

AKTIONSPLAN



STUDIEN



Chemie und Petrochemie

Transform.Industry – Transformationspfade und
FTI Fahrplan für eine klimaneutrale Industrie 2040

Wien, Jänner 2024

Erstellt im Auftrag des Klima- und Energiefonds

transform.industry

Aktionsplan Branche Chemie und Petrochemie

Ausschreibung	Energieforschung 2020
Projektstart	01.10.2021
Projektende	31.07.2023
Auftragnehmer (Institution)	AIT Austrian Institute of Technology GmbH (Koordinator) Österreichische Energieagentur, Montanuniversität Leoben und Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz
Ansprechpartner	Christian Schützenhofer (Projektkoordinator, AIT)
E-Mail	christian.schuetzenhofer@ait.ac.at

Einleitung und Hintergrund	03
1.0 Status-Quo	04
1.1 Allgemeine Brancheninformation	04
1.2 Spezifische Brancheninformation	08
2.0 Transformationspfade	10
2.1 Zusammenfassung der sektorspezifischen Szenarien-Ergebnisse	10
2.2 Investitionsbedarfe und Stranded Assets	16
2.3 Branchenspezifische Schlüsseltechnologien	18
2.4 Handlungsempfehlungen	25
Literaturverzeichnis	27
Kontaktdaten	28

Einleitung und Hintergrund

Innerhalb der kommenden zwei Jahrzehnte wird Österreich zu einem klimaneutralen Land umgebaut. Die Transformation ist eine gewaltige Herausforderung, besonders in der Industrie. Damit der Umbau erfolgreich wird, braucht es große Mengen erneuerbarer Energie, Investitionen in Produktionsprozesse, die zum Teil noch neu entwickelt werden müssen, sowie einen Innovationsvorsprung im internationalen Wettbewerb.

Das Projekt *transform.industry* liefert Antworten auf die Frage, wie diese Transformation der Industrie in Österreich gelingen kann.

transform.industry ist ein Forschungsprojekt, das den produzierenden Sektor beim Weg in die Klimaneutralität unterstützt. Das Projektteam rund um AIT Austrian Institute of Technology GmbH, Österreichische Energieagentur, Montanuniversität Leoben und Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz zeigt auf, wie sich Klimaschutz, Innovations- und Wettbewerbsfähigkeit in unterschiedlichen Bereichen der österreichischen Industrie miteinander vereinbaren lassen.

Eine Bestandsaufnahme in 13 Branchen und die Identifikation von Schlüsseltechnologien, mit denen Treibhausgasemissionen verhindert oder entfernt werden können, bilden das Fundament des Projekts. Anhand von Transformationsszenarien werden der Investitions- und Energiebedarf sowie volkswirtschaftliche und ökologische Effekte abgeschätzt. Auf dieser Basis entwickeln die ExpertInnen gemeinsam mit VertreterInnen der industriellen Praxis einen strategischen Forschungs-, Technologie- und Innovationsfahrplan. Weiters sprechen sie Handlungsempfehlungen aus, welche Rahmenbedingungen geschaffen werden müssen, um innovative Schlüsseltechnologien „Made in Austria“ entwickeln und zur Marktreife bringen und damit die Wettbewerbsfähigkeit der Industrie weiter ausbauen können.

Die F&E-Dienstleistung ist im Auftrag des Klima- und Energiefonds entstanden und mit Mitteln des Energieforschungsprogramms 2020 finanziert.

1.0 Status-Quo

1.1 Allgemeine Brancheninformation

Der Produktionswert der Branche Chemie und Petrochemie zeigt einen deutlich steigenden Trend zwischen 2005 und 2019 (Abbildung 1). Nach dem Anstieg zwischen 2005 und 2008 kann es 2009 zu einem leichten Rückgang, im Jahr darauf allerdings zu einer sprunghaften Zunahme.

Der Verlauf des Produktionsindex ist dabei stark an jenen des Produktionswertes gekoppelt. Generell kann aus allen Verläufen ein wachsender Trend über die Jahre hinweg beobachtet werden, bei der Entwicklung der Wertschöpfung fiel dieser jedoch geringer aus.

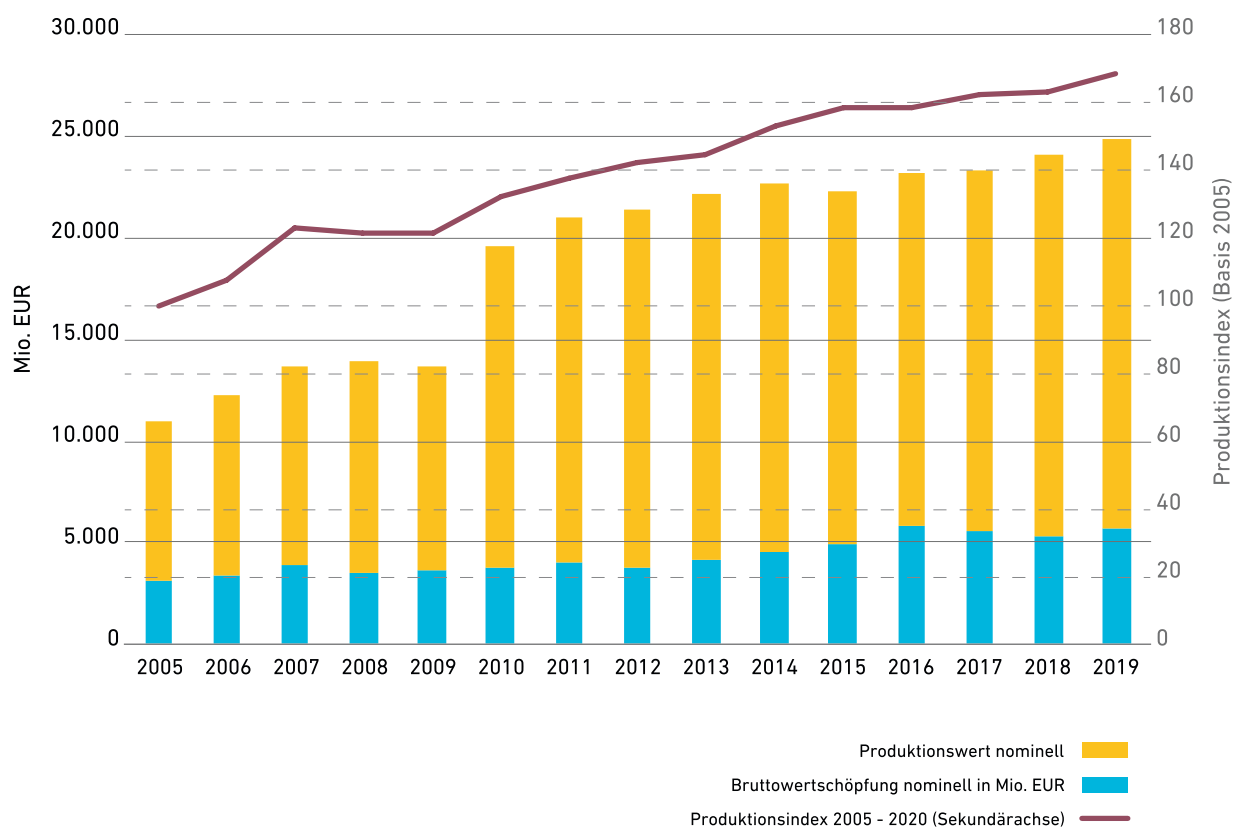


Abbildung 1
Wirtschaftliche Entwicklungen Branche
Chemie und Petrochemie, Quelle: [1]

In Abbildung 2 ist das fast durchgehende Wachstum der Erwerbstätigen und Unternehmen der Branche, in der neben Düngemitteln, Kunststoffen, Grundchemikalien u. a. auch Pharmazeutika hergestellt

werden, dargestellt. Sowohl die Zahl der Erwerbstätigen als auch die Anzahl der Unternehmen unterlag einem kontinuierlichen Wachstum seit 2009.

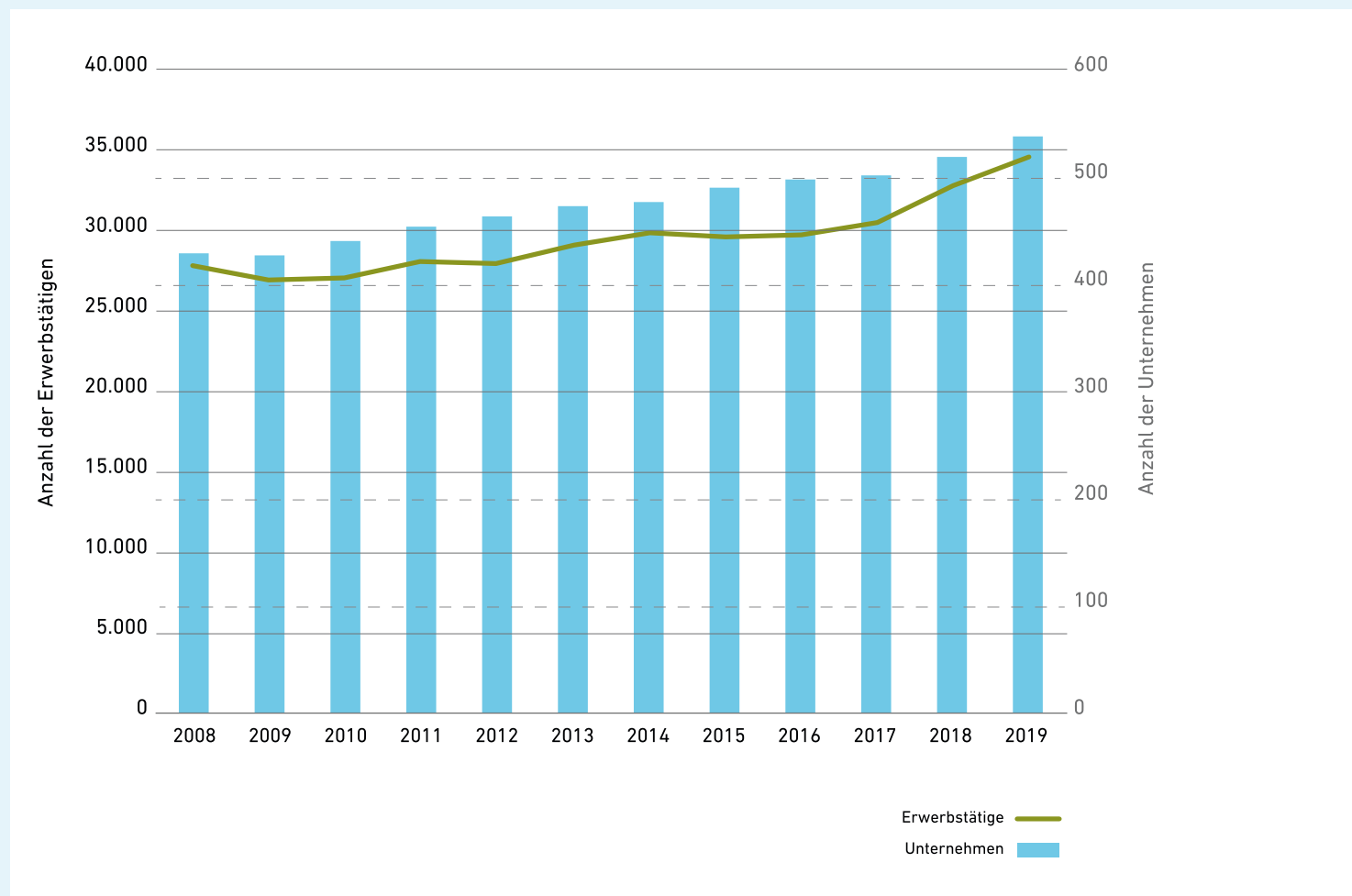


Abbildung 2
Entwicklungen Erwerbstätige & Unternehmen
Branche Chemie und Petrochemie, Quelle: [1]

