an CO<sub>2</sub>, 0,7 t CO<sub>2</sub> pro t Harnstoff, wird konventionell aus dem Abgas des Reformers entnommen und muss beim Low Carbon Prozess anderwertig bereitgestellt werden. Dies kann als zusätzliche Emissionsreduktion gerechnet werden.

Für die in Österreich jährlich hergestellte Menge an Ammoniak wird etwa ein Fünftel der Menge an Wasserstoff benötigt, für den sich über den Elektrolyseweg ein Strombedarf von 4,5 TWh ergibt. Der zusätzliche Energiebedarf der Kompressoren führt zu einem Strombedarf von etwa 5,5 TWh gesamt, dies entspricht fast dem dreifachen Wert des Energiebedarfs nach der konventionellen Route. Bei erneuerbarem Strom ergibt sich eine Emissionsreduktion von etwa 0,5 Mio.t CO<sub>2</sub>, die sich durch das für den Harnstoff notwendige CO<sub>2</sub> noch um etwa ein Viertel erhöht.

Berücksichtigt man die Entwicklung der Produktionsmengen so kann man von einem Strombedarf im Jahr 2050 von über 7 TWh und einer Emissionsreduktion von über 1 Mio.t CO<sub>2</sub> inklusive der Harnstoffproduktion ausgehen.

Um die Vorteile der Elektrolyse-Route zu nutzen, aber die Nachteile des höheren Aufwandes durch die Sauerstoffabtrennung zu umgehen, wäre ein Hybrid-Verfahren mit Kombination beider Verfahren geeignet. Dies würde einen flexiblen Betrieb ermöglichen, weiterhin die Verwendung des Stickstoffs im Reformers-Abgas und die Nutzung des anfallenden CO<sub>2</sub> erlauben, für das aber dann keine zusätzliche Emissionsreduktion gerechnet werden kann.

## Methanol aus Wasserstoff

Methanol kann für eine zukünftige Decarbonisierung ein Schlüsselprodukt werden. Es wird für Österreich nachfolgend vor allem die Umsetzung zu Olefinen betrachtet, es kann aber auch für die Herstellung von Aromaten und Treibstoffen verwendet werden. Methanol wird heute über Reformierung von Erdgas gewonnen. Das dabei gebildete Gas wird im Methanol-Konverter umgesetzt, nicht reagierte Anteile werden im Kreislauf geführt. Der Energiebedarf liegt bei 2,8 bis 3,3 MWh/t, wobei noch eine Dampfauskopplung von bis zu 0,5 MWh genutzt werden kann.

Low-Carbon Wege gehen von Wasserstoff aus einer Elektrolyse aus, der dann mit CO<sub>2</sub> oder CO zu Methanol reagiert. Abhängig vom Ausgangsprodukt muss das CO zu Wasserstoff



Verhältnis mit Wasserdampf (Shift Reaktion) eingestellt werden. CO<sub>2</sub> kann aus Kraftwerks-Abgasen abgetrennt werden, CO könnte in Synergien mit der Stahlindustrie aus Abgasen des Hochofens bereitgestellt werden. CO-haltige Abgase fallen in der Stahlindustrie bei mehreren Prozessen an, sie werden derzeit allerdings im Rahmen eines Gesamtenergiekonzepts energetisch verwertet. Zukünftige Veränderungen in der Eisen- und Stahlherstellung könnten hier aber große Potenziale bieten.

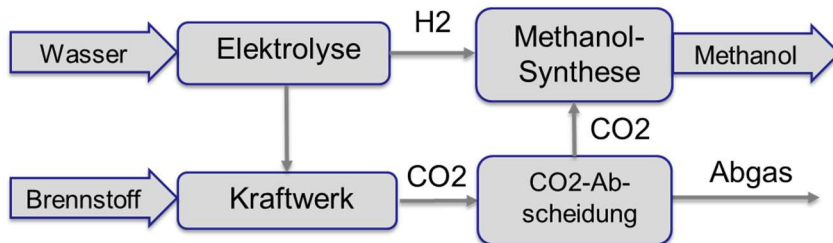


Abbildung 8: Low Carbon Methanol Synthese, Qu. DECHEMA

Der Energiebedarf des Low Carbon Verfahrens ist durch die Herstellung von Wasserstoff über die Elektrolyse bestimmt, er beträgt etwa 10 MWh Strom, die für eine Tonne Methanol notwendig sind. Zusätzliche Aufwendungen werden mit etwa 1,5 MWh/t abgeschätzt, wobei auch der fehlende Dampfüberschuss berücksichtigt ist. Der Energieaufwand liegt damit etwa beim dreifachen Wert der fossilen Herstellung. Für die THG-Emission ergibt sich durch den Einsatz von CO<sub>2</sub> eine Gutschrift in der Höhe von 0,67 t CO<sub>2</sub>/t Methanol, die in Relation zur Emission des fossilen Herstellwegs von 0,85 t CO<sub>2</sub>/t letztlich zu einer Vermeidung von 1,5 t CO<sub>2</sub> pro Tonne Methanol führt. Angesichts der geringen Methanol Produktion in Österreich ergibt sich daraus nur eine marginale CO<sub>2</sub>-Einsparung. Dieser Wert wird nachfolgend aber auch in den Szenarien für die Bereitstellung von Methanol vor allem für die nachfolgende Olefinherstellung im MTO-Prozess verwendet, wo sich für diese Route dann aufgrund der erheblichen Mengen maßgebliche Effekte ergeben.

## Methanol aus Biomasse

Als Kohlenstoffquelle kann anstelle von CO<sub>2</sub> auch biogener Kohlenstoff verwendet werden, der einem Vergasungsprozess ähnlich der Kohlevergasung unterzogen wird. Dafür kann eine Vielzahl von Biomassearten verwendet werden. Die Ausbeute aus forstlicher Biomasse ist dabei bis zu 2-fach höher als jene von Zucker oder Stärkefrüchten, wenn man den gleichen Heizwert als Basis nimmt. Wegen des hohen Wassergehalts von Biomasse ist dabei die Vortrocknung wesentlich. Für die Bildung des geeigneten Gasgemisches in der Vergasung ist ein definierter Sauerstoffgehalt günstig, wofür der bei der Elektrolyse von Wasser gebildete Sauerstoff eingesetzt werden kann. Eine Wassergas-Shift Reaktion ist für die Einstellung des Wasserstoff zu CO Verhältnisses notwendig.

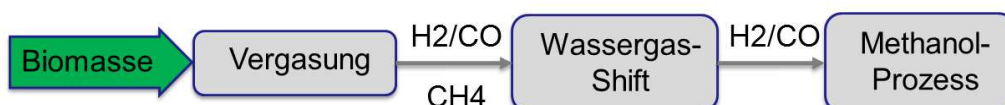


Abbildung 9: Methanol über Biomasse-Vergasung, Qu: DECHEMA

Die Ausbeute an Methanol liegt bei diesem Prozess bei etwa 60 %, es würden etwa 2,6 t trockenen Holzes pro Tonne Methanol benötigt. Der Energiebedarf liegt wegen der höheren Aufwendungen in der Vorbehandlung und in der Gasreinigung um etwa 15 % höher als beim Vergleichsprozess aus Erdgas, die THG-Emission wäre allerdings um etwa 20 % niedriger als beim Erdgasprozess. Berücksichtigt man auch die CO<sub>2</sub>-Fixierung durch die Biomasse erhält man ein Vermeidungspotenzial von 1,6 t CO<sub>2</sub>/t Methanol, ein ähnlicher Wert wie vorher über die Wasserstoffroute.

## Olefine aus Methanol

Olefine wie speziell Ethylen oder Propylen stellen die wesentlichen Bausteine für die derzeitige chemische Produktion dar und sind auch wesentliche Grundstoffe für die Kunststoffproduktion. Die Herstellung erfolgt konventionell über Steam-Cracking von Naphtha bei über 750 °C. Der Energiebedarf dafür liegt bei 3,3 bis 4,6 MWh/t Produkte.

Die möglichen Verfahren zur Herstellung von Olefinen direkt aus Wasserstoff und CO<sub>2</sub> sind noch nicht in technischem Maßstab ausgeführt. Ein kommerziell verfügbarer Prozess geht von Methanol aus Wasserstoff aus, das danach zu Olefinen umgesetzt wird (MTO, Methanol to Olefins).

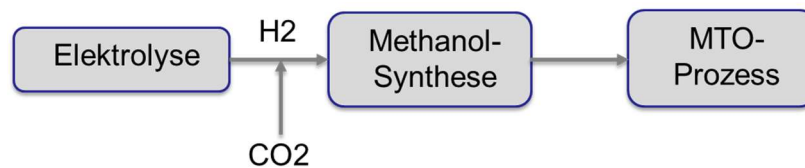


Abbildung 10: Olefine aus Methanol

Anlagen aus Fernost weisen für die Herstellung aus Methanol einen Energiebedarf von 1,4 MWh/t Olefin auf. Berücksichtigt man auch den Aufwand für das Methanol führt dies zu einem Energieaufwand von insgesamt 27 MWh/t, was fast den fünffachen Wert der konventionellen Route darstellt. Im Unterschied zur Steigerung beim Energieeinsatz liegt bei der Low-Carbon Route bezüglich der THG-Emission eine Senke vor. Während der fossil basierte Prozess 0,8 t CO<sub>2</sub>/t Methanol emittiert, liegt beim Low-Carbon Prozess durch das CO<sub>2</sub> für das Methanol für eine Tonne Olefine eine Vermeidung von 1,9 t CO<sub>2</sub> vor. Für Österreich würde sich daraus im Vergleich zur fossilen Route auch unter Berücksichtigung des gestiegenen Strombedarfs bei vollständiger Umstellung eine THG-Reduktion von über 2 Mio.t CO<sub>2</sub> ergeben. Hierfür wäre allerdings bereits für die derzeitigen Produktionsmengen ein Strombedarf aus erneuerbaren Quellen von über 30 TWh notwendig, der deutlich die derzeit erzeugten Strommengen aus Wind und PV-Anlagen übersteigt und etwa die Größe der gesamten aus Wasserkraft erzeugten Strommengen aufweist. Die Deckung des Bedarfs an CO<sub>2</sub> aus Abgasen scheint mit bis zu 4 Mio. t aus aktueller Sicht herausfordernd.

## Bioethylen aus Ethanol

Im Rahmen einer Decarbonisierung kommt Ethanol sowie auch Methanol vor allem als Treibstoffersatz oder Treibstoffbeimischung Bedeutung zu. Speziell bei Ethanol ist aber auch die Gewinnung von biobasiertem Ethylen durch katalytische Dehydratisierung möglich. Auf diesem Weg wird bereits in Brasilien von der BRASKEM ausgehend von Ethanol aus Rohrzucker Bio-Polyethylen als drop-in Chemikalie für eine Bioökonomie hergestellt. Der Energiebedarf liegt dabei etwa beim Vierfachen der fossilen Bereitstellung, wird bei diesem Prozess aber durch Biomasse gedeckt.

In Österreich wird bereits seit 2008 Bioethanol überwiegend aus Getreide erzeugt, wobei etwa 3 t Getreide pro t Ethanol notwendig sind. Für die Herstellung von Ethylen wären es etwa 5 t Getreide pro t Ethylen. Mit der Produktion von derzeit etwa 200 000 t Ethanol könnte nur etwa ein Viertel der derzeitigen Menge Ethylen für die Polyethylenherstellung erzeugt werden.

Angesichts kritischer Sichtweisen zur Nahrungsmittelkonkurrenz, der Verwendung von Ackerland für Chemieprodukte oder Treibstoffe, wäre auch der Einsatz von forstlicher Biomasse möglich. In diesem Fall steigt die Einsatzmenge auf 10 t Biomasse pro Tonne Ethylen an. Hinsichtlich der THG-Emission ergäben sich deutliche Vorteile, rechnet man die CO<sub>2</sub>-Speicherung der Biomasse dazu, würde dies ähnlich wie vorher zu einer Vermeidung von 1,95 t CO<sub>2</sub>/t Ethylen führen.

Bei anderen Emissionsbereichen zeigen sich teilweise auch klare Nachteile von Bio-Kunststoff Produkten. Ein detaillierter Ökobilanz-Vergleich des Instituts für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (IFEU 2012<sup>3</sup>), bei dem Folien aus PE-LD mit Bio-PE Material verglichen werden, zeigt geringere Umweltlasten des Bio-Produkts bei Klimawandel, fossilem Ressourcenverbrauch und Sommersmog, denen höhere Belastungen bei Versauerungspotenzial, Eutrophierung und Feinstaub gegenüber stehen. Insgesamt zeigen Biokunststoff-Verpackungen meist Vorteile bei Treibhausgasemissionen und dem Verbrauch fossiler Ressourcen, sind gesamtökologisch in der Regel aber nicht vorteilhafter als fossile Materialien.

