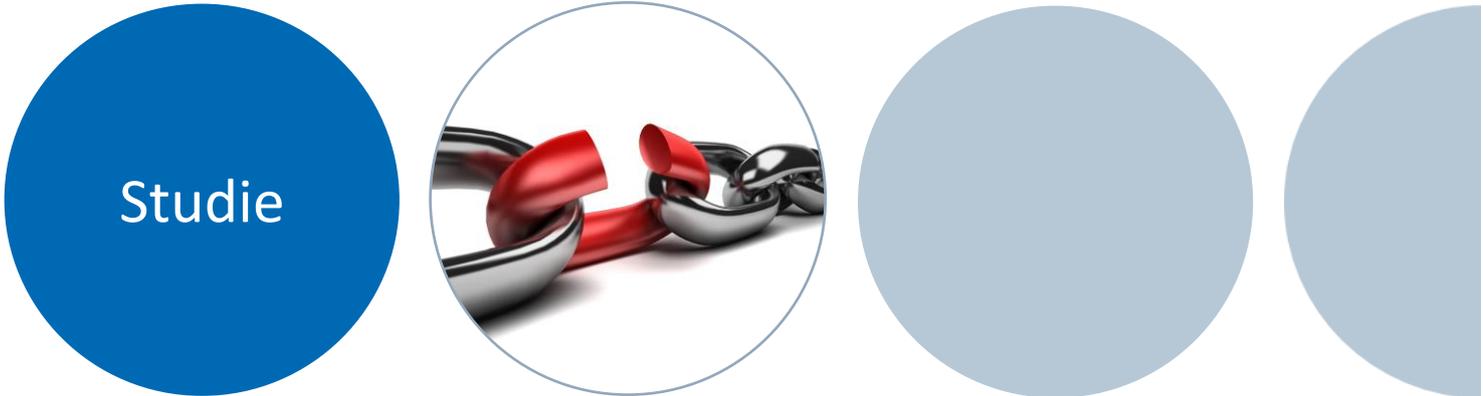


Die Zukunft energieintensiver Industrien in Deutschland

Studie für das Dezernat Zukunft

30.08.2023



Studie

Institut der deutschen Wirtschaft Köln Consult GmbH · Konrad-Adenauer-Ufer 21 · 50668 Köln
Postanschrift: Postfach 10 19 42 · 50459 Köln · Eingetragen im Handelsregister Köln HRB 30889
Geschäftsführer: Hanno Kempermann, Dr. Henry Goecke · Sitz der Gesellschaft ist Köln

DATA. INSIGHTS. FUTURE.

Impressum

© 2023

Verantwortlich:

IW Consult GmbH
Konrad-Adenauer-Ufer 21
50668 Köln
Tel.: +49 221 4981-758
www.iwconsult.de

Autoren (in alphabetischer Reihenfolge):

Cornelius Bähr (IW Consult)
Dr. David Bothe (Frontier Economics)
Gregor Brändle (Frontier Economics)
Dr. Hilmar Klink (IW Consult)
Dr. Karl Lichtblau (IW Consult)
Lino Sonnen (Frontier Economics)
Benita Zink (IW Consult)

Bitte zitieren als:

Bähr et al. (2023): Die Zukunft energieintensiver Industrien in Deutschland. Eine Studie von IW Consult und Frontier Economics im Auftrag des Dezernat Zukunft.

Steuerungskreis:

Dr. Karl Lichtblau (IW Consult)
Dr. David Bothe (Frontier Economics)
Janek Steitz (Dezernat Zukunft)

Bildnachweise

Titelseite: Pixabay.com

Hinweis: In dieser Publikation wird aus Gründen der besseren Lesbarkeit regelmäßig das grammatische männliche Geschlecht (Genus) verwendet. Damit sind hier ausdrücklich alle Geschlechteridentitäten gemeint.