Der Energieeinsatz (Abbildung 3) zeigt ebenfalls einen steigenden Trend seit 2008. Dieses Wachstum ist vor allem durch einen zusätzlichen Einsatz von Strom und Gas geprägt worden, der Einsatz an Öl – welcher, ebenso wie

Kohle, seit jeher auf eher geringem Niveau war – nahm hingegen kontinuierlich ab. Die Mengen der anderen eingesetzten Energieträger und der Fernwärme blieben über die Jahre hinweg relativ konstant.

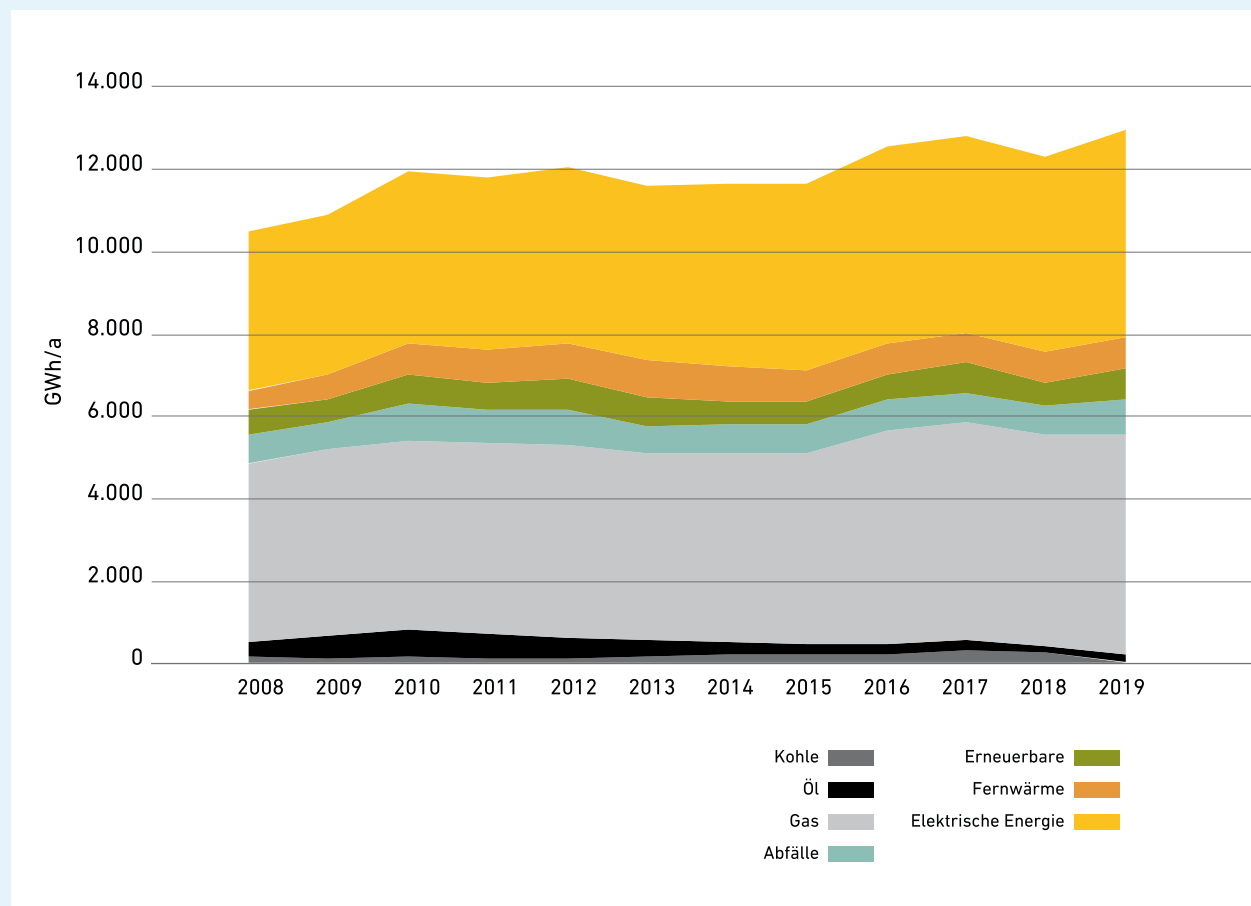


Abbildung 3
Energieeinsatz Branche Chemie und
Petrochemie, Quelle: [2]

Die Branche Chemie und Petrochemie war 2019 für rund 13% der gesamten Treibhausgasemissionen des produzierenden Bereichs verantwortlich, an den gesamt-österreichischen Emissionen hatte die Branche einen Anteil von unter 4%.

Die Treibhausgasemissionen der Branche Chemie und Petrochemie sind vor allem auf den hohen

Energieeinsatz von Gas und elektrischer Energie zurückzuführen. Die Emissionen aus der Nutzung von Öl bewegten sich auf niedrigem Niveau und nahmen zwischen 2010 und 2019 graduell ab. Die Prozessemissionen hatten über die Jahre hinweg einen maßgeblichen Anteil und waren im Mittel für rund 40% der gesamten Treibhausgasemissionen der Branche verantwortlich.

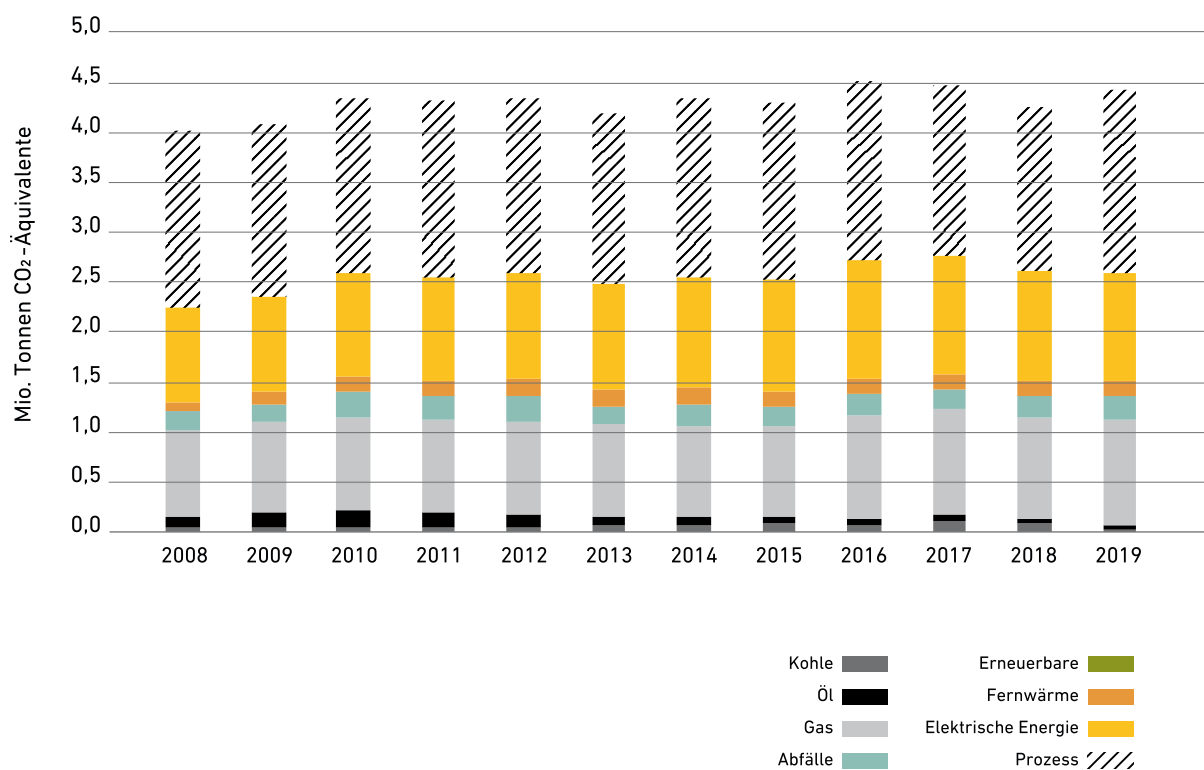


Abbildung 4

Treibhausgasemissionen Branche Chemie und Petrochemie. Quelle: [2,3], eigene Berechnungen

1.2 Spezifische Brancheninformation

Der Sektor Chemie und Petrochemie ist heterogen strukturiert und summiert unterschiedliche Subbereiche, unter anderem die Herstellung von chemischen Grundstoffen, die pharmazeutische Industrie oder die Herstellung von Lacken. Aufgrund dieser Kleinteiligkeit und der Vielzahl an unterschiedlichen Produkten wird im Folgenden das Benchmarking auf die besonders emissions- und energieintensive Produktion von chemischen Grundstoffen beschränkt. Diese umfassen die Produktion von Ammoniak, Olefinen und Methanol. In den zugrundeliegenden Prozessen werden fossile Energieträger nicht nur für die Energiebereitstellung, sondern auch als stofflicher Einsatz im Produktionsprozess eingesetzt. Dieser stoffliche Einsatz von vorrangig Erdgas wird in der Regel als nicht-energetischer Einsatz von fossilen Energieträgern zusammengefasst. Zusätzlich entstehen am Ende des Lebenszyklus der chemischen Produkte bei der thermischen Verwertung weitere Treibhausgasemissionen.