---

<sup>3</sup> IFEU2012: Untersuchung der Umweltwirkung von Verpackungen aus biologischen Kunststoffen, Hrsg. Umweltbundesamt Dessau

## Vergleich der Potenziale der Low-Carbon Routen

Nachfolgend erfolgt ein Vergleich der Effekte der vorgestellten Wege, wobei die in Österreich 2015 produzierten Mengen als Basis verwendet werden. Dies bringt eine Gewichtung der einzelnen Produkte mit der Bedeutung für Österreich. Im Kapitel Szenarien werden diese Perspektiven dann mit der erwarteten Entwicklung bis 2050 zusammengeführt.

Tabelle 1: Vergleich der Low Carbon Prozesse, eig. Darstellung

	Strom erneuerbar [TWh]	CO <sub>2</sub> -Reduktion [Mt CO <sub>2</sub> ]	Kohlenstoff-Bedarf [Mt]
Chlor	0,13	0,035	
Ammoniak&Harnstoff	5,5	0,7	0,3 Mt CO <sub>2</sub>
Methanol (Verwendung in Österreich)	0,4	0,54	0,45 Mt CO <sub>2</sub> oder 0,8 Mt Holz(tr.)
Olefine über MTO	>30	> 2,3	~ 4 Mt CO <sub>2</sub> bzw. äquiv, >7 Mt Holz(tr.)
Ethylen über Ethanol	6,7	0,9	2,1 Mt Getreide 4,5 Mt Holz(tr.)

## Synthetische Treibstoffe

Die Treibstoffe weisen wegen ihres großen Anteils an der Rohölverarbeitung sehr große Bedeutung für eine Decarbonisierung auf und lassen damit die größten Effekte erwarten. Aufgrund der Abgrenzung der Betrachtung auf die chemische Produktion wird bei den Treibstoffen nur eine überblicksmäßige Abschätzung der Effekte ohne äquivalente Quantifizierung durchgeführt. Dabei werden die Herstellung von Methanol und Ethanol für die Substitution bzw. Beimischung zu Benzin, für den Ersatz von Diesel die Fischer-Tropsch Synthese mit Wasserstoff und CO<sub>2</sub> betrachtet.

Die hierfür benötigten Mengen an erneuerbarem Strom gehen über die detailliert betrachteten Bereiche weit hinaus und liegen mit über 100 TWh im absolut unrealistischen Bereich. Die Einsparung von etwa 15 Mio t CO<sub>2</sub> würde natürlich weit über den Chemiebereich hinaus gehen und die THG-Emission im Verkehrsbereich weitgehend reduzieren. Aber auch der CO<sub>2</sub>-Bedarf würde über die chemische Industrie hinaus etwa die Emission der gesamten Industrie erfordern. Dies übersteigt auch die Kapazitäten möglicher Industriesymbiosen mit der Stahlindustrie, sodass diese Option nicht realistisch erscheint.

## Klimaschutz-Beiträge chemischer Produkte

Speziell Kunststoffe werden in letzter Zeit sehr kontroversiell gesehen und stehen oft im Kreuzfeuer der Kritik - Stichworte sind hier Mikroplastik, Marine Littering, etc. Im Gegensatz dazu betonen Studien, dass Kunststoffe auch einen wesentlichen Beitrag zu Ressourcenschonung, Energieeffizienz und Klimaschutz leisten.

Die ICCA<sup>4</sup> hat 2009 die positiven THG-Effekte der chemischen Industrie in einer Studie untersucht. Mit einer Life-Cycle Analyse (LCA) wurden die Belastungen hinter mehr als 100 Produkten der chemischen Industrie ermittelt und in den jeweiligen Anwendungsbereichen mit dem besten Alternativ-Produkt verglichen. Dabei zeigte sich, dass im Mittel mit jeder Tonne des bei der Herstellung freigesetzten CO<sub>2</sub> bei der Nutzung 2,1 bis 2,6 mal so viele THG-Emissionen eingespart werden<sup>5</sup>. Beispiele hierfür sind Dämmstoffe, Leichtverpackungen, effiziente Beleuchtung und viele mehr.

In der Denkstatt-Studie<sup>6</sup> wurden vor einigen Jahren die Folgen erhoben, wenn es keine Kunststoffverpackungen mehr gäbe. Dabei wurde angenommen, dass Folienverpackungen, Kunststoffbecher oder Schaumstoffe durch Alternativen aus anderen Materialien ersetzt werden. Das Ergebnis zeigt, dass ohne Kunststoffverpackungen der Energieverbrauch in Europa um den Faktor 2,2 und die Menge an Treibhausgas um einen Faktor 2,7 pro Jahr steigen würden (siehe nachfolgende Abbildung).

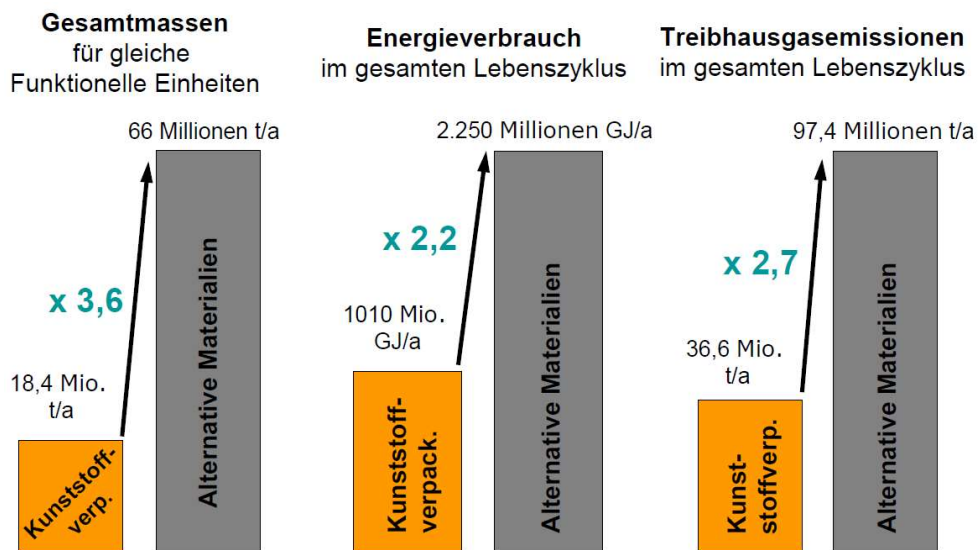


Abbildung 11: Auswirkungen von Kunststoffverpackungen auf Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen in Europa, Qu: Brandt und Pilz 2011

Ähnliche Hinweise liefert eine Untersuchung der Klimabelastungen hinter dem Konsum in Österreich, wobei auch der Bereich Gebäude und Wohnen betrachtet wurde. Hier liefern die Dämmstoffe, speziell betrachtet am Beispiel Styropor, wesentlich mehr Einsparung über ihre

<sup>4</sup> International Council of Chemical Associations

<sup>5</sup> ICCA 2009. Innovations for Greenhouse Gas Reduction – a life cycle quantification of carbon abatement solutions enabled by chemical industry

<sup>6</sup> B. Brandt und H. Pilz 2011. Auswirkungen von Kunststoffverpackungen auf Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen in Europa, Denkstatt GmbH im Auftrag von Plastics Europe

Nutzungszeit bringt, als ihre Herstellung verursacht. Wie nachfolgende Abbildung zeigt, entspricht die Einsparung an Treibhausgasemissionen bereits innerhalb weniger Jahre dem Mehraufwand für die Dämmung. Bereits nach vier Jahren liegt eine Kompensation der Herstellbelastungen vor<sup>7</sup>. Über die angenommene Lebensdauer einer Dämmung von 50 Jahren kann eine Emissionseinsparung von mehr als dem 10-fachen der aufgewendeten Klimabelastungen für die Herstellung des Dämmstoffs erzielt werden.

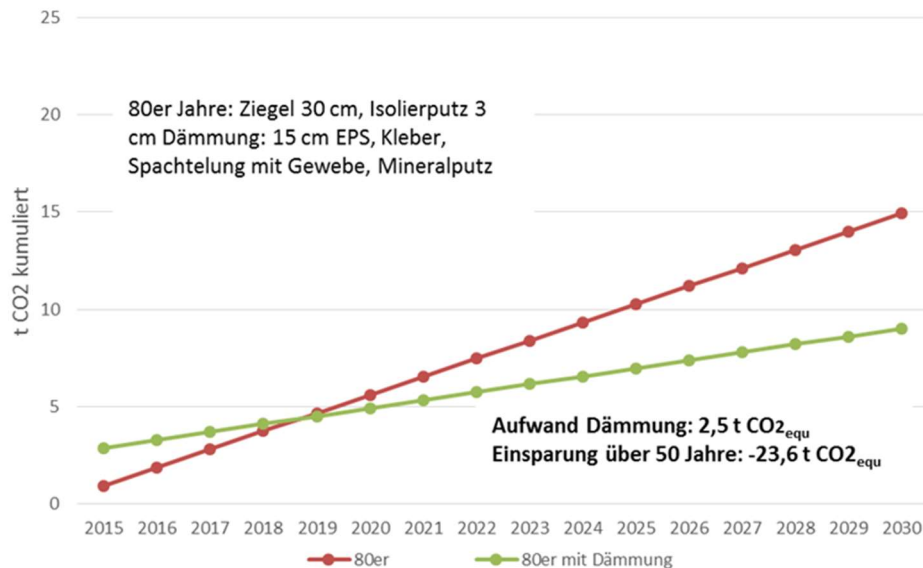


Abbildung 12: THG-Kompensation von Styropor-Dämmung, eig. Darstellung

Damit leisten die Dämmstoffe auch einen wesentlichen Beitrag zur Verringerung der THG-Emissionen im Gebäudebereich, wie die nachfolgend dargestellte Komponentenerlegung des Umweltbundesamtes im Klimaschutzbericht 2017<sup>8</sup> zeigt. Der deutliche Rückgang der CO<sub>2</sub>-Emissionen bei den Haushalten seit 1990 (ca. 30% bzw. 4,8 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub>) ist zu einem wesentlichen Teil auf den verringerten flächenbezogenen Energieaufwand zurückzuführen (Endenergie für Wärme pro m<sup>2</sup>). Von dieser seit 1990 bis 2013 in Österreich in diesem Bereich erzielten Verbesserung machen die in Österreich verwendeten fossilen Dämmstoffe nach eigenen Abschätzungen mehr als die Hälfte aus.

<sup>7</sup> A. Windesperger und B. Windesperger 2017. Klimabelastungen hinter dem Konsum in Österreich, im Auftrag der SUNPOR GmbH

<sup>8</sup> UBA 2017. Klimaschutzbericht 2017. Umweltbundesamt

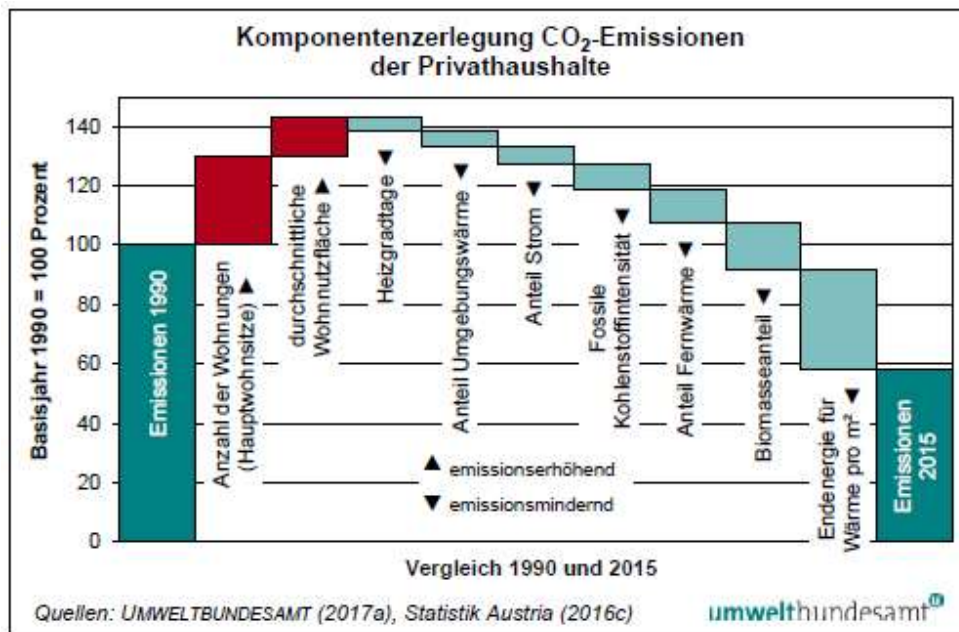


Abbildung 13: CO<sub>2</sub>-Emission der Haushalte, Qu: UBA

Auch bei Fahrzeugen leisten Kunststoffe aufgrund ihres geringen Gewichts einen wesentlichen Beitrag zur Verringerung des spezifischen Treibstoffverbrauchs. Daher ist die Nutzung der Potenziale von Kunststoffen und Faserverbundwerkstoffen für eine ressourcenschonende und energieeffiziente Mobilität unverzichtbar. Sie kombinieren flexible Formgebung mit hoher Festigkeit, die ständig weiter verbessert wird. Trotz weiterer Optimierung der Gewichtseinsparung gewährleisten Kunststoffe einen hohen Grad an Sicherheit von Fahrzeugen und sind dadurch auch bei der Weiterentwicklung sowohl von konventionellen Fahrzeugen wie auch bei der Elektromobilität ein wesentlicher Erfolgsfaktor.