Inhalt

1	Zusammenfassung	8
2	Kontext, Zielstellung und Forschungsfragen.....	18
3	Studiendesign, Vorgehensweise und Methoden	20
3.1	Vorbemerkungen	20
3.2	Methodik zur Schätzung der Energiekosten der Industrie	22
3.3	Methodik zur strategischen Reaktion der betroffenen Unternehmen	31
3.4	Methodik zur Dimensionierung der gesamtwirtschaftlichen Effekte.....	33
4	Energieintensive Industrien.....	36
4.1	Grundstoffe und Klimaneutralität	36
4.1.1	Bedeutung der Grundstoffindustrien in Deutschland	36
4.1.2	Roadmaps und Ziele auf dem Weg zur Klimaneutralität	42
4.2	Fokussierung auf vier Grundstoffe: Stahl, Aluminium, Ammoniak und hochwertige Chemikalien	46
4.3	Verwendung der vier Grundstoffe in der Industrie	49
4.4	Fokusbranchen im Überblick	52
5	Komparative Energiekostenanalyse.....	57
5.1	Nationale und internationale Energiekosten.....	57
5.1.1	Stromkosten.....	58
5.1.2	Wasserstoffkosten	60
5.1.3	Transportkosten von Wasserstoff.....	63
5.2	Energie- und Transportkosten energieintensiver Grundstoffe	64
5.2.1	Stahl	65
5.2.2	Aluminium.....	67
5.2.3	Ammoniak.....	68
5.2.4	High Value Chemicals.....	70
5.3	Schlussfolgerungen der komparativen Energiekostenanalyse	72
6	Strategische Anpassungsreaktionen	75
6.1	Betroffene Branchen und Analysekonzept.....	75
6.2	Überwälzung der Energiekosten auf Preise für Vorprodukte.....	79
6.3	Strategische Anpassungsoptionen	84
6.4	Wirkungen der Anpassungen der betroffenen Unternehmen	93
6.4.1	Inlandsproduktion	93
6.4.2	Vorleistungsimporte	95

7	Dimensionierung der Effekte	98
7.1	Vorüberlegungen	98
7.2	Direkte Effekte	100
7.2.1	Szenario der moderaten Preisunterschiede	103
7.2.2	Szenario der starken Preisunterschiede	105
7.2.3	Szenario der extremen Preisunterschiede.....	106
7.3	Importeffekte.....	107
7.4	Indirekte Effekte	110
7.5	Gesamteffekte	113
7.6	Katalytische Effekte	120
8	Resümee und Ableitungen	124
9	Anhang	132
9.1	Daten und Methodik.....	132
9.1.1	Produktionsrouten und Energiebedarfe der industriellen Grundstoffe	132
9.1.2	Techno-ökonomische Annahmen	136
9.1.3	Berechnung der Import-Vorleistungseffekte.....	140
9.2	Gesamtergebnisse nach Branchen und Effektarten	143
9.3	Ergebnisse der komparativen Energiekostenanalyse für 2030	149
9.3.1	Nationale und internationale Energiekosten.....	149
9.3.2	Energie- und Transportkosten energieintensiver Grundstoffe.....	150
9.4	Quellenverzeichnis.....	152

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Energie- und transportbedingte Kosten industrieller Grundstoffe im Jahr 2045.....	10
Abbildung 1-2: Anpassungsreaktionen nach Szenarien	12
Abbildung 3-1: Prozess zur Schätzung von Energiekosten energieintensiver Grundstoffe	23
Abbildung 3-2: Betrachtung von grundlastfähiger Bereitstellung von Strom und Wasserstoff	24
Abbildung 3-3: Modell zur Optimierung von Energiekosten.....	26
Abbildung 3-4: Volllaststunden der betrachteten erneuerbaren Energien in den Vergleichsländern .	27
Abbildung 3-5: Angenommene länderspezifische Kapitalkosten.....	28
Abbildung 3-6: Vergleich verschiedener Verlagerungsstufen in der Wertschöpfung energieintensiver Grundstoffe	30
Abbildung 4-1: Ökonomische Bedeutung der energieintensiven Wirtschaftszweige 2016-2020	37
Abbildung 4-2: Ökonomische Bedeutung der energieintensiven Wirtschaftszweige im Zeitverlauf ...	38
Abbildung 4-3: Bedeutung der energieintensiven Wirtschaftszweige für die Investitionen 2016-2020	39
Abbildung 4-4: Investitionsentwicklung nach Wirtschaftszweigen	40
Abbildung 4-5: Anteil energieintensiver Wirtschaftszweige an den THG-Emissionen	41
Abbildung 4-6: Betrachtete zukünftige klimaneutrale Produktionsverfahren der Grundstoffe.....	48
Abbildung 4-7: Zusammengefasste Ergebnisse der Stoffstromanalyse	50
Abbildung 4-8: Ergebnisse der Stoffstromanalyse für metallische Grundstoffe.....	51
Abbildung 4-9: Ergebnisse der Stoffstromanalyse für chemische Grundstoffe	51
Abbildung 5-1: Gestehungskosten von Strom (Grundlastprodukt) im Jahr 2045	59
Abbildung 5-2: Kosten für Wasserstoff im Jahr 2045.....	61
Abbildung 5-3: Auswirkungen der Kapitalkostendifferenzierung auf Gestehungskosten von grundlastfähigem Wasserstoff im Jahr 2045.....	62
Abbildung 5-4: Kosten für Wasserstoffimporte nach Deutschland im Jahr 2045	63
Abbildung 5-5: Kostenbestandteile von Wasserstoffimport aus Australien im Jahr 2045	64
Abbildung 5-6: Energie- und transportbedingte Kosten für verschiedene Verlagerungsstufen der Rohstahlproduktion im Jahr 2045	66
Abbildung 5-7: Energie- und transportbedingte Kosten für verschiedene Verlagerungsstufen der Aluminiumproduktion im Jahr 2045.....	68
Abbildung 5-8: Energie- und transportbedingte Kosten für verschiedene Verlagerungsstufen der Ammoniakproduktion im Jahr 2045.....	69
Abbildung 5-9: Energie- und transportbedingte Kosten für verschiedene Verlagerungsstufen in der Produktion von High Value Chemicals im Jahr 2045.....	71
Abbildung 6-1: Wirkungen auf die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Industrie durch Energiekostennachteile gegenüber wesentlichen Wettbewerbsländern.....	77
Abbildung 6-2: Wirkungskette von Energiekostenänderungen auf Wertschöpfung	78
Abbildung 6-3: Schematische Darstellung der Überwälzung von Energiepreiserhöhungen auf die Preise von Vorleistungen	80
Abbildung 6-4: Überwälzung der Energiekosten in Vorleistungspreise.....	81
Abbildung 6-5: Direkte und indirekte Energiekosten nach Fokusbranchen	82
Abbildung 6-6: Spannweiten für Preisunterschiede für Vorprodukte in Abhängigkeit von drei alternativen Energiepreisentwicklungen für betroffene Branchen	83
Abbildung 6-7: Einschätzung der Unternehmen zu langfristigen Preisunterschieden energieintensiver Vorprodukte im In- und Ausland.....	84
Abbildung 6-8: Anpassungsreaktionen nach Szenarien	92