In Tabelle 1 sind Benchmarks für die ausgewählten Produkte zusammengefasst. Da Informationen zu spezifischen Energiebedarfen und Treibhausgasemissionen der jeweiligen Produktionsprozesse auf nationaler Ebene (Ausnahme: Ammoniak) nicht vorhanden sind, werden für die bekannten Prozesse Literaturwerte als Referenz angenommen. Ein Vergleich mit durchschnittlichen europäischen Werten ist in diesen Fällen nicht sinnvoll. Zusätzlich sind, sofern vorhanden, die technischen Bewertungskriterien für einen wesentlichen Beitrag zum Klimaschutz der EU-Taxonomie Verordnung angeführt. Die angegebenen Werte beziehen sich sowohl auf den energetischen als auch nicht-energetischen Einsatz.

Ammoniak wird in Österreich an einem Betriebsstandort mittels Dampfreformierung aus Erdgas und anschließender Haber-Bosch-Synthese in einer integrierten Anlage gemeinsam mit Harnstoff, Melamin, Salpetersäure und Düngemittel produziert. Die Produktionsmenge im Jahr 2019 betrug 0,55 Mio. t [4]. Die spezifischen Treibhausgasemissionen, die im Nachfolgenden abzüglich der in Folgeprodukten gebundenen Emissionen angegeben sind, der österreichischen Ammoniakproduktion sind im europäischen Vergleich niedrig, siehe Tabelle 1 und Abbildung 5.

Olefine (Ethylen und Propylen) werden in Österreich an einem Betriebsstandort mittels Steam-Cracker aus Naphtha hergestellt. Die Produktionsmenge im Jahr 2015 betrug 1,3 Mio. t [5]. Methanol wird in Österreich aus Erdgas in Dampfreformern und anschließenden Methanol-Konvertern produziert. Die Produktionsmenge im Jahr 2018 (keine aktuelleren Daten verfügbar) betrug 0,27 Mio. t [6].

Produkt	Europa – EU 27			Österreich			EU-Taxonomie
	Produktion (Mio. t)	Spez. Energie- verbrauch (GJ/t Produkt)	Spez. Emiss. (t CO ₂ Äqu./ t Produkt)	Produkt. (Mio. t)	Spez. Energie- verbrauch (GJ/t Produkt)	Spez. Emiss. (t CO ₂ Äqu./ t Produkt)	Emissionsbenchmark (t CO ₂ Äquivalente/ t Produkt)
Ammoniak	14,6 [7]	–	1,38 [7]	0,55 [4]	35,04 [8]	0,93 [4]	–
Olefine (HVC)	29,1 [9]	–	–	1,3 ^a [5]	16,39 [8]	0,8 ^b [5]	0,693 ^b [10]
Methanol	2,4 [9]	–	–	0,27 ^c [6]	37,5 [8]	1,49 [8]	–

Tabelle 1

Benchmark der chemischen Industrie für ausgewählte Produkte für das Jahr 2019

a Wert aus 2015

b Ohne Berücksichtigung von Emissionen aus stofflichem Einsatz

c Wert aus 2018

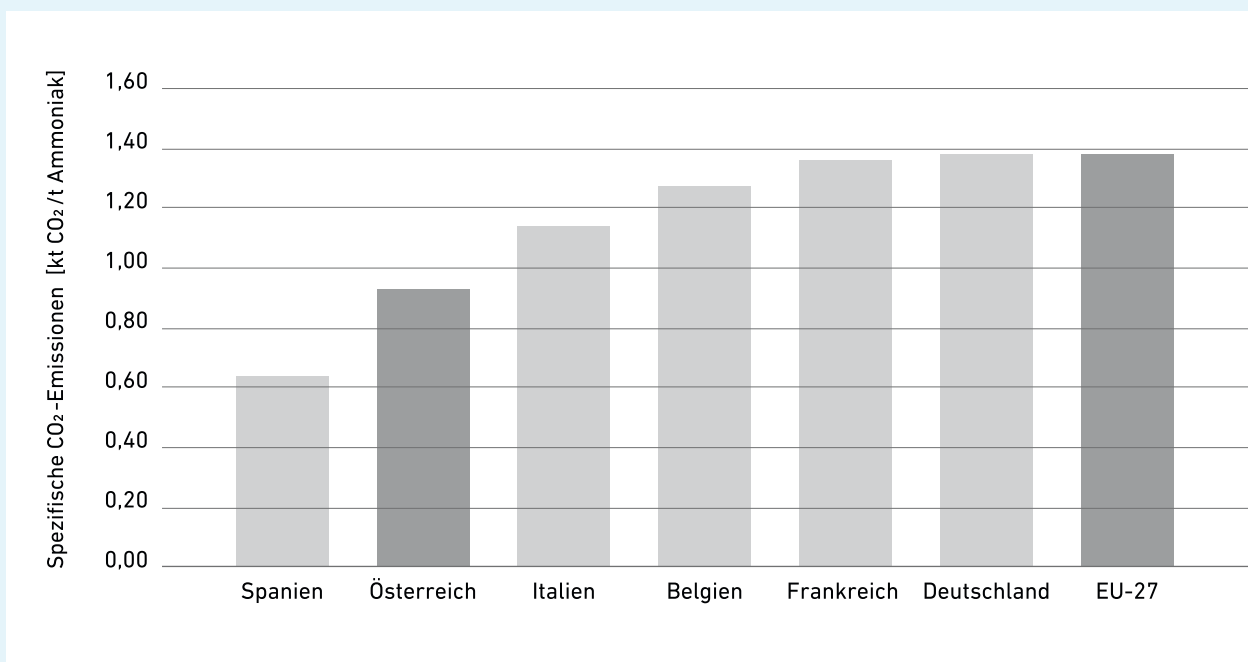


Abbildung 5

Vergleich der spezifischen Emissionen der Ammoniakproduktion in ausgewählten europäischen Ländern je Tonne Produkt

2.0 Transformationspfade

Die Erkenntnisse zur Transformation vom Status Quo zur Klimaneutralität in der Branche Chemie und Petrochemie wurden mit einem mehrstufigen Ansatz gewonnen. Zuerst wurden ausgehend vom Energieeinsatz 2020, der den Übergang zwischen der historischen Betrachtung in Abschnitt 1 zum zukünftigen Energieeinsatz darstellt, zukünftig eingesetzte Energieträger und -mengen für unterschiedliche Entwicklungspfade in Fünfjahresschritten bis 2040 in vier Szenarien modelliert, vgl. Abschnitt 2.1. Ein Überblick zu den Entwicklungspfaden wird im folgenden Abschnitt gegeben, Details zu den Annahmen für die ausgearbeiteten Szenarien finden sich im Gesamtbericht wieder. Auf den Ergebnissen der Szenarien aufbauend wurden volkswirtschaftliche Effekte der einzelnen Entwicklungspfade analysiert, vgl. Abschnitt 2.2. Durch die Analyse der volkswirtschaftlichen Effekte wurden die branchenspezifischen Schlüsseltechnologien identifiziert und weitere innovationspolitische Handlungsempfehlungen abgeleitet, vgl. Abschnitt 2.3 bzw. 2.4.

2.1 Zusammenfassung der sektorspezifischen Szenarien-Ergebnisse

Basierend auf den bisherigen Entwicklungen der Nutzung von Energie und unter der Annahme klimaneutraler Energiebereitstellung bis 2040 wurde in vier Szenarien bzw. technologischen Entwicklungspfaden ermittelt, wie sich der Bedarf an klimaneutralen Energieträgern innerhalb der Branche Chemie und Petrochemie entwickelt. Die gewählten Szenarien bilden dabei verschiedene Ansätze und Trends ab, wie die Klimaneutralität in der Industrie erreicht werden kann. Allen Szenarien gemein ist die Annahme einer konstant moderaten Wirtschaftsentwicklung bei gleichbleibenden Erzeugungsmengen von Grundstoffen. Die Annahmen und Entwicklungspfade der einzelnen Szenarien werden im Folgenden in der Diskussion der Ergebnisse für die Branche kurz vorgestellt.

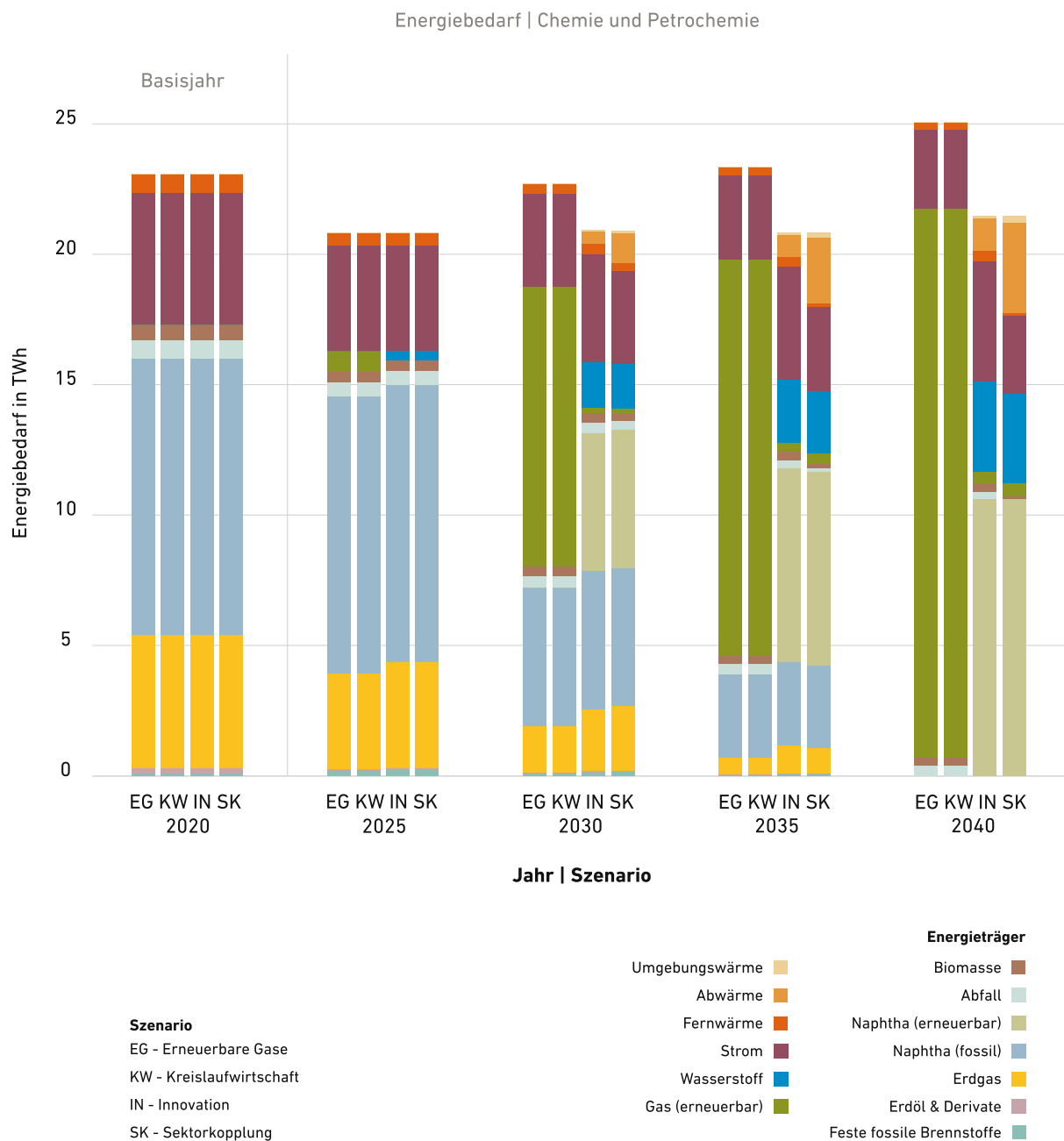


Abbildung 6
Energieverbrauch der Branche Chemie und Petrochemie
gegliedert nach Energieträger und je Szenario über die Jahre