## Szenarien einer Low-Carbon Chemieindustrie in Österreich

Die im vorigen Kapitel dargestellten Technologie-Optionen der Decarbonisierung sollen nun in Szenarien mit unterschiedlichem Ausmaß der Umsetzung der neuen Verfahren auf ihre absehbaren zukünftigen Veränderungen betrachtet werden. Die Veränderungen einer Decarbonisierung der Treibstoffe betreffen vor allem den Verkehrsbereich. Sie werden wegen der Abgrenzungen und der daraus erhaltenen unrealistisch hohen Werte hier nicht einbezogen.

Die zukünftigen Entwicklungen ohne Veränderung in Richtung Decarbonisierung aber mit der Weiterführung der Effizienzsteigerung werden im **Business-as-usual Szenario** dargestellt. Ein **Intermediate Szenario** geht von verstärktem Einsatz von erneuerbarem Strom für die Dampf- und Wärmebereitstellung sowie bei den derzeitigen Stromanwendungen und erst allmählicher Implementierung von Low-Carbon Technologien aus. Eine Steigerung stellt das **Ambitious Szenario** dar, das von einer verstärkten und rascheren Verwendung dieser Technologien ausgeht. Aber erst im **Maximum Szenario** werden diese dann in höchstem Ausmaß umgesetzt angenommen.

### Business as Usual (BAU)

Hier wird die bisherige Entwicklung bis 2050 extrapoliert, ohne Einbindung von neuen Stromanwendungen oder neuen Technologien. Dieses Szenario bildet damit nur die Produktionsveränderungen durch die wirtschaftliche Entwicklung bei den wesentlichen Grundstoffen und die Weiterführung der Effizienzsteigerungen ab. Die Annahme einer konstanten Steigerung von 1 % pro Jahr führt zu einem kontinuierlichen Anstieg der Produktionsmengen.

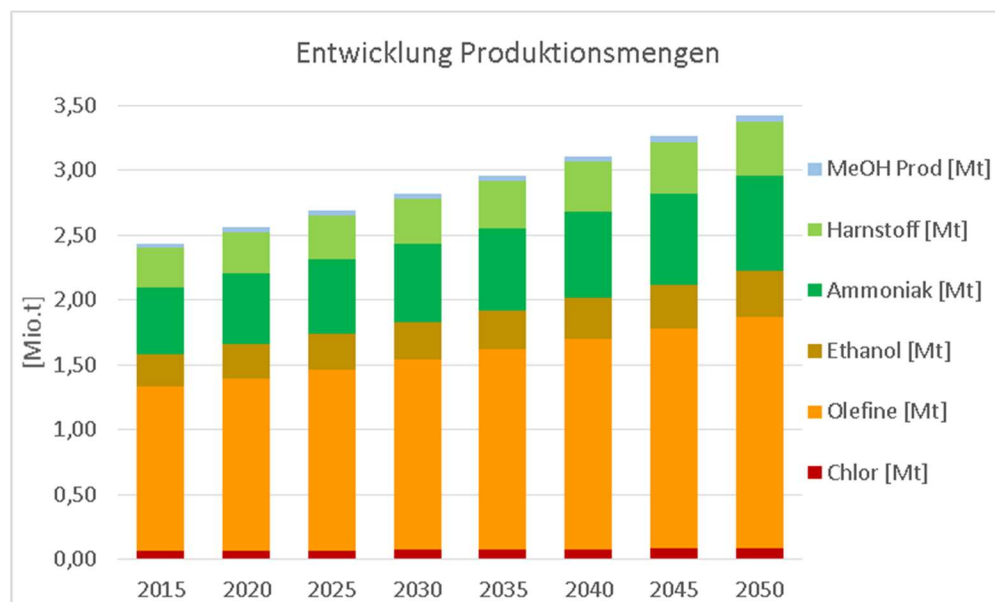


Abbildung 14: Entwicklung der Produktionsmengen an Grundstoffen BAU-Szenario, eig. Berechnungen

Die daraus folgende Entwicklung bei der THG-Emission ist nachfolgend dargestellt. Dabei wird in die wesentlichen Bereiche der chemischen Industrie, wie in der THG-Inventur angegeben, unterschieden. Sie würde ohne Veränderungen bei den Prozessen in Richtung Decarbonisierung aber mit Fortführung der Effizienzmaßnahmen im Rahmen der bisherigen



kontinuierlichen Verbesserungen den in der Abbildung dargestellten Verlauf (farbige Balken) ergeben. Die nicht ausgefüllten Balken zeigen zum Vergleich die Entwicklung ohne Effizienzmaßnahmen.

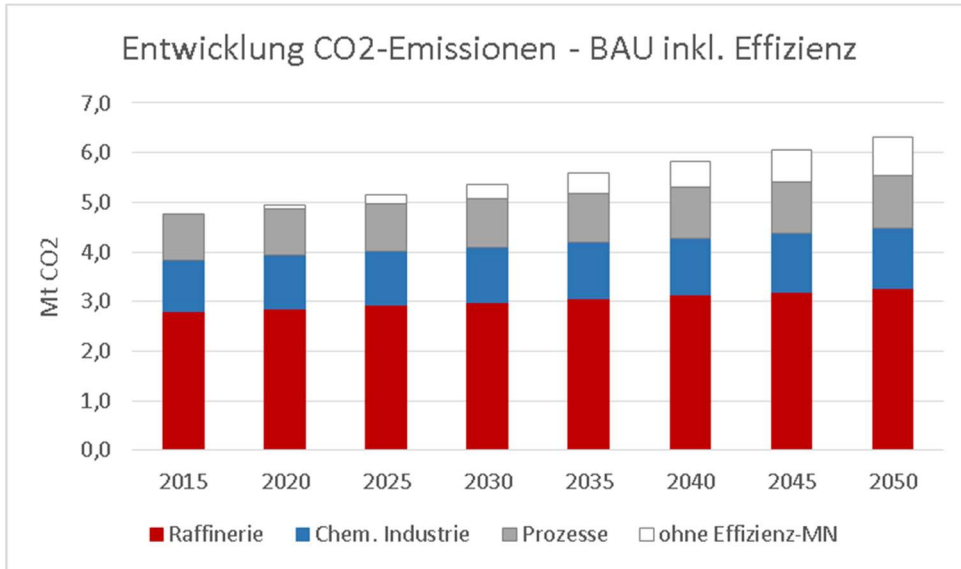


Abbildung 15: Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen BAU-Szenario inkl. Effizienzmaßnahmen, eig. Berechnungen

### Intermediate Szenario (Interm)

In diesem Szenario wird neben der kontinuierlichen Effizienzsteigerung verstärkter Einsatz von erneuerbarem Strom für die Dampfbereitstellung und für Antriebe und Öfen angenommen. Die Implementierung von Low-Carbon Technologien verläuft entsprechend der Anlagenerneuerung. Dies führt 2050 zum Ersatz von etwa einem Drittel der Produktion mit neuen Technologien. Die Umstellung auf erneuerbaren Strom und Stromeinsatz bei der Wärme- und Dampferzeugung werden bis 2050 in vollem Ausmaß angenommen. Eine Zusammenfassung der getroffenen Annahmen zeigt die folgende Tabelle.

Tabelle 2: Annahmen Interm-Szenario, aus DECHEMA

Prozesse	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Olefine, Methanol über H <sub>2</sub>	0%	1%	3%	5%	8%	15%	23%	30%
Olefine aus Biomasse	0%	1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%
Methanol aus Biomasse	0%	1%	2%	3%	4%	5%	5%	5%
Anlagenerneuerung	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%
Dampf aus Strom	0%	2%	5%	15%	30%	50%	70%	100%
Effizienzsteigerung	0,56%	0,56%	0,56%	0,56%	0,56%	0,56%	0,56%	0,56%

Nachfolgende Abbildung zeigt die daraus folgende Produktionsentwicklung der Grundstoffe aus neuen Technologien. In diesem Szenario liegt eine wesentliche Steigerung der Mengen aus neuen Produktionsverfahren ab 2040 vor. Ab dann steigen speziell die Produktion von Methanol und die überwiegend daraus hergestellten Olefine stark an. Bei allen anderen Grundstoffen zeigen sich ähnliche, aber weniger deutliche Steigerungen der Mengen. Die

Chlorproduktion bleibt weitgehend konstant, da es sich hier vor allem um die Umstellung der Stromherkunft handelt.

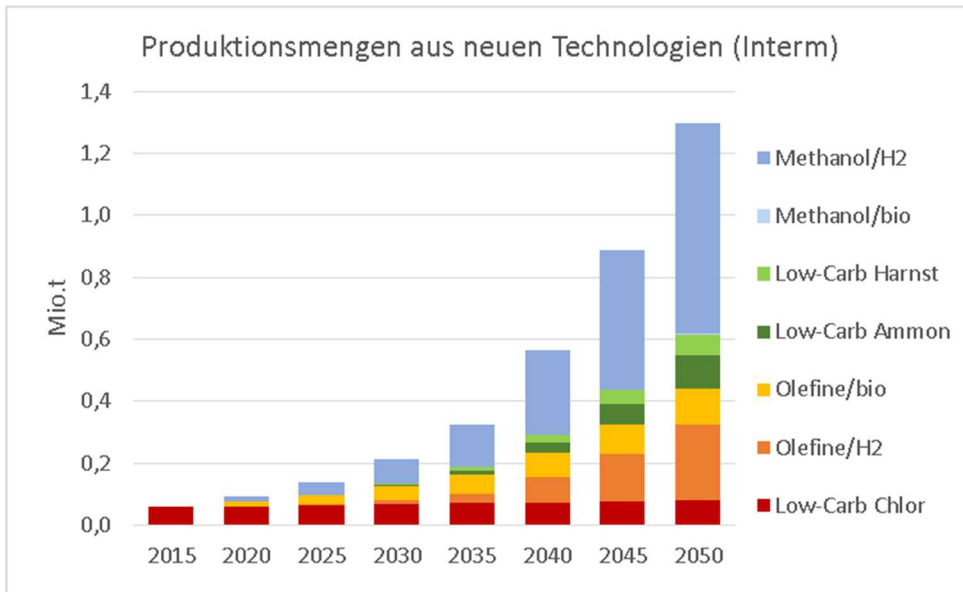


Abbildung 16: Entwicklung der Grundstoffproduktion aus neuen Technologien Interm-Szenario, eig. Berechnungen

Die daraus folgende Entwicklung des Bedarfs an erneuerbarem Strom ist nachfolgend dargestellt. Die Entwicklung zeigt ähnliche Charakteristik wie bei den Produktionsmengen, die Steigerung ist vor allem durch die Umstellung der Dampfbereitstellung und der Stromverbraucher Antriebe und Öfen auf erneuerbaren Strom bedingt. Diese startet bereits früh, ab 2040 fallen auch den Olefinen maßgebliche Anteile zu, wobei der Strombedarf vor allem durch die Herstellung des Wasserstoffs für das Vorprodukt Methanol geprägt ist, hier aber dem Endprodukt zugerechnet wird.