Abbildung 6-9: Durch Energiepreisentwicklung bedrohte Produktionspotenziale im Inland	94
Abbildung 7-1: Potenzial der Fokusbranchen	102
Abbildung 7-2: Indirekte Effekte nach Szenarien und Branchengruppen.....	112
Abbildung 7-3: Branchenstruktur des indirekten Effekts im mittleren Preis-Szenario	113
Abbildung 7-4: Gesamtwirtschaftliche Effekte	115
Abbildung 7-5: Relative Gesamteffekte im mittleren Preis-Szenario	119
Abbildung 7-6: Kumulierte Effekte der Szenarien für die Produktion	120
Abbildung 9-1: Produktionsrouten für Rohstahlherstellung.....	132
Abbildung 9-2: Prozessschritte und Energiebedarfe für Stahlproduktion mit Direktreduktion und Elektrolichtbogenofen.....	133
Abbildung 9-3: Produktionsrouten der Aluminiumproduktion.....	133
Abbildung 9-4: Prozessschritte und Energiebedarfe für Aluminiumproduktion.....	134
Abbildung 9-5: Produktionsrouten für Ammoniakproduktion.....	134
Abbildung 9-6: Prozessschritte und Energiebedarfe für Ammoniakproduktion.....	135
Abbildung 9-7: Produktionsrouten für Produktion von High Value Chemicals.....	135
Abbildung 9-8: Zukünftige Produktionsrouten für Rohstahlherstellung.....	136
Abbildung 9-9: Gestehungskosten von Strom (Grundlastprodukt), 2030	149
Abbildung 9-10: Kosten für Wasserstoffimporte (Grundlastprodukt) nach Deutschland, 2030	149
Abbildung 9-11: Energie- und transportbedingte Kosten für verschiedene Verlagerungsstufen der Rohstahlproduktion im Jahr 2030	150
Abbildung 9-13: Energie- und transportbedingte Kosten für verschiedene Verlagerungsstufen der Aluminiumproduktion im Jahr 2030.....	150
Abbildung 9-14: Energie- und transportbedingte Kosten für verschiedene Verlagerungsstufen der Ammoniakproduktion im Jahr 2030.....	151
Abbildung 9-15: Energie- und transportbedingte Kosten für verschiedene Verlagerungsstufen der Produktion von High Value Chemicals im Jahr 2030.....	151