Die Ergebnisse für die vier ermittelten Szenarien im Vergleich zum Basisjahr 2020, das den Übergang zwischen den historischen Betrachtungen und den zukünftigen Entwicklungen darstellt, werden für die Jahre 2025, 2030, 2035 und 2040 und für die eingesetzten Energieträger in *Abbildung 6* dargestellt. Die *Abbildung* zeigt die Substitution fossiler Energieträger durch emissionsfreie Ressourcen sowohl als Rohstoffe als auch als Energieträger.

Im Szenario Erneuerbare Gase (EG) erfolgt die Substitution fossiler Energieträger durch den Einsatz erneuerbarer Gase (CH_4 aus biogenen Ressourcen). Darauf aufbauend wird im Szenario Kreislaufwirtschaft (KW) angenommen, dass durch forciertes Recycling, beispielsweise im Bereich der Kunststoffe, in einigen Branchen die Primärstoffherstellung effizienter wird. In beiden Szenarien basiert die Herstellung von Ammoniak und Methanol auf Biomethan anstelle von Erdgas, was eine Verlagerung hin zu nachhaltigeren Quellen bedeutet. Bei der Herstellung von Olefinen ersetzt emissionsfreies Methanol fossiles Naphtha als Rohstoff im Methanol-Olefin-Prozess, was ebenfalls zu einer geringeren Umweltbelastung beiträgt. Im Szenario Innovation (IN) wird Ammoniak und Methanol mit emissionsarmem Wasserstoff hergestellt und erneuerbares Naphtha anstelle von fossilem Naphtha für die Olefinproduktion verwendet. Darauf aufbauend, wird im Szenario Sektorkopplung (SK) vertiefend zum Szenario Innovation ein zusätzlicher standort-übergreifender Austausch von Energieträgern angenommen. Abwärme aber auch hochexergetische Energieträger werden über Standortgrenzen hinweg, gemäß optimalem exergetischen Einsatz, verwendet.

In jedem Szenario wird die Verwendung fossiler Energieträger für Prozesswärme über 200 °C durch Biomasse (im Bereich von $200\text{--}500\text{ °C}$) und Biomethan oder Wasserstoff (über 500 °C) ersetzt. Wie bei der Prozesswärme unter 200 °C unterscheiden sich die Ersatzoptionen je nach Szenario. In den Szenarien EG und KW wird erneuerbares Gas eingesetzt, während im Szenario IN Wärmepumpen verwendet werden. Das Szenario SK nutzt das Abwärmepotenzial, um den Wärmebedarf auf dieser Ebene zu decken.

Das Kunststoffrecycling im Szenario KW hat nur einen geringen Einfluss auf den absoluten Energieverbrauch der Branche ist aber aus Sicht der Ressourceneffizienz als sehr sinnvoll zu betrachten.

Abbildung 7 zeigt die Verteilung des Energieverbrauchs auf der Grundlage von Nutzenergiekategorien innerhalb der chemischen und petrochemischen Sektoren. Der größte Teil der Energie im Branche Chemie und Petrochemie wird für die Bereitstellung von Rohstoffen aufgewendet, z. B. Methanol für die Olefinproduktion in den Szenarien EG und KW und Wasserstoff für die Ammoniak- und Methanolproduktion in den Szenarien IN und SC. Eine weitere wichtige Energieverbrauchs-kategorie ist Prozesswärme unter 200 °C , gefolgt von Standmotoren. Prozesswärme über 200 °C und Raumwärme machen einen geringeren Anteil am Energieverbrauch der Chemie und Petrochemie aus.

Energiebedarf nach Nutzenergiekategorie | Chemie und Petrochemie

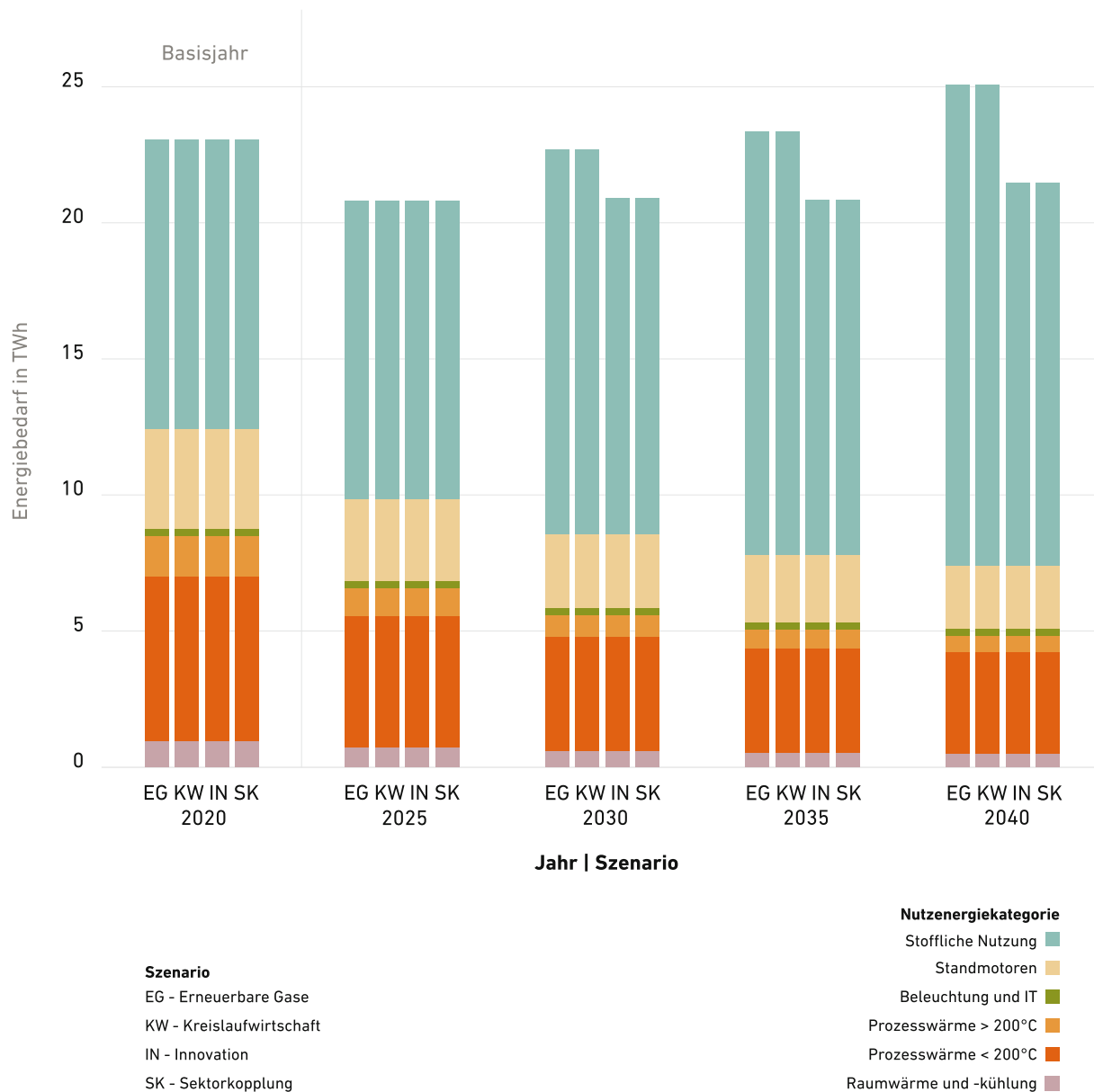


Abbildung 7
 Energieverbrauch der Chemie- und Petrochemie nach Nutzenergie
 für den Status Quo 2020 und je Szenario über die Jahre