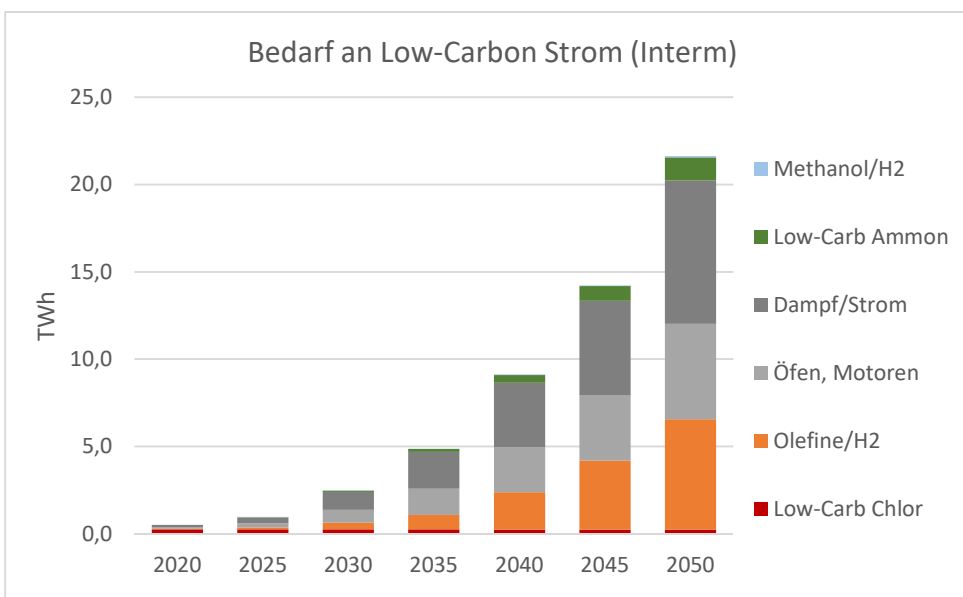


Abbildung 17: Entwicklung des Strombedarfs Interm-Szenario, eig. Berechnungen

Aus dem Umstieg auf erneuerbare Energien folgt auch eine Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emission, die in der folgenden Abbildung dargestellt ist. In diesem Szenario liegen die Reduktionseffekte im Jahr 2050 bei insgesamt 3,5 Mio t CO<sub>2</sub>, sie werden am stärksten durch die Umstellung von Dampf und Strom auf erneuerbare Bereitstellung geprägt. Der Anteil der neuen Produktionsprozesse ist hier mit 1 Mio.t CO<sub>2</sub> noch gering. Bei diesen dominiert wieder die Umstellung der Olefin-Produktion.

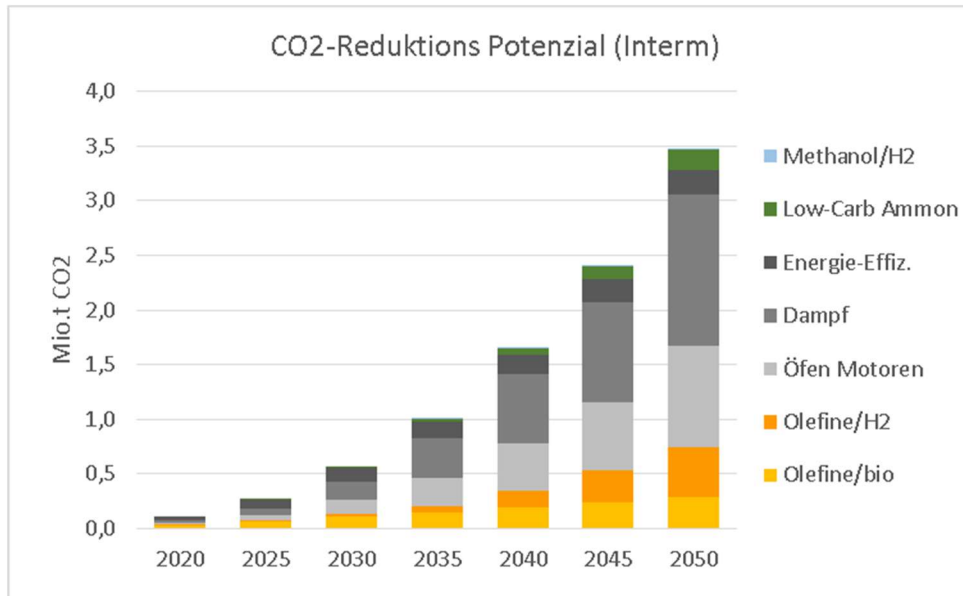


Abbildung 18: Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Reduktion Interm-Szenario, eig. Berechnungen

Der Bedarf an den Kohlenstoffquellen als Rohstoff liegt in diesem Szenario bei etwa 2 Mio t, wobei die Mengen an Biomasse in den ersten Jahren deutlich überwiegen. Die Steigerung der CO<sub>2</sub>-Fixierung über die Wasserstoffroute wird erst ab 2035 deutlich sichtbar, der Anteil bleibt bis 2050 aber unterhalb jenem von Biomasse.

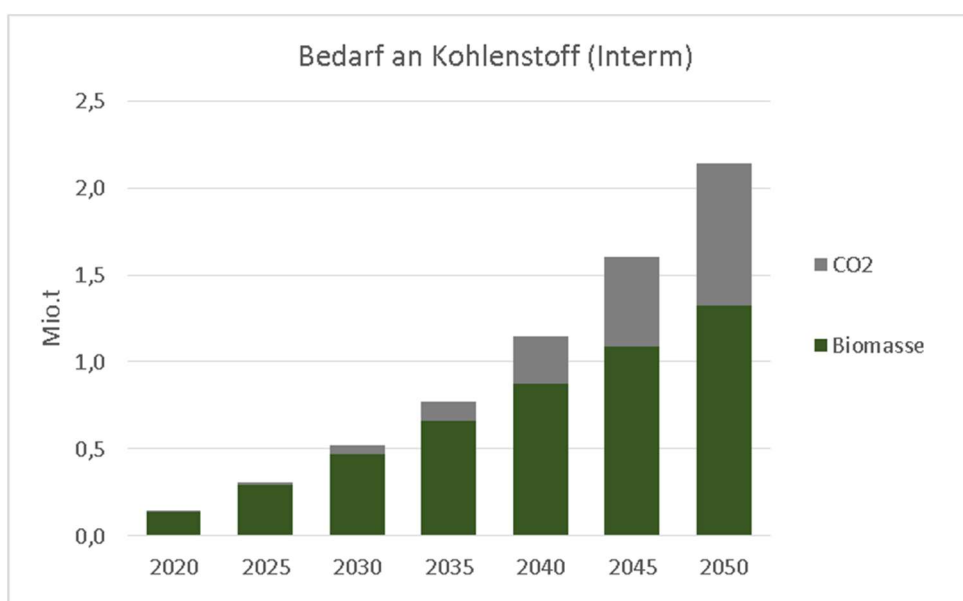


Abbildung 19: Entwicklung des Kohlenstoffbedarfs Interm-Szenario, eig. Berechnungen

## Ambitious Szenario (Ambit)

Bei diesem Szenario wird neben der vollständigen Umstellung auf erneuerbaren Strom und dem Stromeinsatz bei der Dampferzeugung eine raschere Steigerung der Produktion chemischer Grundstoffe aus decarbonisierten Prozessen angenommen. Durch eine verstärkte Erneuerung der Anlagen in einem Ausmaß von 1,5 % pro Jahr wird bis 2050 ein Ersatz von 50 % der Anlagen erwartet. Hierfür ist ein klares politisches Bekenntnis für geeignete Rahmenbedingungen für die ökonomische Konkurrenzfähigkeit und zur Stimulierung der Bereitschaft für Investitionen notwendig. Es erfordert aber auch die gesellschaftliche Akzeptanz für die Abkehr von fossilen Quellen. Eine Zusammenfassung der Annahmen zeigt die folgende Tabelle.

Tabelle 3: Annahmen Ambit Szenario, aus DECHEMA

Prozesse	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Olefine, Methanol über H <sub>2</sub>	0%	1%	5%	10%	15%	20%	30%	50%
Olefine aus Biomasse	0%	1%	2%	3%	4%	5%	7,5%	10%
Methanol aus Biomasse	0%	1%	2%	3%	4%	5%	7,5%	10%
Anlagenerneuerung	0%	8%	16%	22%	30%	38%	46%	53%
Dampf aus Strom	0%	2%	5%	15%	30%	50%	70%	100%
Effizienzsteigerung	0,56%	0,56%	0,56%	0,56%	0,56%	0,56%	0,56%	0,56%

Nachfolgende Tabelle zeigt die daraus folgende Produktionsentwicklung der Grundstoffe aus neuen Technologien. Hier liegt gegenüber dem vorigen Szenario eine weitere Steigerung der Mengen auf insgesamt den doppelten Wert im Jahr 2050 vor. Die Aufteilung zwischen den Produkten ist weitgehend gleich, Methanol steigt insgesamt am stärksten durch seine Vorprodukt-Funktion für die Olefine. In allen anderen Bereichen zeigen sich ähnliche, aber weniger deutliche Entwicklungen. Die Mengen der Chlorproduktion zeigen wieder weitgehend konstanten, leicht steigenden Verlauf.

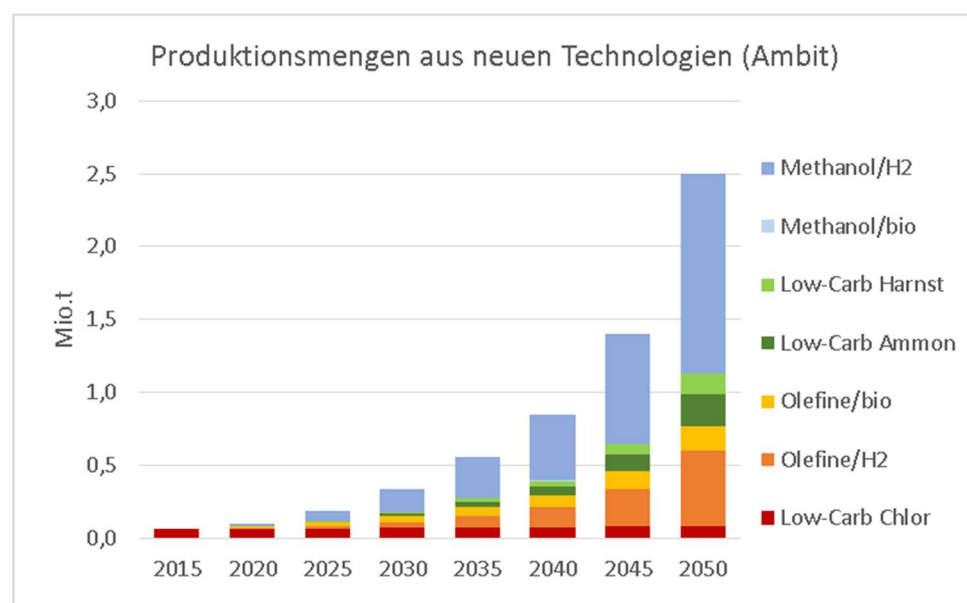


Abbildung 20: Entwicklung der Grundstoffproduktion aus neuen Technologien Ambit-Szenario, eig. Berechnungen

Die daraus folgende Entwicklung des Bedarfs an erneuerbarem Strom ist nachfolgend dargestellt. Hier verstärkt sich die Steigerung gegenüber dem vorigen Szenario, 2050 liegt der Strombedarf etwa um die Hälfte höher. Die Bedeutung der Umstellung der Dampfbereitstellung und des Einsatzes von erneuerbarem Strom für Antriebe und Öfen geht gegenüber dem Interim-Szenario zurück, liegt aber 2050 noch bei fast 50 %. Der Anteil der Olefine steigt deutlich gegen Ende des Zeitraums, sie beinhalten auch den Energiebedarf für das dafür notwendige Methanol. 2050 liegt bereits auch nennenswerter Strombedarf von Seiten der Düngerproduktion vor.

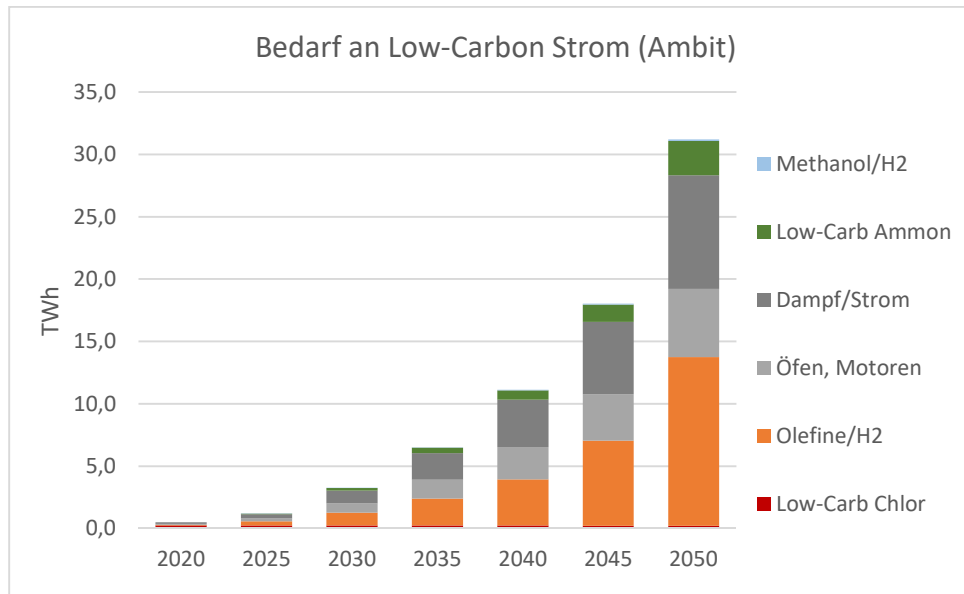


Abbildung 21: Entwicklung des Strombedarfs Ambit-Szenario, eig. Berechnungen

Die aus dem Umstieg auf erneuerbare Energien resultierende Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emission liegt hier um etwa 15 % höher als im vorigen Szenario, bei etwa 4 Mio. t CO<sub>2</sub>. Sie wird weiterhin durch die Umstellung von Dampfprozessen und den Stromeinsatz auf erneuerbare Herkunft geprägt, die auch gegen Ende des Zeitraums deutlich ansteigen. Die Effekte der Effizienzsteigerung sinken durch die verstärkte Erneuerung von Anlagen. Der Anteil der neuen chemischen Produktionsprozesse steigt beständig und erreicht 2050 etwa 40%. Bei diesen dominiert wieder die Umstellung der Olefin-Produktion, deren Effekte in den ersten Jahren durch die Herstellung aus Biomasse, ab 2045 dann durch die Methanol basierte Route geprägt werden.

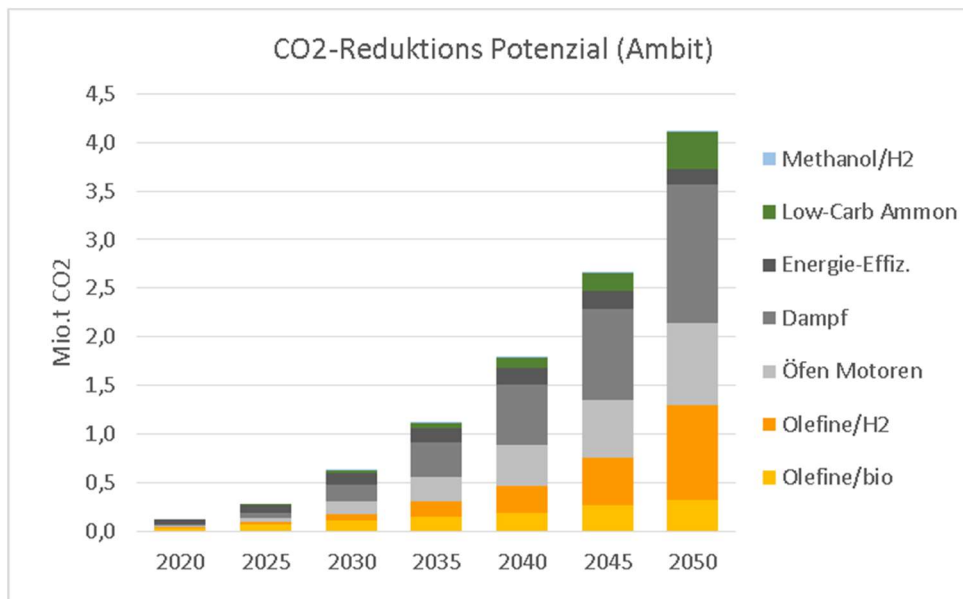


Abbildung 22: Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktion Ambit-Szenario, eig. Berechnungen

Der Bedarf an Kohlenstoffquellen als Rohstoff liegt hier bereits bei fast 4 Mio t mit steigenden Anteilen des CO<sub>2</sub> gegenüber dem Biomasseeinsatz. Dies ist durch die zunehmende Priorisierung des Wasserstoffwegs mit CO<sub>2</sub>-Fixierung begründet, deren Hintergründe im nächsten Szenario beschrieben werden.

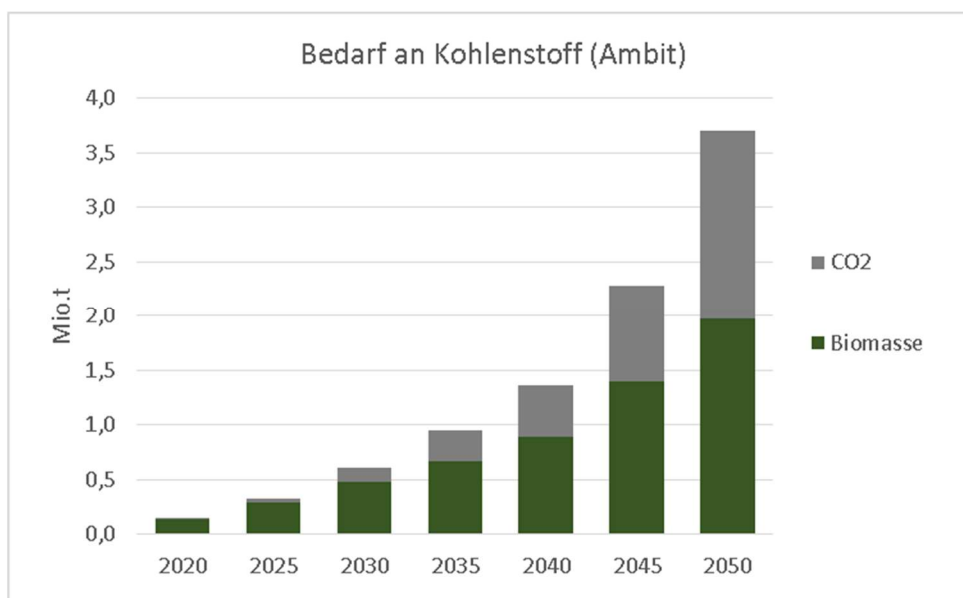


Abbildung 23: Entwicklung des Kohlenstoffbedarfs Ambit-Szenario, eig. Berechnungen

## Maximum Szenario (Max)

Dieses Szenario ist als oberste theoretische Grenze zu sehen, bei dem alle neuen Technologien im Jahr 2050 in weitestem Maße umgesetzt sind. Dafür wurde eine Erneuerung der Anlagen mit 2,85 % pro Jahr angenommen, sodass 2050 ein vollständiger Austausch gegen neue Technologien vorliegt. Die Annahmen bei Dampf- und Stromeinsatz bleiben unverändert hoch. Für die Entwicklung der einzelnen Prozesse wird die Verteilung zwischen der Wasserstoff-Route mit CO<sub>2</sub>-Fixierung und der Verwendung von Biomasse immer wichtiger. Aktuelle Themen wie mögliche Nahrungsmittelkonkurrenz, Diskussionen über Nutzungseinschränkungen bei der forstlichen Biomasse und die schon angespannte Situation am Holzmarkt lassen die Limitierung der Verfügbarkeit des Rohstoffs Biomasse befürchten. Daher wurde die Wasserstoff-Route gegenüber Biomasse in den einzelnen Szenarien zunehmend priorisiert. Eine Zusammenfassung der Annahmen zeigt die folgende Tabelle.

Tabelle 4: Annahmen Max-Szenario, aus DECHEMA

Prozesse	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Olefine, Methanol über H <sub>2</sub>	0%	5%	10%	20%	30%	50%	70%	85%
Olefine aus Biomasse	0%	1%	2%	3%	4%	5%	10%	15%
Methanol aus Biomasse	0%	1%	2%	3%	4%	5%	10%	15%
Anlagenerneuerung	0%	14%	29%	43%	57%	71%	86%	100%
Dampf aus Strom	0	2%	5%	15%	30%	50%	70%	100%
Effizienzsteigerung	0,56%	0,56%	0,56%	0,56%	0,56%	0,56%	0,56%	0,56%

Nachfolgende Abbildung zeigt die daraus folgende Produktionsentwicklung der Grundstoffe aus neuen Technologien. Gegen 2050 wird nun der im BAU-Szenario erwartete Wert von 3,5 Mio.t deutlich überschritten, was auch an der Darstellung des überwiegend als Zwischenprodukt eingesetzten Methanols liegt. Ohne dieser Zählung würden die Mengen unter 3 Mio.t liegen und damit geringfügig unter dem Wert des BAU.

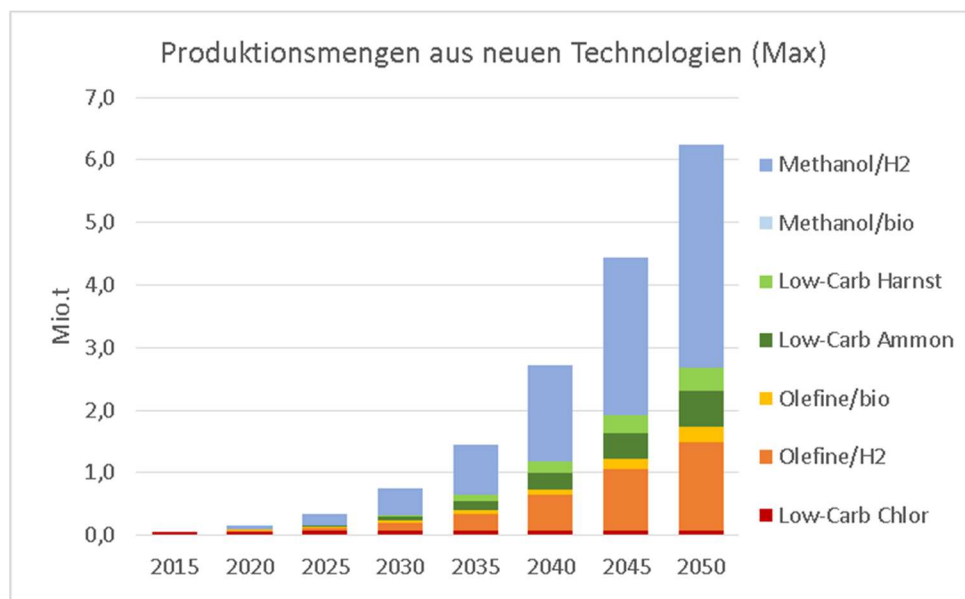


Abbildung 24: Entwicklung der Grundstoffproduktion aus neuen Technologien Max-Szenario, eig. Berechnungen

Die Produktion von Methanol steigt durch seine Vorprodukt-Funktion für die Olefine insgesamt am stärksten. Die Wasserstoffroute für die Olefin-Herstellung zeigt nun klare Dominanz. Bei allen anderen Grundstoffen liegen ähnliche aber weniger deutliche Entwicklungen vor. Die Chlorproduktion zeigt wieder stabile, leicht steigende Werte.

Die daraus folgende Entwicklung des Bedarfs an erneuerbarem Strom ist nachfolgend dargestellt. Der Strombedarf steigt massiv auf 60 TWh im Jahr 2050, den doppelten Wert gegenüber dem vorigen Szenario. Wesentlicher Treiber ist jetzt die Olefin-Produktion, speziell der Einsatz für die Methanolherstellung. Die Bedeutung der Umstellung von Dampfprozessen und des Stromeinsatzes für Antriebe und Öfen geht auf unter ein Drittel zurück. 2050 liegt bereits ein nennenswerter Bedarf von Seiten der Düngerproduktion vor.

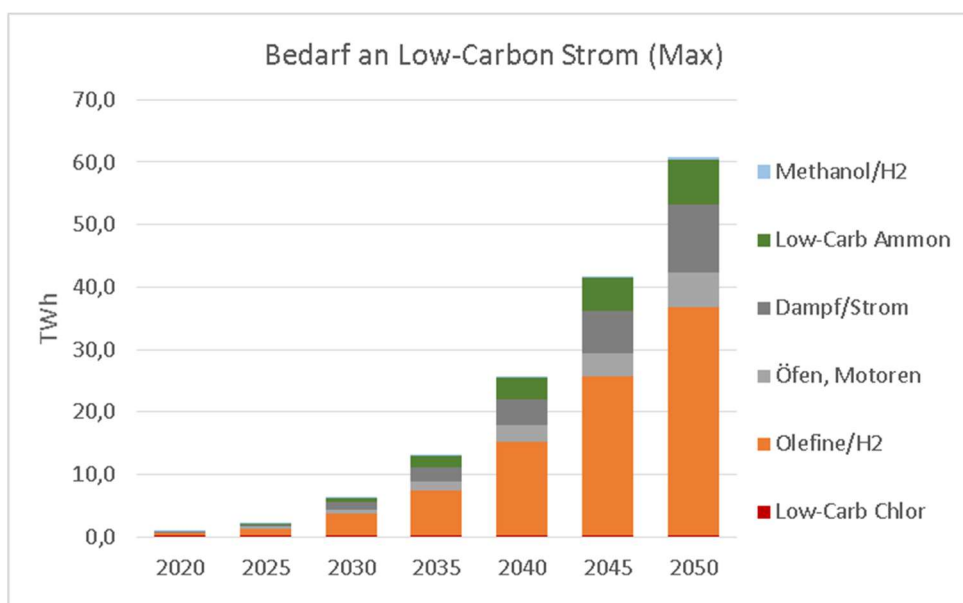


Abbildung 25: Entwicklung des Strombedarfs Max-Szenario, eig. Berechnungen

Die aus dem Umstieg auf erneuerbare Energien folgende Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emission zeigt natürlich die höchsten Werte, sie liegt bei etwa 7 Mio. t CO<sub>2</sub>. Der Anteil der Umstellung der Dampfprozesse, der Antriebe und Öfen auf erneuerbaren Strom geht auf etwa ein Drittel zurück. Der Rückgang ist vor allem durch die Systemänderung durch die neuen Prozesse sowie die veränderte Bedarfsstruktur bedingt. Der Anteil der neuen Produktionsprozesse steigt relativ rasch auf etwa die Hälfte und dominiert 2050 klar die Effekte. Dabei überwiegt wieder die Umstellung der Olefin-Produktion, vor allem auf die Methanol basierte Route. Auch die Beiträge der Düngemittelproduktion sind nun maßgeblich.