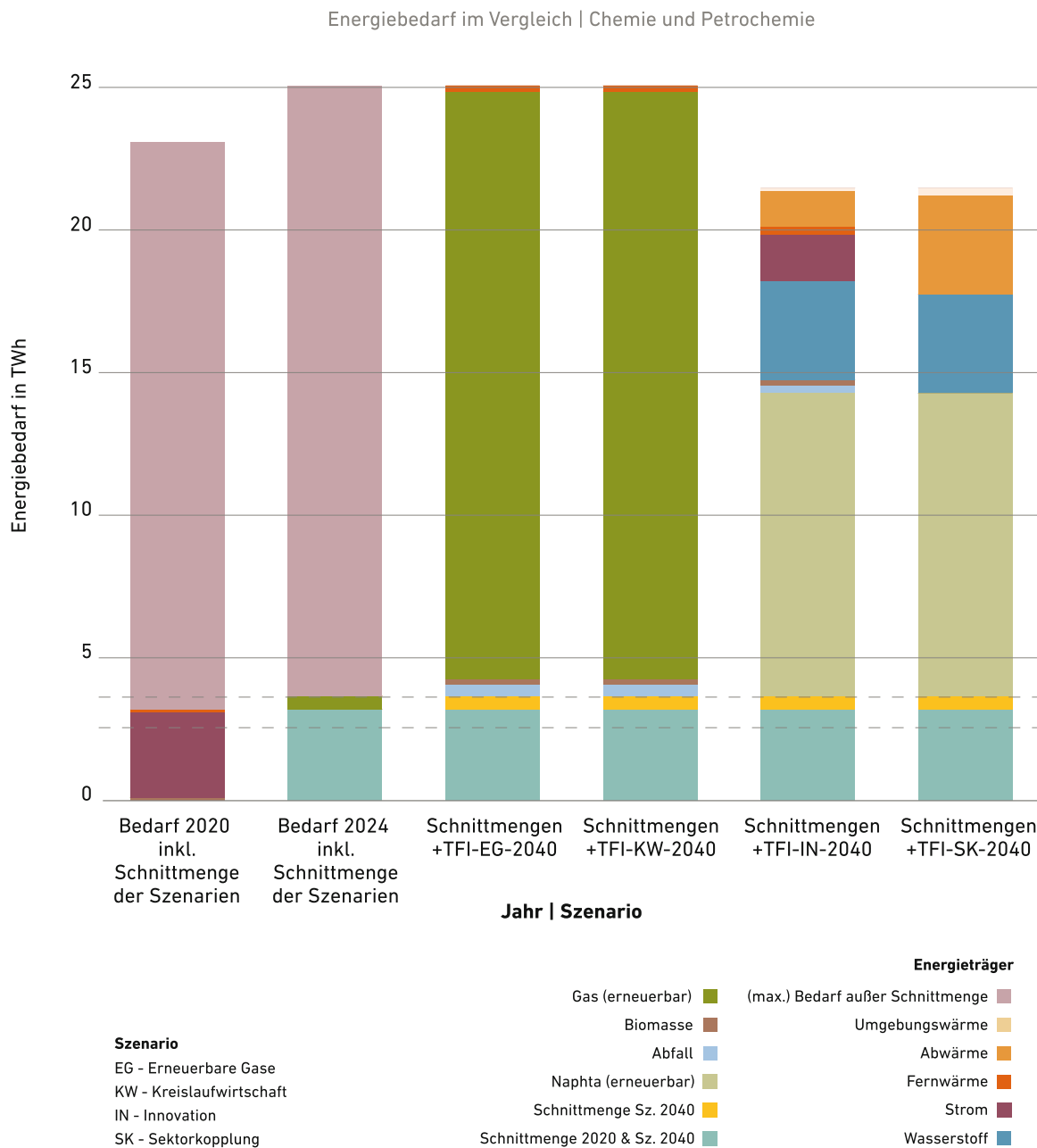


Abbildung 8

Vergleich der eingesetzten Energieträger nach Modell:
 Erste Säule Modell-unabhängiger Anteil im Jahr 2020,
 Zweite Säule Modell-unabhängiger Anteil im Jahr 2040,
 drei bis sechs: Varianz der Szenarien

Ein Vergleich des Energieverbrauchs der verschiedenen Szenarien in der Branche Chemie und Petrochemie ist in *Abbildung 8* dargestellt. Die *Abbildung* zeigt, dass die Einführung von Schlüsseltechnologien, wie der Ersatz fossiler Energieträger durch Bio-CH₄ (Biomethan) in den Szenarien EG und KW sowie Wasserstoff und erneuerbares Naphtha in den Szenarien IN und SK, erhebliche Auswirkungen auf die Energieflüsse innerhalb des Sektors hat. Diese technologischen Veränderungen sind entscheidend für die Dekarbonisierung der Industrie und die Verringerung ihrer Abhängigkeit von fossilen Energieträgern.

Darüber hinaus erweisen sich die Substitution fossiler Energieträger als Energiequelle durch Biomethan, die Einführung von Wärmepumpen und die Nutzung des Abwärmepotenzials als wichtige technologische Optionen für die Dekarbonisierung der chemischen und petrochemischen Branche. Diese Alternativen tragen zu einer nachhaltigeren Energielandschaft bei und helfen, die Treibhausgasemissionen zu verringern.

2.2 Investitionsbedarfe und Stranded Assets¹

Die in den Leistungs- und Strukturdaten der Statistik Austria erfassten Gesamtinvestitionen in der Branche Chemie und Petrochemie lagen in den Jahren 2008–2019 bei durchschnittlich 774 Mio. € pro Jahr, wobei in den letzten Jahren ein deutlicher Anstieg auf bis zu 1137 Mio. € (2019) zu verzeichnen ist. Davon entfielen durchschnittlich 96% auf Investitionen in Sachanlagen. Bei Beibehalten aktueller Prozessketten und entsprechender Fortschreibung dieser Investitionszyklen würde sich damit ein Gesamtvolumen an Investitionen in Sachanlagen von ca. 5,9 Mrd. € bis 2030 bzw. ca. 13,3 Mrd. € bis 2040 ergeben. Im Vergleich dazu betragen die ermittelten Investitionskosten für die Transformation, die, neben der Bereitstellung von

Prozesswärme, insbesondere die erneuerbare Herstellung von Basischemikalien betreffen, je nach Szenario, bis zu 370 Mio. € pro Jahr bzw. in Summe bis zu 3,7 Mrd. € bis 2040 (siehe *Abbildung 9*). Allerdings ist der tatsächliche Investitionsbedarf sehr stark vom jeweiligen Transformationspfad bzw. den eingesetzten Energieträgern und Rohstoffen abhängig. So können bei einer direkten Substitution des heute eingesetzten Erdgases durch Biomethan sowohl für Wärmebereitstellung als auch stoffliche Nutzung (Ammoniak- und Methanolherstellung) bestehende Prozesse und Anlagen weitgehend unverändert weiter genutzt werden. Gleiches gilt beim Ersatz von fossilem Naphtha für die Olefinproduktion durch erneuerbare Äquivalente (z. B. durch Naphtha aus erneuerbaren Fischer-Tropsch-Prozessen). Allerdings sind hier vergleichsweise hohe Kosten für die entsprechenden erneuerbaren Energieträger bzw. Rohstoffe zu erwarten, sowie Abhängigkeiten von Importen mit entsprechenden Implikationen aus volkswirtschaftlicher Perspektive. Diese Importabhängigkeiten können potenziell reduziert werden, durch zunehmende Elektrifizierung der Wärmebereitstellung (Wärmepumpen) und Abwärmennutzung, sowie eine Umstellung der Grundprozesse auf die Nutzung von Wasserstoff als primärer Rohstoff². Allerdings sind hiermit entsprechend hohe Investitionsbedarfe, sowohl Wärme-bezogen (bis zu 1,4 Mrd. € bis 2040) als auch für die Prozesse der Grundstoffchemie (bis zu 3,7 Mrd. € bis 2040), verbunden. Des Weiteren betreffen, je nach Szenario, nur rd. 20–40% direkte Investitionen für Equipment, der Rest bezieht sich auf indirekte Investition, wie z. B. Engineering, periphere Komponenten, oder Bautätigkeiten.

¹ *Stranded Assets* bezeichnen Investitionsgüter, die einen unerwartet hohen Wertverlust haben und vorzeitig abgeschrieben werden müssen

² Die hier dargestellten Investitionsbedarfe inkludieren nicht jene für die erneuerbare Wasserstoffproduktion (Elektrolyse) da diese nicht explizit der jeweiligen Branche zugeordnet werden können.

Da ein Großteil der energetisch eingesetzten fossilen Energieträger in dieser Branche die Bereitstellung von Prozesswärme betrifft, ist vor allem hier mit potenziellen Stranded Assets zu rechnen. Allerdings zeigt der aktuelle Endenergieeinsatz der Branche auch, dass es hier bereits heute zu einer weitreichenden Elektrifizierung kommt. Auch die eingesetzten Standmotoren sind bereits weitgehend elektrifiziert. Durch diese sukzessive Umstellung ist im Zuge der Transformation nicht mit wesentlichen Fehlinvestitionen zu rechnen, sofern diese weiterverfolgt wird und eine entsprechende Dekarbonisierung des Strominputs erfolgt.

Zusätzlich zur energetischen Nutzung ist der nicht-energetische Einsatz von fossilen Energieträgern für die Bereitstellung von Grundstoffchemikalien (Olefine, Wasserstoff) relevant für die Branche Chemie und Petrochemie. Bezüglich der Herstellung von Wasserstoff, insbesondere für die Herstellung von Methanol und Ammoniak, ist, je nach Dekarbonisierungspfad, gegebenenfalls mit einem Wegfall der Dampfreformierungsanlagen zu rechnen.

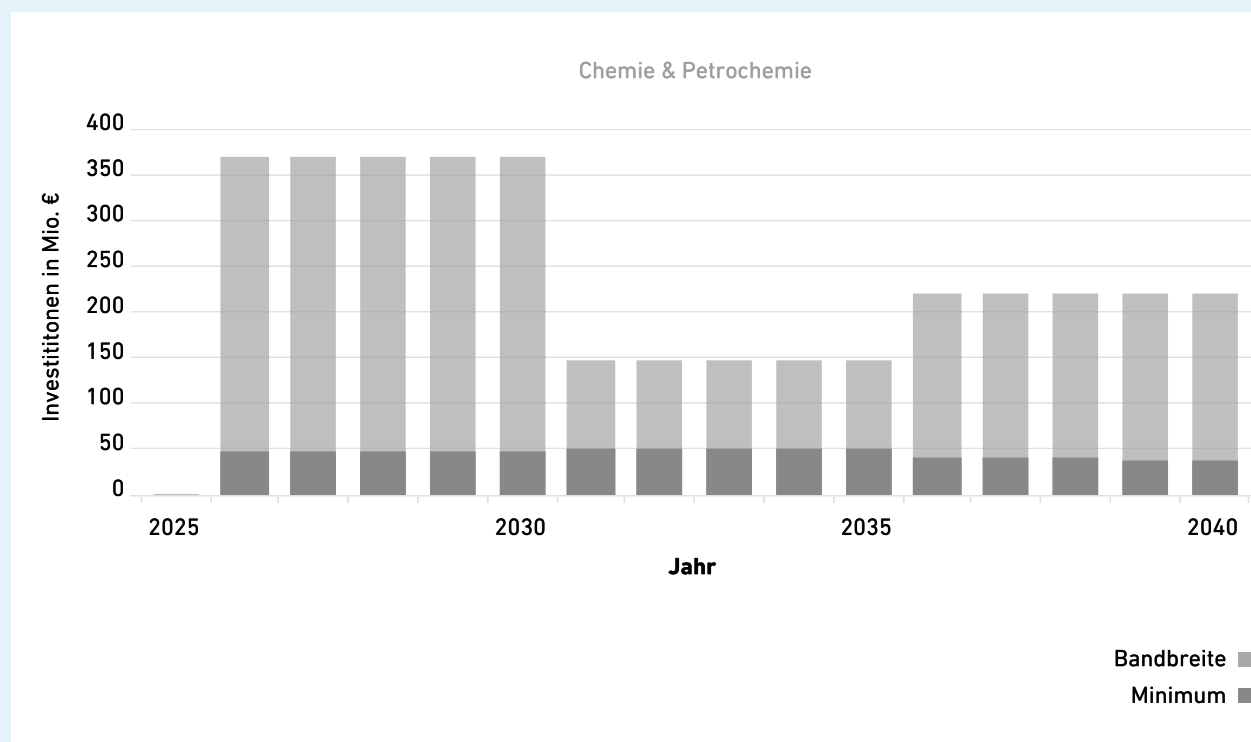


Abbildung 9
Notwendiger Investitionsbedarf für die Transformation (Bandbreite aus den Szenarien) in der Branche Chemie & Petrochemie

2.3 Branchenspezifische Schlüsseltechnologien

Die in den Entwicklungspfaden berücksichtigten Maßnahmen für die unterschiedlichen Nutzenergiekategorien (Anwendungsbereiche) wurden in den nachfolgenden Tabellen zusammengefasst und hinsichtlich folgender Kriterien verglichen:

- Emissionsreduktions-Potenzial in der Branche,
- Investitionsbedarf bzw. Energiekosten im Vergleich zu Alternativen für den Anwendungsbereich,

- Primärenergiereduktions-Potenzial und
- Reifegrad der Maßnahme.