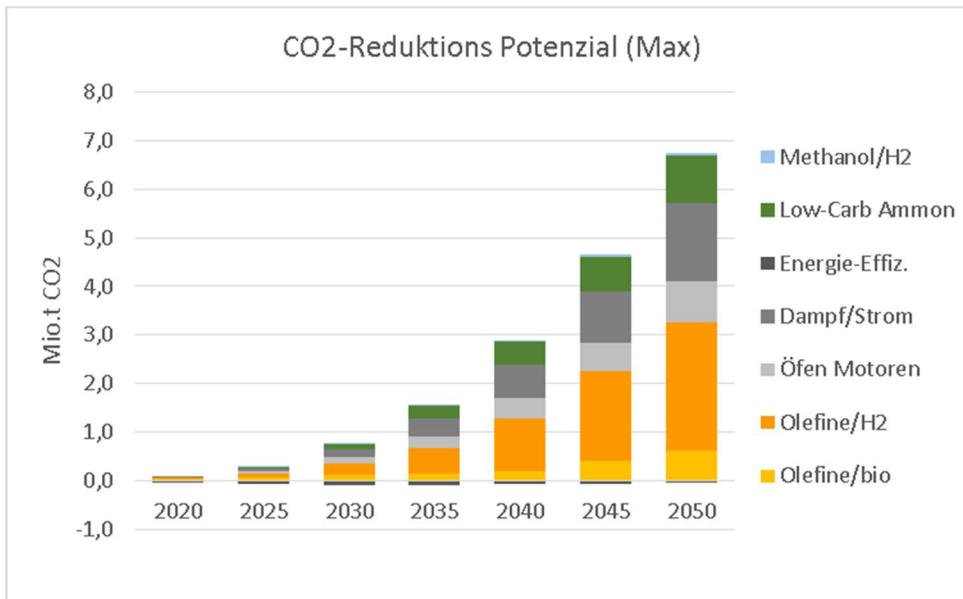


Abbildung 26: Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Reduktion Max-Szenario, eig. Berechnungen

Der Bedarf an Kohlenstoff als Rohstoff steigt gegenüber dem vorigen Szenario auf den doppelten Wert von fast 8 Mio t. Dabei steigt der Anteil des CO<sub>2</sub> deutlich, was an der Priorisierung dieses Rohstoffs gegenüber Biomasse liegt.

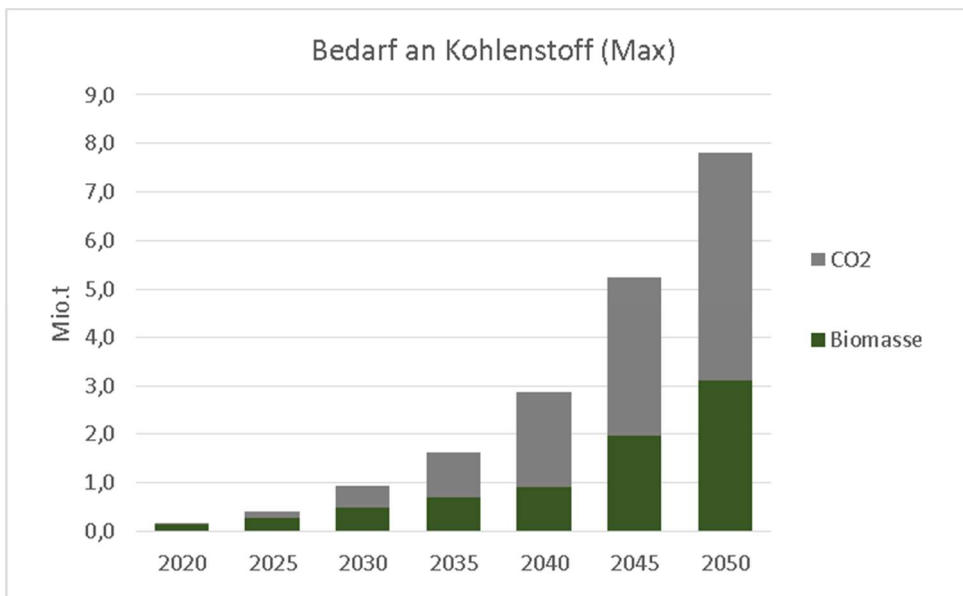


Abbildung 27: Entwicklung des Kohlenstoffbedarfs Max-Szenario, eig. Berechnungen

## Zusammenfassung und Vergleich der Szenarien

Nachfolgend wird die Entwicklung in den einzelnen Szenarien zusammengestellt und mit dem BAU oder Referenzwerten an einigen Effekt-Parametern verglichen.

### Mengenentwicklung

Bei den Produktionsmengen zeigen sich die weitaus stärksten Effekte im Max-Szenario, da es den höchsten Grad der Umstellung bei der Olefin Produktion beinhaltet. Ab 2030 wird die Steigerung der Produktion deutlich sichtbar. Die anderen Szenarien betrachten vorzugsweise die Umstellung des Dampf- und Stromeinsatzes noch ohne maßgeblicher Prozessumstellung (Interm) sowie die allmähliche Umstellung auf neue Prozesse (Ambit). Die Veränderungen betreffen daher mehr Energieumstellungen, sodass die Entwicklung der Mengen deutlich niedriger liegt. Die Werte des BAU werden erst im Maximal-Szenario 2040 überschritten. Die ab 2040 deutlich höheren Werte gegenüber der BAU werden vor allem durch die Herstellung von Methanol, das als Zwischenprodukt für die Olefine fungiert, verursacht.

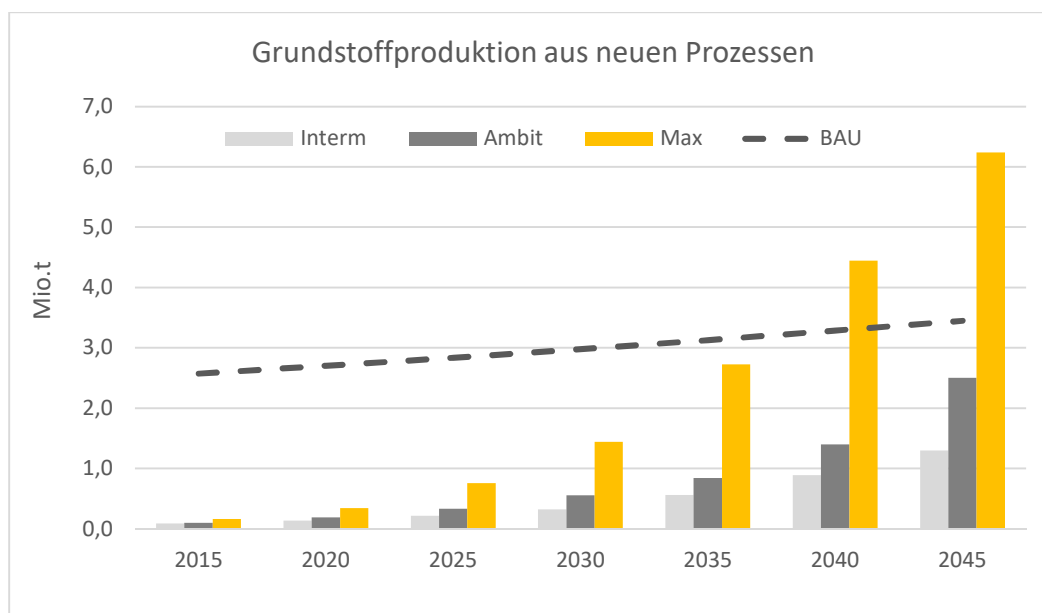


Abbildung 28: Entwicklung der Grundstoffproduktion in den Szenarien, eig. Berechnungen

### Strombedarf und CO<sub>2</sub>-Reduktion

Gegenüber der nur langsam steigenden Entwicklung der Produktionsmengen aus neuen Prozessen steigt der Energiebedarf deutlich schneller an, was an der im gleichen Umfang vorliegenden Umstellung auf erneuerbaren Strom auch bei den ersten beiden Szenarien liegt. Hier erreichen alle Szenarien die Werte des BAU gegen Ende des Zeitraums, das MAX-Szenario überschreitet diese bereits 2040. 2050 liegt dann der dreifache Energiebedarf vor, was die Energieintensität der neuen Verfahren zeigt.

Die Bereitstellung des zusätzlichen Strombedarfs von 60 TWh aus erneuerbaren Energieformen ist aus heutiger Sicht nicht möglich, da dies fast dem gesamten Stromeinsatz in Österreich 2016 von 62,5 TWh entspricht. Es ist zwar die vollständige erneuerbare

Stromherstellung ein deklariertes politisches Ziel, deren Verdopplung für den Industrieinsatz oder die äquivalente Einsparung in den anderen Sektoren, speziell bei Betrachtung der Perspektiven im Verkehrsbereich, scheint aber nicht realistisch.

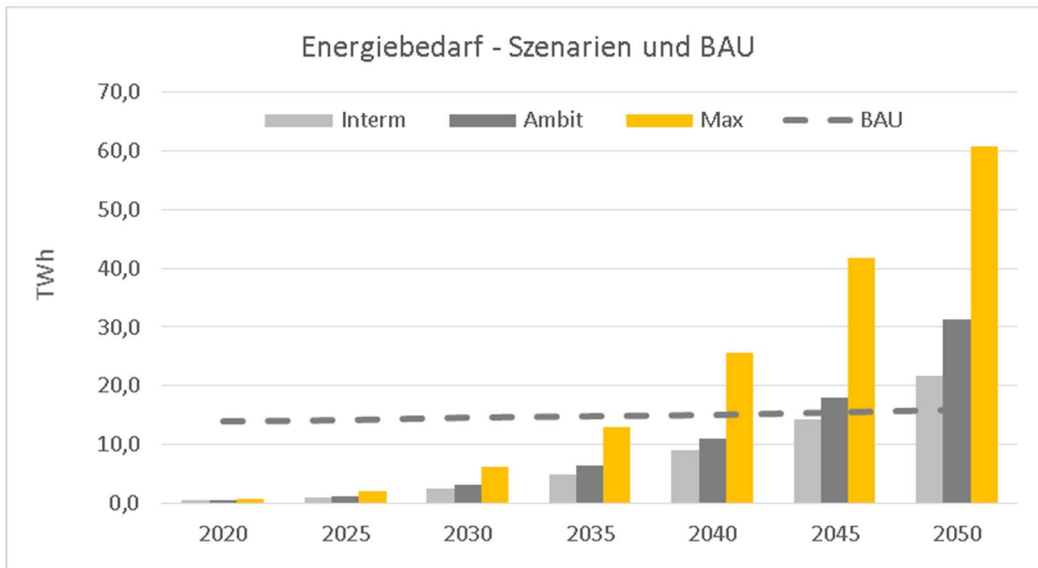


Abbildung 29: Entwicklung des zusätzlichen Strombedarfs in den Szenarien, eig. Berechnungen

Bei der CO<sub>2</sub>-Reduktion fallen die deutlich geringeren Unterschiede zwischen den Interm- und Ambit-Szenarien auf, während das Maximal-Szenario fast bei den doppelten Werten liegt. Die Emissionsreduktion ist gegenüber der BAU-Emission anfänglich relativ gering und bleibt bei den ersten beiden Szenarien auch deutlich unter der BAU-Emission. Beim MAX-Szenario überschreitet das Reduktionspotenzial im Jahr 2050 durch die großen Mengen an gebundenem CO<sub>2</sub> die BAU-Emission.

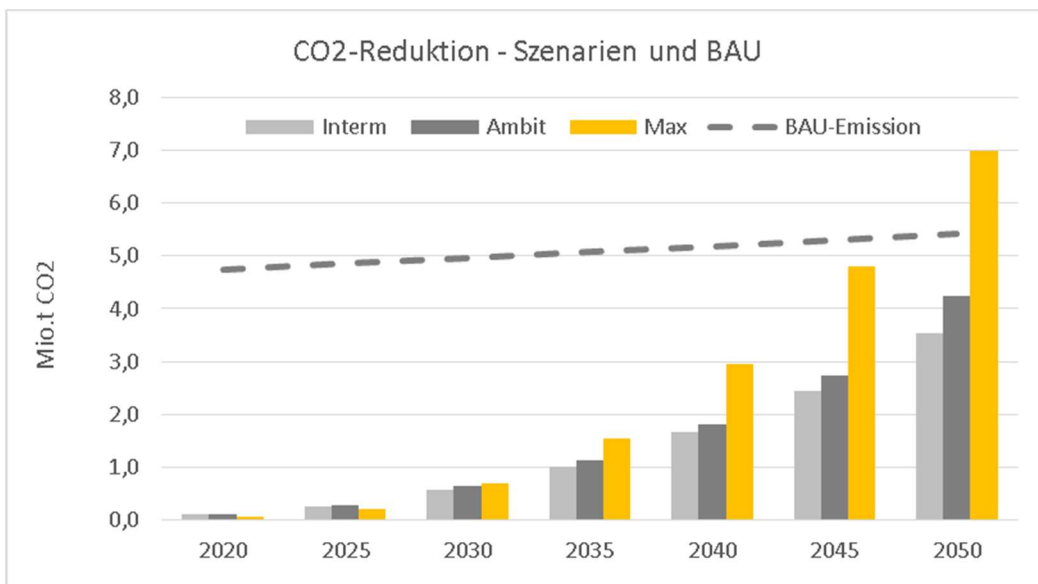


Abbildung 30: Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Reduktion in den Szenarien, eig. Berechnungen

## Rohstoffbedarf

Beim Rohstoffbedarf liegen wieder sehr große Unterschiede des Max-Szenarios zu den anderen beiden Szenarien vor, speziell beim CO<sub>2</sub>-Bedarf. Hier muss wieder auf die gewählte Priorisierung des CO<sub>2</sub> als Rohstoff aus Gründen der Limitierung der Biomasseverfügbarkeit hingewiesen werden. Die benötigten CO<sub>2</sub>-Mengen sind mit 4,7 Mio.t aber enorm, sie würden im Max-Szenario im Jahr 2050 etwa der gesamten derzeitigen CO<sub>2</sub>-Emission des Sektors Chemie und Petrochemie entsprechen. Da es sich hier um verschiedene Standorte und verschiedene Anlagengrößen handelt, ist dies keine praktikable Option. Realistischer wäre die CO<sub>2</sub>-Abscheidung bei Energieanlagen von Großanlagen oder Kraftwerken. Hierfür kommen etwa 10 fossil-thermische Kraftwerke mit über 100 MW Leistung infrage. Darüber hinaus wäre auch CO<sub>2</sub> aus Biomasse betriebenen Heiz-Kraftwerken einsetzbar, was durch die Fixierung von erneuerbarem CO<sub>2</sub> zusätzlich eine Netto-Senke bringen würde. Diese Anlagen weisen allerdings durchwegs kleine Leistungen auf, was für die ökonomische Weiterverarbeitung eine Erschwernis darstellt.

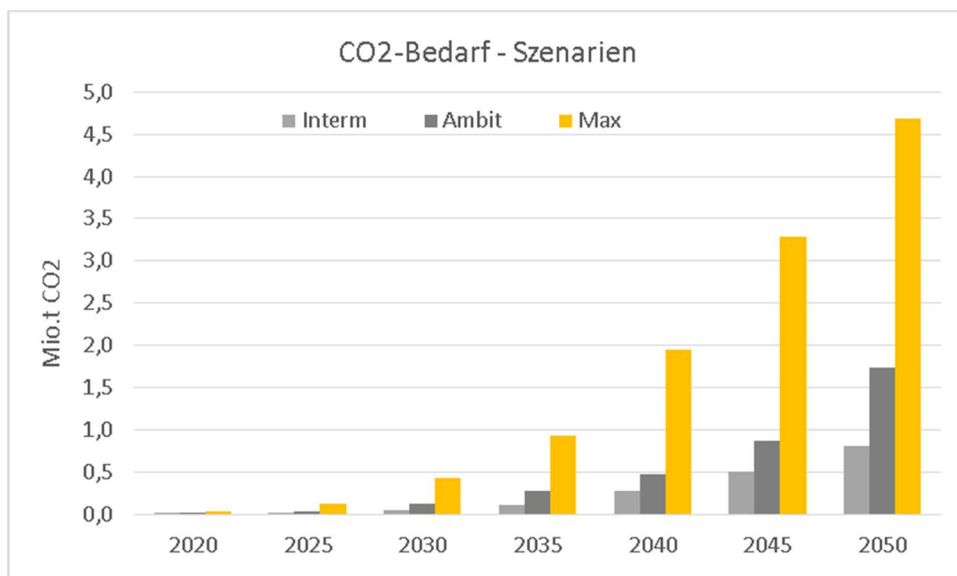


Abbildung 31: Entwicklung des CO<sub>2</sub>-Bedarfs in den Szenarien, eig. Berechnungen

Der Biomassebedarf ist wegen der getroffenen Annahmen zumindest im Maximal-Szenario deutlich geringer gegenüber dem CO<sub>2</sub>-Bedarf und weist geringere Unterschiede zwischen den Szenarien auf. Der erwartete Bedarf im Jahr 2050 von etwa 2 bis 3 Mio.t trockener Biomasse entspricht circa 6 Mio fm. Das ist etwa jene Menge, die derzeit die gesamte Papierindustrie aus Inlandsbezügen (Rundholz und Hackgut) einsetzt. Dieser neu hinzukommende Bedarf würde die Konkurrenzsituation am Holzmarkt betreffend Industrieholz und Hackgut deutlich verschärfen.

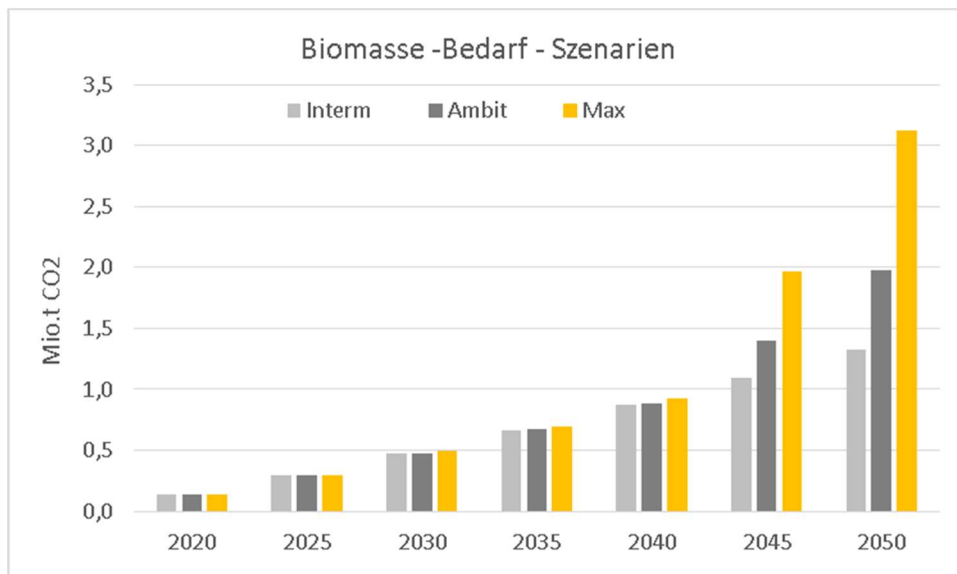


Abbildung 32: Entwicklung des Biomassebedarfs in den Szenarien, eig. Berechnungen

## Kostensituation

Die Implementierung der neuen Prozesse, die zur Decarbonisierung notwendig sind, erfordert den Ersatz und die Neuerrichtung von Anlagen, was mit hohen Investitionskosten verbunden ist. Die gesamten bei den einzelnen Szenarien dafür notwendigen Investitionen in Österreich sind nachfolgend getrennt nach konventionellen Effizienzsteigerungen und Investitionen für neue Technologien dargestellt.

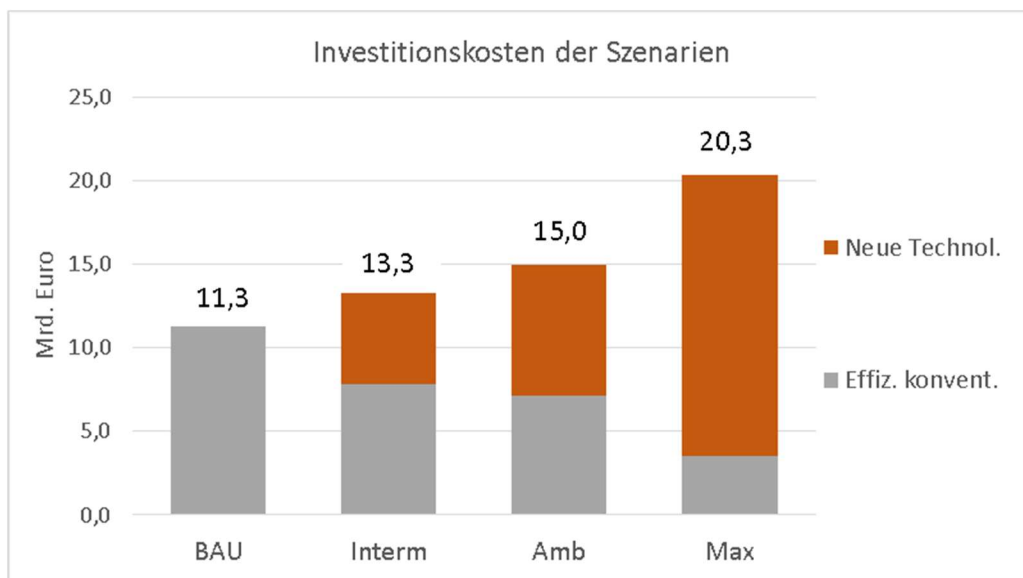


Abbildung 33: Investitionsbedarf bis 2050 in den Szenarien, eig. Berechnungen

Die Investitionen in neue Technologien steigen in Richtung Max-Szenario deutlich an, in den ersten beiden Szenarien betreffen sie noch in hohem Maße die konventionellen Effizienzsteigerungen und Umstellungen in der Energiebereitstellung. Sie liegen dort bei Beträgen unter bzw. um 15 Mrd. Euro und steigen bei vollständiger Implementierung neuer Technologien im Max-Szenario auf über 20 Mrd Euro an. Die konventionellen

Verbesserungen machen bei Letzterem nur mehr unter 20 % aus. Diese Beträge entsprechen jährlichen Investitionen im BAU von 320, von 380 bzw. 430 in den ersten beiden Szenarien sowie 580 Mio. Euro pro Jahr im Max-Szenario. Diese Investitionen betreffen alleine die Grundstoffherstellung. Wesentliche Teile der in der Chemischen Industrie laufenden Investitionen im Bereich der Weiterverarbeitung sind damit nicht enthalten, diese wären auch weiterhin notwendig. Bei den angegebenen Beträgen sind auch keine Investitionen in Energieanlagen wie Wasser, Wind, PV oder Biomasseanlagen enthalten, da diese überwiegend der Decarbonisierung des Energiesystems zugerechnet werden.

Die erwartete Entwicklung der Produktionskosten im Max-Szenario im Vergleich zum BAU zeigt die folgende Abbildung. Hierbei sind die Kosten sowohl der Produkte aus den konventionellen wie auch aus den neuen Technologien beinhaltet. Es zeigt sich im BAU 2050 eine vor allem durch die Produktionssteigerung bedingte Erhöhung um mehr als 1000 Mio. Euro. Im Vergleich dazu liegen die Kosten beim Max-Szenario im Jahr 2050 geringfügig niedriger, was neben der Kostensenkung bei einzelnen Produktionsverfahren maßgeblich durch den angenommenen Wegfall des Kaufs von CO<sub>2</sub>-Zertifikaten möglich ist. Allerdings werden diese erst bei weitgehender Implementierung wirksam, dazwischen kommt es etwa 2030 zu einer Steigerung der Kosten um etwa 500 Mio. Euro pro Jahr, die eine Schwächung der Konkurrenzfähigkeit am internationalen Markt mit sich bringen wird. Für die erfolgreiche Umstellung ist daher die langsame Einführung der Produkte über höherpreisige Marktsegmente mit nachfolgender Ausweitung der Mengen wesentlich.