Aus diesen Kriterien wurde unter Berücksichtigung der Analyse der volkswirtschaftlichen Effekte eine Bewertung jeder Maßnahme vorgenommen.

Anwendungsbereich	Kurzbezeichnung Maßnahme	Emissionsreduktionspotenzial in der Branche bzw. branchenübergreifend (hoch, mittel, niedrig)	Invest-Bedarf in Relationen zu Alternativen im Anwendungsbereich (günstig, mittel, teuer)	Energiekosten in Relation zu Alternativen im Anwendungsbereich (günstig, mittel, teuer)	Primärenergie-reduktionspotenzial in Relation zu Alternativen im Anwendungsbereich (hoch, mittel, niedrig)	Reifegrad (vor-marktreif, marktreif, marktverfügbar, etabliert)	Klassifikation der Maßnahme (empfehlenswert, bedingt empfehlenswert, nicht empfehlenswert)
Raumwärme	Integration Wärmepumpen – Nutzung Umgebungswärme oder industrielle Abwärme (standortintern oder -übergreifend)	Niedrig	Teuer	Mittel	Niedrig	Marktverfügbar	Empfehlenswert
	Direkte Wärmerückgewinnung (standortintern oder -übergreifend)	Niedrig	Günstig	Günstig	Niedrig	Marktverfügbar	Empfehlenswert
	Erhalt/Ersatz der Bestandsstruktur & Energieträgerwechsel für fossile Brennstoffe (erneuerbare Gase – grüner H ₂ /erneuerbares CH ₄)	Niedrig	Günstig	Teuer	Niedrig	Etabliert	Empfehlenswert
	Einsatz Fernwärme	Hoch	Mittel	Teuer	Mittel	Etabliert	Bedingt empfehlenswert
Prozesswärme < 200 °C	Erhalt/Ersatz der Bestandsstruktur bzw. Neuanlagen und Energieträgerwechsel für fossile Brennstoffe (erneuerbare Gase – grüner H ₂ /erneuerbares CH ₄)	Hoch	Günstig	Teuer	Niedrig	Etabliert	Empfehlenswert
	Erhalt Bestandsstruktur bzw. Neuanlagen für feste Brennstoffe wie Biomasse oder Ersatzbrennstoffe	Hoch	Günstig	Mittel	Niedrig	Etabliert	Bedingt empfehlenswert
	Vergasung biogener Rohstoffe und Einsatz in anderen Branchen	Hoch	Teuer	Mittel	Niedrig	Vor-marktreif	Bedingt empfehlenswert
	Elektrifizierung bzw. Integration Hochtemperatur-Wärmepumpe	Hoch	Teuer	Mittel	Hoch	Vor-marktreif	Empfehlenswert
	Branchen-übergreifende direkte Abwärmenutzung	Hoch	Mittel	Günstig	Hoch	Marktverfügbar	Empfehlenswert



Anwendungsbereich	Kurzbezeichnung Maßnahme	Emissionsreduktionspotenzial in der Branche bzw. branchenübergreifend (hoch, mittel, niedrig)	Invest-Bedarf in Relationen zu Alternativen im Anwendungsbereich (günstig, mittel, teuer)	Energiekosten in Relation zu Alternativen im Anwendungsbereich (günstig, mittel, teuer)	Primärenergie-reduktionspotenzial in Relation zu Alternativen im Anwendungsbereich (hoch, mittel, niedrig)	Reifegrad (vor-marktreif, marktreif, marktverfügbar, etabliert)	Klassifikation der Maßnahme (empfehlenswert, bedingt empfehlenswert, nicht empfehlenswert)
Prozesswärme > 200 °C	Erhalt Bestandsstruktur & Energieträgerwechsel für fossile Energieträger (erneuerbare Gase – grüner H ₂ oder erneuerbares CH ₄)	Niedrig	Günstig	Teuer	Niedrig	Etabliert	Empfehlenswert
	Erhalt Bestandsstruktur für feste Energieträger wie Biomasse oder Ersatz-Energieträger	Niedrig	Günstig	Mittel	Niedrig	Etabliert	Empfehlenswert
Standmotoren	Selbstfahrende Arbeitsmaschinen: Ersatz von Dieselantrieben durch BEV bzw. FCEV	Hoch	Teuer	Mittel	Niedrig	Vor-marktreif	Empfehlenswert
Prozess-emissionen	Energiequellenwechsel für fossile Energieträger (erneuerbare Gase – grünes H ₂ oder Bio-CH ₄) für die Ammoniak- und Methanol Herstellung	Hoch	Teuer	Teuer	Niedrig	Marktverfügbar	Empfehlenswert
	Prozessumstellung von Naphtha auf MTO (Methanol zu Olefinen) für die Herstellung von Olefinen	Hoch	Teuer	Teuer	Niedrig	Marktverfügbar	Empfehlenswert
	Prozessumstellung von fossilem Naphtha auf erneuerbares Naphtha für die Olefin Herstellung	Hoch	Mittel	Mittel	Niedrig	Marktreif	Empfehlenswert
	Kunststoffrecycling durch das mechanische Recycling	Niedrig	Mittel	Mittel	Niedrig	Marktverfügbar	Empfehlenswert
	Kunststoffrecycling durch das chemische Recycling	Niedrig	Mittel	Mittel	Niedrig	Vor-marktreif	Empfehlenswert

Tabelle 2
Branchenspezifische Schlüsseltechnologien
in der Branche Chemie und Petrochemie

Der folgende Abschnitt fokussiert auf die wichtigsten Technologien – die sogenannten No-regret-Technologien – die sich erheblich auf die Emissionsminderung und die Energieeffizienz in der chemischen und petrochemischen Industrie auswirken. Bei der Herstellung von Ammoniak, Methanol und Olefinen wird der größte Teil des Energieverbrauchs in der chemischen Industrie als Rohstoff verwendet (siehe Stoffliche Nutzung im Abbildung 7). Die Rohstoffe, die derzeit auf fossilen Energieträgern basieren (Erdgas oder fossiles Naphtha), sind für einen Großteil der Energie und der CO₂-Emissionen in der chemischen Industrie verantwortlich, so dass die Technologien zur Veränderung der Rohstoffe die Schlüsseltechnologie für diesen Sektor darstellen.

Die in den Entwicklungspfaden berücksichtigten Maßnahmen für die unterschiedlichen Nutzenergiekategorien (Anwendungsbereiche) wurden in den nachfolgenden Tabellen zusammengefasst und hinsichtlich folgender Kriterien verglichen:

- Emissionsreduktions-Potenzial in der Branche,
- Investitionsbedarf bzw. Energiekosten im Vergleich zu Alternativen für den Anwendungsbereich,
- Primärenergiereduktions-Potenzial und
- Reifegrad der Maßnahme.

Aus diesen Kriterien wurde unter Berücksichtigung der Analyse der volkswirtschaftlichen Effekte eine Bewertung jeder Maßnahme vorgenommen.

Die in Tabelle 2 empfohlenen Technologien für Raumheizung und Prozesswärme über 200 °C werden aufgrund des geringen Anteils dieses Bereichs am Gesamtenergieverbrauch und den Emissionen des Sektors nicht näher erläutert.

Wärmepumpen zur Prozesswärme- bereitstellung bis 200 °C

Kriterium	Beschreibung
Relevanz für die Branche Chemie und Petrochemie	Die Nutzung der Wärmepumpe in Kombination mit dem Abwärmepotenzial in industriellen Anwendungen zur Deckung des Prozesswärmebedarfs bis 200 °C kann dazu beitragen, den Energieverbrauch der chemischen und petrochemischen Industrie im Mitteltemperaturbereich zu senken.
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> – Abwärmenutzung und dadurch weniger Primärenergieeinsatz bei gleichzeitiger Dekarbonisierung der Stromversorgung möglich – Erhöhung der Energieeffizienz – Kosteneinsparungen und schnelle Amortisationszeiten bei großer Abwärmemenge möglich – Weitere Leistungszahl- und Dampftemperatursteigerung durch Konfigurationen mit Dampfverdichtern möglich
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> – Hohe initiale Investitionen gegenüber Alternativtechnologien – Status Quo (2023): Geringe laufende Einsparung durch aktuelles Preisverhältnis Strom vs. Erdgas (überwiegend eingesetzter Brennstoff zur Wärmeerzeugung) – Bei hohen Temperaturdifferenzen zwischen Abwärme (Quelle) und Wärmenutzung sinkt die Leistungszahl
Herausforderungen	<ul style="list-style-type: none"> – Komplexität gegenüber konventionellen Technologien höher – Bisher keine Pilot- und Demoplanen für große Leistungen und Dampferzeugung – Amortisationszeit stark von Verhältnis Strom- zu Gaspreis abhängig. – Abwärme muss gleichzeitig und in ausreichender Menge vorhanden sein, wenn Prozesswärme benötigt wird. – Örtliche Nähe zwischen Wärmequelle und Prozesswärme notwendig, um Wärmeverluste und hohe Installationskosten für Verrohrung zu vermeiden.
Technische Rahmenbedingungen und Umsetzung	<ul style="list-style-type: none"> – Technology-Readiness-Level: 6–8 für geschlossene Wärmepumpen – Technology-Readiness-Level: 8–9 für Dampfverdichter – Heterogene Anwendungsfälle mit starkem Einfluss der Konfiguration auf die Wirtschaftlichkeit, was eine Standardisierung für verkaufte Anlagen erschwert – Elektrische Anschlussleistung am Standort muss entsprechend gegeben sein – Anforderungsanalyse hinsichtlich Temperaturen, Verluste und Effizienz hat einen maßgeblichen Einfluss auf Wirtschaftlichkeit – Für vollständige Dekarbonisierung ist eine dekarbonisierte elektrische Energiebereitstellung Voraussetzung