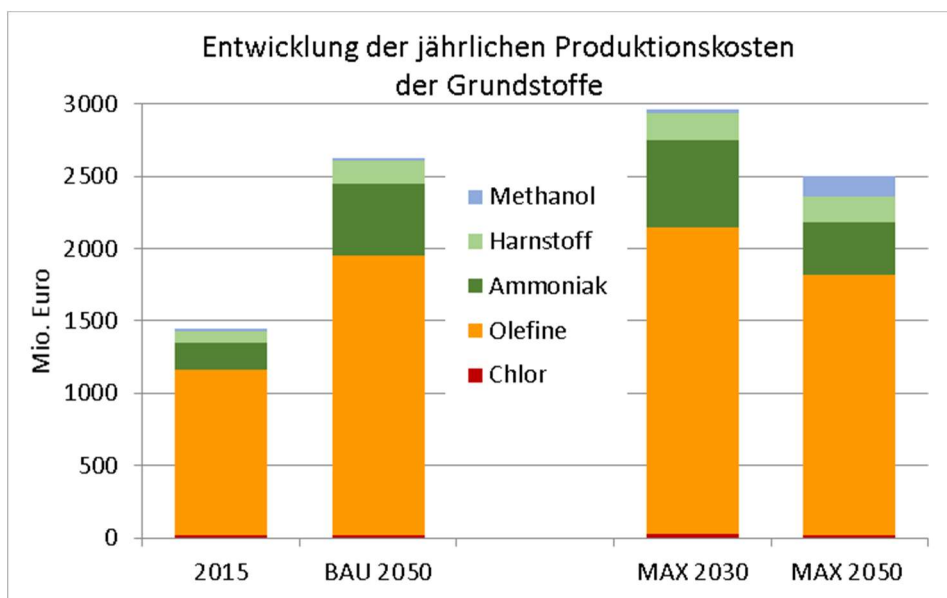


Abbildung 34: Produktionskosten pro Jahr in den Szenarien, eig. Berechnungen

## Veränderungen im Energiefluss

Nachfolgend werden die Veränderungen durch die neuen Prozesse zur Decarbonisierung, speziell die Umstellung auf erneuerbaren Strom, Wasserstoff über Elektrolyse und CO<sub>2</sub>-Fixierung bzw. Biomasseinsatz vergleichend dargestellt. Sie zeigen die deutliche Veränderung in der Art und der Aufbringung von Energie und Rohstoffen. Für den Vergleich wird die Situation 2015 dem Max-Szenario für 2050 gegenübergestellt. Die Veränderung wird nachfolgend in Form des Energieflusses dargestellt, bei dem sowohl die Rohstoffe als auch der Energieeinsatz sichtbar sind.

Die aktuelle Situation der chemischen Grundstoffproduktion baut auf dem Einsatz von Rohöl und Erdgas auf, aus denen auch die wesentlichen Energieträger bereitgestellt werden. Der Einsatz von Fremdstrom ist demgegenüber relativ gering. Die auftretenden Verluste weisen nur geringen Anteil auf, da die Ausgangsprodukte (Erdöl und Erdgas) weitgehend stofflich oder energetisch genutzt werden.

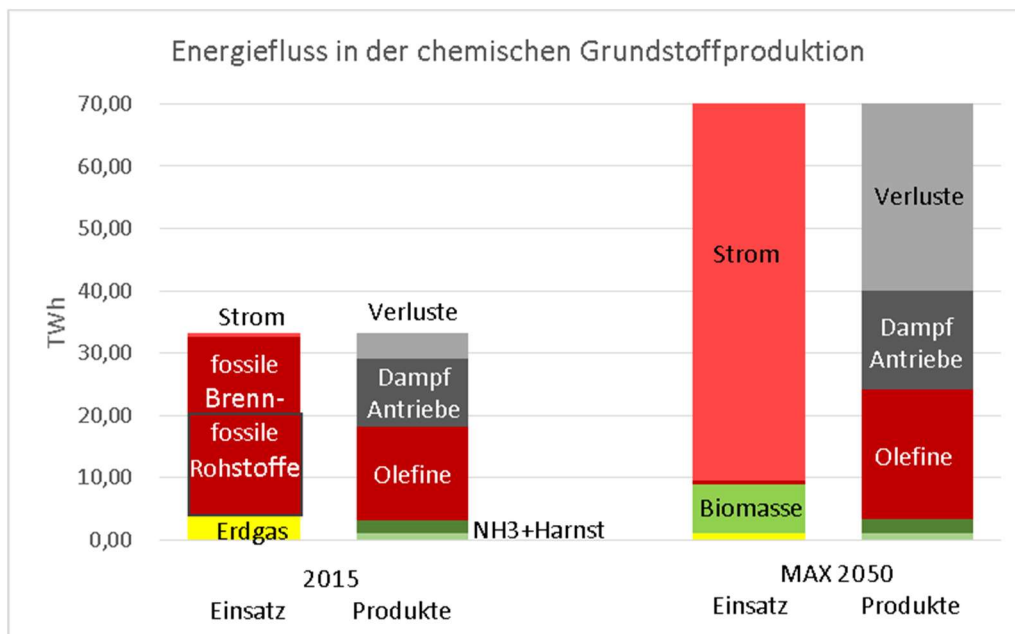


Abbildung 35: Energiefluss in der chemischen Grundstoffproduktion 2015 und Max 2050, eig. Berechnungen

Das MAX-Szenario zeigt für das Jahr 2050 demgegenüber auf der Einsatzseite überwiegend Strom und geringe Anteile von Biomasse, die in diesem Szenario aber nur den kleineren Teil des Rohstoffs für die Olefine ausmacht. Erdgas und Erdöl zeigen nur mehr untergeordnete Anteile. Im Vergleich zur aktuellen Situation ist im MAX-Szenario durch den Ausstieg aus der Verwendung des fossilen Rohstoffs eine Neusynthese der chemischen Stoffe großteils über CO<sub>2</sub> oder Biomasse notwendig, die zu einer mehr als Verdreifachung des Strombedarfs gegenüber dem konventionellen Energiebedarf führt, der aus erneuerbaren Quellen gedeckt werden müsste. Die dafür benötigten 61 TWh stellen 150 % des zusätzlichen Potenzials an erneuerbarer Energie in Österreich dar<sup>9</sup>. Damit verbunden wäre aber auch eine deutliche Steigerung der Verluste, die sich bei den einzelnen Synthesewegen ergeben.

<sup>9</sup> A. Veigl 2015. Energiezukunft Österreich, im Auftrag von GLOBAL 2000, Greenpeace und WWF

## Resumee

Insgesamt zeigt sich bei den betrachteten Varianten eine Verbesserung der Emissionssituation, der aber eine massive Steigerung im Stromeinsatz und ein hoher CO<sub>2</sub>- oder Biomassebedarf gegenübersteht. Eine weitgehende Decarbonisierung wird erst im MAX-Szenario erreicht, hier wäre die Bereitstellung von Kunststoffmonomeren ohne fossilen Rohstoffen ein wesentlicher Meilenstein. Bei diesem sind aber weder die Aufbringung der benötigten Energiemengen aus erneuerbaren Quellen noch die Versorgung mit den Rohstoffen CO<sub>2</sub> und Biomasse aus derzeitiger Sicht realistisch. In Verbindung mit dem hohen Stromeinsatz für den Aufbau von chemischen Grundstoffen mit Wasserstoff würden aber auch die Verluste deutlich steigen. Die Umsetzung der betrachteten Decarbonisierungswege führt zu hohen Investitionskosten und zwischenzeitlich auch zu höheren Kosten der Produkte, die die Konkurrenzfähigkeit am Markt verschlechtern.

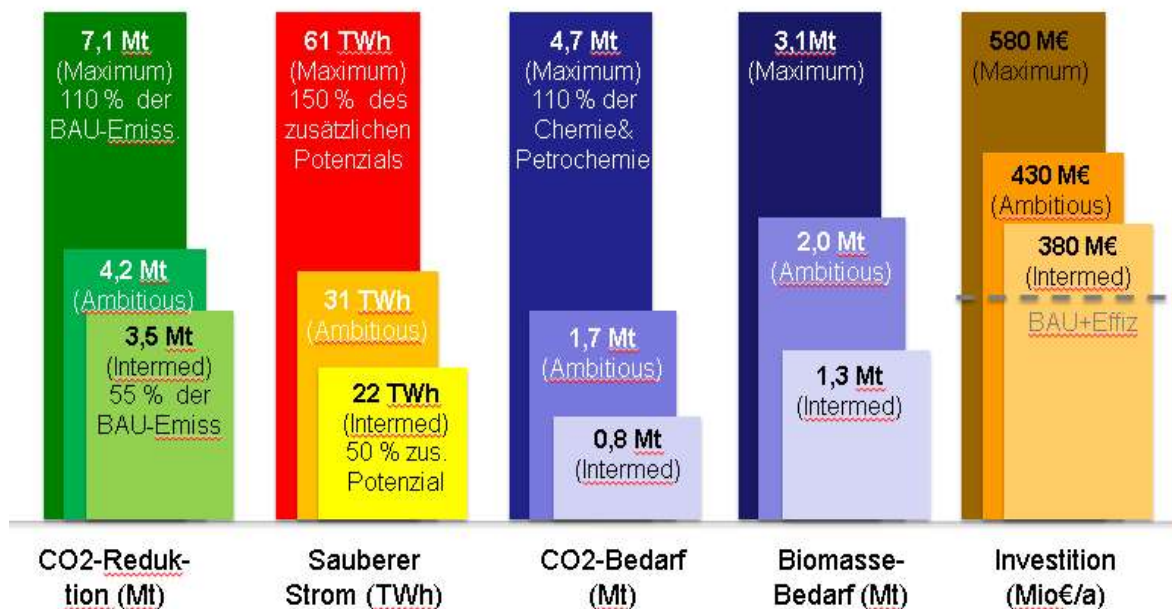


Abbildung 36: Effekte der Szenarien 2050 im Vergleich, eig. Darstellung

Bei den anderen Szenarien sind sowohl die Energie als auch die Rohstoffaufbringung weit realistischer, die CO<sub>2</sub>-Reduktionseffekte dafür aber weit geringer. Dies trifft auf die Umstellung der Dampf- und Strombereitstellung, die Chlor und die Düngerherstellung zu, die bereits wesentliche Elemente der Decarbonisierung darstellen.

Der Ausstieg aus fossilen Rohstoffen zeigt nicht die oft erwartete Reduktion des Energiebedarfs. Die Umstellung der Herstellung von chemischen Grundstoffen auf die Wasserstoff-Route ist mit hohem Strombedarf und auch einer deutlichen Steigerung der Verluste verbunden, da die chemischen Strukturen aus Wasserstoff und CO<sub>2</sub> oder über Biomasse aufgebaut werden müssen.



Der Erhalt der chemischen Strukturen erscheint damit aus Sicht der Energieökonomie vorrangig. Für die Vermeidung des Einsatzes von fossilen Ressourcen wären der Erhalt des Materials oder eine Zerlegung in Grundbausteine mit anschließender Neu-Synthese erfolgversprechende Optionen. Dies wäre durch Recycling bei sortenreiner Trennung oder Neu-Synthese nach chemischer Zerlegung in Grundbausteine bei vermischten Materialien möglich. Allerdings muss dabei der Aufwand von Sammlung, Trennung und Aufarbeitung berücksichtigt werden. Zur Verringerung des Aufwands des Recyclings würde eine forcierte Sammlung von Materialgruppen nach ihren Verwertungswegen beitragen.

## **Literatur, Hinweise**

- 1/ DECHEMA 2017. „Low Carbon Energy and Feedstock for the European Chemical Industry“ im Auftrag des CEFIC
- 2/ Emission pro Energieeinheit unter Berücksichtigung des Energie-Mixes der Branche
- 3/ International Council of Chemical Associations
- 4/ ICCA 2009. Innovations for Greenhous Gas Reduction – a life cycle quantification of carbon abatement solutions enabled by chemical industry
- 5/ B. Brandt und H. Pilz 2011. Auswirkungen von Kunststoffverpackungen auf Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen in Europa, Denkstatt GmbH im Auftrag von Plastics Europe
- 6/ A. Windsperger und B. Windsperger 2017. Klimabelastungen hinter dem Konsum in Österreich, im Auftrag der SUNPOR GmbH
- 7/ UBA 2017. Klimaschutzbericht 2017. Umweltbundesamt
- 8/ A. Veigl 2015. Energiezukunft Österreich, im Auftrag von GLOBAL 2000, Greenpeace und WWF