Tabelle 3

Schlüsseltechnologie Wärmepumpe zur Prozesswärme-
bereitstellung: Eigenschaften der Technologie

Wasserstoff als Rohstoff für die Ammoniak- und Methanolproduktion

Kriterium	Beschreibung
Relevanz für die Branche Chemie und Petrochemie	Bei der Ammoniakproduktion wird Stickstoff mit Wasserstoff nach dem Haber-Bosch-Verfahren kombiniert. Bei der Methanolerzeugung wird Wasserstoff mit CO ₂ oder CO kombiniert. Während die herkömmliche Methode Wasserstoff verwendet, der durch Dampfreformierung von Methan (Erdgas) erzeugt wird, wird bei diesem neuen Ansatz Biomethan (Bio- CH ₄) zur Erzeugung von emissionsfreiem Wasserstoff verwendet oder emissionsfreier Wasserstoff in die Anlage importiert (bspw. erzeugt über Wasserelektrolyseure), um Ammoniak und Methanol zu synthetisieren.
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> – Vollständige Emissionsreduzierung – Etablierte Technologie – Die Dekarbonisierung von Ammoniak und Methanol dekarbonisiert auch nachgelagerte Materialien wie Harnstoff und andere Düngemittel, die Ammoniak als Rohstoff verwenden, oder die Olefinproduktion über den MTO-Prozess.
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> – Höherer Energieverbrauch als bei der Produktion mit Bio- CH₄ – Hoher Strombedarf für die Wasserstofferzeugung durch Elektrolyse
Herausforderungen	<ul style="list-style-type: none"> – Die Verfügbarkeit von ausreichend Bio-CH₄ oder Low Emission Wasserstoff (oder emissionsfreiem Strom zur Erzeugung von Wasserstoff) ist wichtig für die Dekarbonisierung – Für die Dekarbonisierung von nachgelagerten Stoffen wie Harnstoff und anderen Düngemitteln werden neben emissionsfreiem Ammoniak als Rohstoff auch emissionsfreie Kohlenstoffquellen als Rohstoff (aus der Biomassevergasung, der direkten Luftzerlegungsanlage usw.) benötigt und sollten in Betracht gezogen werden. – Neben dem emissionsfreien Wasserstoff ist auch der emissionsfreie Kohlenstoff (CO, CO₂) für die Dekarbonisierung der Methanolproduktion notwendig
Technische Rahmenbedingungen und Umsetzung	<ul style="list-style-type: none"> – TRL: 7–8 [11] (für die Ammoniakherstellung mit Wasserstoff) – TRL: 7 (für die Methanolherstellung mit Wasserstoff) – Diese neue Technologie ist einfacher und direkter als die traditionelle Methode. – Die einzigen notwendigen Schritte zur Umsetzung sind Investitionen und Änderungen der Anlageninfrastruktur, um die Ausrüstung von einem Methanreformer auf Wasserelektrolyse zur Wasserstofferzeugung umzustellen, oder der Import von Wasserstoff in das Unternehmen und die schrittweise Abschaffung des Reformers. – Die übrigen Schritte des Ammoniaksynthese- und Methanolherstellungsprozesses sind gegenüber der herkömmlichen Methode unverändert. – Die Erzeugung einer ausreichenden Menge an Wasserstoff aus erneuerbaren Energiequellen stellt eine große Herausforderung dar. – Die Verfügbarkeit ausreichender Mengen an emissionsfreiem Kohlenstoff (CO, CO₂) für Methanol sowie Harnstoff und andere Düngemittel ist eine große Herausforderung.

Tabelle 4

Schlüsseltechnologie Wasserstoff als Rohstoff:

Eigenschaften der Technologie

Olefinherstellung mittels Methanol-to-Olefines Route (MTO)

Kriterium	Beschreibung
Relevanz für die Branche Chemie und Petrochemie	Verwendung von emissionsfreiem Methanol (hergestellt mit emissionsfreiem Wasserstoff) als Ausgangsstoff für die Herstellung von Olefinen anstelle von Naphtha auf fossiler Basis. Die Emissionen werden durch den Einsatz der MTO-Technologie erheblich reduziert.
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> – deutliche Emissionsreduzierung – Etablierte Technologie – Erzeugen einer hohen Ausbeute an leichten Olefinen. – Geringere Abhängigkeit von Rohöl
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> – Hohe Investitions- und Betriebskosten
Herausforderungen	<ul style="list-style-type: none"> – Die Verfügbarkeit von ausreichend emissionsarmem Methanol ist wichtig für die Dekarbonisierung
Technische Rahmenbedingungen und Umsetzung	<ul style="list-style-type: none"> – TRL: 8–9 [11] – Das MTO-Verfahren ist eine ausgereifte Technologie, die ihre wirtschaftliche Tragfähigkeit bewiesen hat, doch sind Investitionen und Änderungen der Anlageninfrastruktur erforderlich, um diese Technologie in Österreich einzusetzen. Die derzeitigen Anlagen zur Umwandlung von Naphtha (Naphtha-Cracking) in Olefine können für den Einsatz dieser Technologie nicht verwendet werden. – Bei der MTO-Route wird Methanol als Ausgangsstoff und eine spezielle katalysatorgestützte Reaktion zur Herstellung von Olefinen verwendet, während beim Naphtha-Cracking Naphtha als Ausgangsstoff und Hochtemperatur-Cracking zur Herstellung einer Reihe von Produkten, einschließlich Olefinen, verwendet wird. – Die größte Herausforderung bei diesem Verfahren ist die Bereitstellung einer ausreichenden Menge an Methanol, wofür emissionsarmen Wasserstoff oder Bio- CH_4 und CO_2 als Ausgangsstoffe benötigt werden.

Tabelle 5

Schlüsseltechnologie Methanol-to-Olefines:

Eigenschaften der Technologie

Olefinherstellung mit erneuerbarem Naphtha

Kriterium	Beschreibung
Relevanz für die Branche Chemie und Petrochemie	Verwendung von erneuerbares Naphtha, das aus erneuerbaren-Rohstoffen anstelle von fossilen Energieträgern gewonnen wird, um Olefine anstelle von fossilem Naphtha herzustellen.
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> – Geringere Treibhausgasemissionen – Einsatz von erneuerbaren Rohstoffen – Gleiches Produktionsverfahren wie fossiles Naphtha – Gleicher Energieverbrauch wie bei fossilem Naphtha
Nachteile	– Erneuerbares Naphtha kann mehr Verunreinigungen enthalten als Naphtha auf fossiler Basis, was weitere Verarbeitungsbedingungen oder zusätzliche Reinigungsschritte erforderlich machen kann.
Herausforderungen	– Die Verfügbarkeit ausreichender erneuerbarer Quellen zur Herstellung von erneuerbarem Naphtha ist wichtig für die Dekarbonisierung
Technische Rahmenbedingungen und Umsetzung	<ul style="list-style-type: none"> – TRL: 9 – Diese Technologie erfordert keine infrastrukturellen und verfahrenstechnischen Änderungen; sie ersetzt fossiles Naphtha durch erneuerbares Naphtha, wobei jedoch in einigen Fällen weitere Reinigungsschritte erforderlich sein können. – Die Verfügbarkeit ausreichender erneuerbarer Ressourcen und der technologische Reifegrad der für die Bereitstellung von erneuerbarem Naphtha verwendeten Technologie stellen jedoch eine Herausforderung dar, die sich auch auf die Beschaffung des alternativen Feedstocks auswirken kann.

Tabelle 6

Schlüsseltechnologie Einsatz von erneuerbarem

Naphtha: Eigenschaften der Technologie

2.4 Handlungsempfehlungen

Zusätzlich zu den allgemeinen Handlungsempfehlungen für die gesamte Industrie können für diese Branche folgende spezifische Empfehlungen formuliert werden:

Handlungsfeld	Empfehlungen
Förderung von F&E	<ul style="list-style-type: none"> – Prinzipiell hängt der F&E-Bedarf in dieser Branche stark vom Szenario und der Verfügbarkeit der Energieträger ab – Im Bereich direkter F&E sollten folgende F&E- und Demonstrationsvorhaben (TRL 6–7) gefördert werden: <ul style="list-style-type: none"> - Vorhaben zur Erhöhung der Effektivität neuer Technologien in der Elektrifizierung von Prozessen - Pharmaindustrie: Förderung von großen Wärmepumpen (Demonstrationsanlagen sind in Österreich noch ausständig) – Forschungsinfrastruktur: Weitere Förderung von Carbon2Product Austria (C2PAT) – Engere Kooperation, Abstimmung und aktive Einbringung im Horizon Europe F&E-Programm sowie in die Processes4Planet Partnership
Anreize und Förderungen von Investitionen	<ul style="list-style-type: none"> – Verlässliche langfristige Signale der öffentlichen Hand zur Unterstützung der notwendigen Investitionssicherheit sind notwendig. In der chemischen Industrie ist eine Vielzahl von (hohen) Investitionen notwendig, um standortsichernde Transformationsvorhaben zu realisieren (inkl. ETS Betriebe), CAPEX Zuschüsse (für TRL 8–9 (bei größeren Vorhaben auch ab TRL 6, beispielsweise für First-of-a-Kind – FOAK Anlagen) sind in diesem Kontext von Bedeutung und sollten durch die Politik zur Verfügung gestellt werden – Zusätzlich zu den Investitionen sind in ausgewählten Bereichen Zuschüsse bei hohen Unsicherheiten in Bezug auf die Betriebskosten notwendig, OPEX Zuschüsse
Energieinfrastrukturen und Energiebereitstellung	<ul style="list-style-type: none"> – Ausbau der Verfügbarkeit von Wasserstoff (Produktion am Standort, Leitungen, externe Produktion) – Wasserstoff ist insbesondere als Rohstoff für die Ammoniak- und Methanol Produktion von Bedeutung: Investitionen und Änderungen der Anlageninfrastruktur zur Umstellung von einem Methanreformer auf Wasserelektrolyse zur Wasserstofferzeugung oder der Import von Wasserstoff in das Unternehmen sind bei diesem Ansatz relevant – Ausbau von spezifischen Infrastrukturen für die Nutzung von Abwärme an ausgewählten spezifischen Standorten
Bereitstellung von Material und Rohstoffen	<ul style="list-style-type: none"> – Die Entwicklung von systemischen Konzepten zur günstigsten Nutzung von Rohstoffen, Materialien und Abfällen (Kreislaufwirtschaft) ist für die chemische Industrie von großer Bedeutung – Es ist eine ausreichende Menge an Rohstoffen (erneuerbares Methanol oder erneuerbares Naphtha) für die Olefinproduktion notwendig
Auf- und Ausbau von Infrastrukturen	<ul style="list-style-type: none"> – Der Auf- und Ausbau von sektorübergreifenden Infrastrukturen ist vor dem Hintergrund der Kreislaufwirtschaft notwendig



Handlungsfeld	Empfehlungen
Kooperation und Vernetzung	<ul style="list-style-type: none"> – Engere Kooperation zwischen Chemieunternehmen und mit Stakeholdern zur Beschleunigung von Upscaling ist notwendig und von Seiten der Politik zu fördern³ – Förderung der öffentlich-privaten Zusammenarbeit für die Umsetzung der von der Industrie unterstützten Transformationsstrategien, um Netto-Null-Emissionen zu erreichen, ist für diese Branche von hoher Bedeutung⁴ – Zusammenbringen der Anforderungen aus regulatorischer/politischer Perspektive (Dekarbonisierung, Effizienz, Kreislaufwirtschaft) mit den Bedürfnissen der Anwenderbranchen, um neue „grüne“ Anlagen und Prozesstechnologien (gemeinsam) zu entwickeln
Gesetzliche Rahmenbedingungen, Standards und Normen	<ul style="list-style-type: none"> – Beschleunigung von Genehmigungsverfahren für Zugang zu erneuerbaren Energien – Regulierung und Standardisierung für die Kreislaufwirtschaft – Entwicklung eines Monitorings der materiellen und energetischen Kohlenstoffflüsse zur Optimierung von kaskadischer und zirkulärer Nutzung sowie langfristiger Speicherung von Kohlenwasserstoffen in den Wertschöpfungsketten – Wärmepumpen: legislativer Rahmen muss Planungssicherheit für Anwender und Technologieentwickler garantieren. Mehrkosten durch Umweltauflagen müssen im Verhältnis zum Umweltnutzen der Technologie abgewogen werden – Im Zusammenhang mit Wärmepumpen ist auch die Regulierung zur Kältemittelbereitstellung von Bedeutung
Öffentliche Beschaffung und Nachfrage	<ul style="list-style-type: none"> – Demand-pull Mechanismen können die Schaffung von Märkten für höherpreisige Düngemittel unterstützen – Öffentliche und private Investitionen, um emergierende Märkte für nachhaltige Produkte zu schaffen
Aus- und Weiterbildung sowie gesellschaftlicher Wandel	<ul style="list-style-type: none"> – In vielen Bereichen besteht ein Mangel an Personal für die Entwicklung und Montage von neuen Anlagen (z. B. industriellen Wärmepumpen in der Industrie) und entsprechende Maßnahmen (neue Aus- und Weiterbildungsprogramme, Anpassung der Curricula) sind notwendig; dabei sind Ziele und Zusammenhänge in Hinblick auf Dekarbonisierung in Aus- und Weiterbildung integrieren, um Gesamtverständnis zu schärfen – Gezielte Ansprache von Frauen als potenzielle Arbeitnehmerinnen zu Themen wie Kreislaufwirtschaft, Nachhaltigkeit und Klimawandel in der chemischen Industrie

Tabelle 7
Handlungsempfehlungen

³ IEA, 2021. Ammonia Technology Roadmap – Towards more sustainable nitrogen fertiliser production. [iea.blob.core.windows.net/assets/6ee41bb9-8e81-4b64-8701-2acc064ff6c4/AmmoniaTechnologyRoadmap.pdf](https://www.iea.blob.core.windows.net/assets/6ee41bb9-8e81-4b64-8701-2acc064ff6c4/AmmoniaTechnologyRoadmap.pdf)

⁴ World Economic Forum, 2022. Towards a Net-Zero Chemical Industry: A Global Policy Landscape for Low-Carbon Emitting Technologies, White Paper, May 2022 [missionpossiblepartnership.org/wp-content/uploads/2022/05/WEF_Towards_a_Net_Zero_Chemical_Industry_2022.pdf](https://www.missionpossiblepartnership.org/wp-content/uploads/2022/05/WEF_Towards_a_Net_Zero_Chemical_Industry_2022.pdf)

Literaturverzeichnis

- [1] Statistik Austria, Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung, Stat. Austria, Produktionsindex 2020. (2020). www.statistik.at/statistiken/volkswirtschaft-und-oeffentliche-finanzen/volkswirtschaftliche-gesamtrechnungen.
- [2] Statistik Austria, Energiegesamtrechnung, Stat. Austria, Nutzenergieanalyse 2020. (2019). www.statistik.at/statistiken/energie-und-umwelt/energie/energiegesamtrechnung.
- [3] V. a.A.I. of T. Alton, P.M.L. Binderbauer, R.M.L. Cvetkovska, G.A.A.I. of T. Drexler-Schmid, B.A.A.I. of T. Gahleitner, R.A.A.I. of T. Geyer, A.A.A.I. of T. Hainoun, P.M.L. Nagovnak, T.M.L. Kienberger, M.M.L. Rahnama-Mobarakeh, C.A.A.I. of T. Schützenhofer, S.A.A.I. of T. Stortecy, NEFI PATHWAY TO INDUSTRIAL DECARBONISATION SCENARIOS FOR THE DEVELOPMENT OF THE INDUSTRIAL SECTOR IN AUSTRIA, 2022.
- [4] Umweltbundesamt, Austria's National Inventory Report 2021, Umweltbundesamt GmbH, Vienna, 2021.
- [5] A. Windsperger, M. Schick, B. Windsperger, Perspektiven der Decarbonisierung für die chemische Industrie in Österreich, St. Pölten, 2018.
- [6] B. Windsperger, Andreas; Windsperger, Die chemische Industrie auf dem Weg zur Klimaneutralität 2040, 2020. www.fcio.at/media/15100/studie-chemieindustrie-klimaneutralitaet-september-2020.pdf.
- [7] EEA, Annual European Union Greenhouse Gas Inventory 2021 and Inventory Report, 2021. www.eea.europa.eu/publications/annual-european-union-greenhouse-gas-inventory-2021.
- [8] DECHEMA, Low carbon energy and feedstock for the European chemical industry, 2017. dechema.de/dechema_media/Downloads/Positionspapiere/Technology_study_Low_carbon_energy_and_feedstock_for_the_European_chemical_industry.pdf.
- [9] Eurostat, Total production by PRODCOM list (NACE Rev.2) – annual data [DS-066342], 2022.
- [10] European Commission, COMMISSION DELEGATED REGULATION (EU) .../... supplementing Regulation (EU) 2020/852 of the European Parliament and of the Council by establishing the technical screening criteria for determining the conditions under which an economic activity qualifies as c, 2021.
- [11] IEA, ETP Clean Energy Technology Guide, Paris, 2022. www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/etp-clean-energy-technology-guide.
- [12] Accenture und NexantECA, 2022. The chemical industry's road to net zero. www.accenture.com/content/dam/accenture/final/a-com-migration/r3-3/pdf/pdf-174/accenture-chemicals-costs-opportunities-eu-green-deal.pdf
- [13] IEA, 2021. Ammonia Technology Roadmap – Towards more sustainable nitrogen fertiliser production. iea.blob.core.windows.net/assets/6ee41bb9-8e81-4b64-8701-2acc064ff6e4/AmmoniaTechnologyRoadmap.pdf
- [14] C2PAT Consortium, 2022. Carbon2ProductAustria (C2PAT) energieinstitut-linz.at/wp-content/uploads/2022/02/IETS-21-Circular-Carbon-2-3-Kitzweiger-Haider.pdf
- [15] World Economic Forum, 2022. Towards a Net-Zero Chemical Industry: A Global Policy Landscape for Low-Carbon Emitting Technologies, White Paper, May 2022 missionpossiblepartnership.org/wp-content/uploads/2022/05/WEF_Towards_a_Net_Zero_Chemical_Industry_2022.pdf

Kontaktdaten

Projektleiter

Christian Schützenhofer

Center for Energy

AIT Austrian Institute of Technology GmbH

Giefinggasse 6, 1210 Vienna

christian.schuetzenhofer@ait.ac.atw

Herausgeber

Klima- und Energiefonds der österreichischen Bundesregierung
Leopold-Ungar-Platz 2/Stiege 1/Top 142, 1190 Wien
Tel: (+43 1) 585 03 90
office@klimafonds.gv.at
www.klimafonds.gv.at

AutorInnen

Christian Schützenhofer, Verena Alton, Bernhard Gahleitner,
Sophie Knöttner, Klaus Kubeczko, Karl-Heinz Leitner
AIT Austrian Institute Of Technology

Martin Baumann, Christoph Dolna-Gruber, Bernhard Felber, Andreas Indinger
Österreichische Energieagentur – Austrian Energy Agency (AEA)

Thomas Kienberger, Maedeh Rahnama Mobarakeh, Peter Nagovnak
Lehrstuhl für Energieverbundtechnik/Montanuniversität Leoben (EVT)

Hans Böhm, Sebastian Goers, Simon Moser, Mario Reisinger
Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz (EI-JKU)

Mitwirkende

AEE – Institut für Nachhaltige Technologien
Institut für Energietechnik und Thermodynamik der TU Wien

Für den Inhalt verantwortlich

Die AutorInnen tragen die alleinige Verantwortung für den Inhalt dieser Studie.
Er spiegelt nicht notwendigerweise die Meinung des Klima- und Energiefonds wider.
Weder der Klima- und Energiefonds noch das Bundesministerium für Klimaschutz,
Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) sind für die
Weiternutzung der hier enthaltenen Informationen verantwortlich.

Gestaltung

www.angieneering.net

Titelfoto


ThisisEngineering RAEng

Herstellungsort: Wien

Wir haben diese Broschüre mit größtmöglicher Sorgfalt erstellt und die Daten überprüft.
Rundungs-, Satz- oder Druckfehler können wir dennoch nicht ausschließen.

www.klimafonds.gv.at



 **Bundesministerium**
Klimaschutz, Umwelt,
Energie, Mobilität,
Innovation und Technologie