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1: Gesamteffekte der Anpassungsreaktionen der Fokusbranchen.....	14
Tabelle 4-1: Die sechs Fokusbranchen in der Übersicht	52
Tabelle 4-2: Die ökonomischen Eckdaten der sechs Fokusbranchen	56
Tabelle 6-1: Anpassungsreaktionen im Szenario der moderaten Preisunterschiede	86
Tabelle 6-2: Typisierung der Strategieoptionen im moderaten Preis-Szenario	87
Tabelle 6-3: Anpassungsreaktionen im Szenario der starken Preisunterschiede	88
Tabelle 6-4: Typisierung der Strategieoptionen im mittleren Preis-Szenario	89
Tabelle 6-5: Anpassungsreaktionen im Szenario der extremen Preisunterschiede.....	90
Tabelle 6-6: Typisierung der Strategieoptionen im extremen Preis-Szenario	91
Tabelle 6-7: Anteile der Anpassungsreaktion „Mehr Auslandsproduktion“ oder „Aufgeben“.....	93
Tabelle 6-8: Erwarteter Rückgang der Inlandsproduktion in verschiedenen Szenarien	95
Tabelle 6-9: Veränderung der inländischen Vorleistungen nach Preis-Szenarien	97
Tabelle 7-1: Relative direkte Effekte nach Szenario.....	103
Tabelle 7-2: Relative direkte Effekte für die Gesamtwirtschaft und Branchen sowie Szenarien.....	105
Tabelle 7-3: Importeffekte nach Szenario	108
Tabelle 7-4: Gesamteffekte der Anpassungsreaktionen der Fokusbranchen.....	114
Tabelle 7-5: Ergebnisse nach Effekt im mittleren Preis-Szenario.....	116
Tabelle 7-6: Gesamteffekte Produktion nach Branchengruppen und Szenarien.....	117
Tabelle 9-1: Techno-ökonomische Parameter der Energiekostenanalyse.....	136
Tabelle 9-2: Berechnung der Erhöhung der Importe energieintensiver Vorprodukte nach Fokusbranchen und Szenarien	141
Tabelle 9-3: Berechnung der relativen Eintrittswahrscheinlichkeiten der Szenarien	142
Tabelle 9-4: Einbußen bei Produktionswerten, Bruttowertschöpfung und Erwerbstätigkeit nach Branchen und Preis-Szenarien	143
Tabelle 9-5: Relative Einbußen bei Produktionswerten, Bruttowertschöpfung und Erwerbstätigkeit nach Branchen und Preis-Szenarien.....	146

1 Zusammenfassung

Energieintensive Industrien in Deutschland stehen unter Druck.

Die aktuelle Energiekrise und die damit verbundene Aussicht auf mittelfristig höhere Energiepreise stellen das Geschäftsmodell der energieintensiven Industrien – und den Wirtschaftsstandort Deutschland insgesamt – auf den Prüfstand. Dazu gesellt sich die an Fahrt gewinnende Energiewende, die eine tiefgreifende und fundamentale Umstellung der Energieversorgung sowie der Produktionsprozesse auf erneuerbare Energiequellen erfordert. Die damit einhergehenden Veränderungen wirken sich perspektivisch auf die Energiekosten und Standortvoraussetzungen der energieintensiven Branchen in Deutschland aus. Der Standort befindet sich deshalb aktuell stark unter Druck, die Gefahr einer fortschreitenden Deindustrialisierung steht im Raum. Dies lässt sich auf vielerlei Ursachen zurückführen, die vorliegende Studie befasst sich jedoch nur mit den Folgen langfristiger Energiepreisunterschiede zwischen dem In- und Ausland.

Die Studie zielt auf die Ermittlung wirtschaftlicher Effekte von Produktionskostenunterschieden für vier energieintensive Fokusgrundstoffe.

Vor diesem Hintergrund bestand das Ziel der Studie darin, die künftig zu erwartenden Kostenunterschiede klimaneutraler Produktionsverfahren für vier ausgewählte energieintensive Grundstoffe – Stahl, Aluminium, Ammoniak und hochwertige Chemikalien/Olefine – zwischen Deutschland und ausgewählten EU-/Nicht-EU-Ländern zu prognostizieren und die daraus resultierenden dauerhaften wirtschaftlichen Effekte entlang der Wertschöpfungsketten standortrelevanter Fokusbranchen sowie die Gesamteffekte für die deutsche Wirtschaft zu dimensionieren. Dabei konzentriert sich die Analyse auf die energieökonomischen Standortvoraussetzungen, politisch-induzierte Kostenbestandteile, wie z.B. Steuern oder potenzielle Subventionsmechanismen, werden hingegen nicht berücksichtigt.

Um die wirtschaftlichen Effekte dimensionieren zu können, werden neben der Erzeugung der Grundstoffe selbst die mit ihnen besonders eng verwobenen und grundstoffintensiven Wirtschaftszweige der Metallerzeugung (weiterverarbeitender Teil), Metallerzeugnisse, Chemie (weiterverarbeitender Teil), Gummi- und Kunststoffindustrie, des Fahrzeugbaus sowie der Maschinenbau- und Elektroindustrie (zusammen "Fokusbranchen") betrachtet. Dabei konzentriert sich die Studie auf die Perspektive der den Grundstoffen nachgelagerten Wirtschaftszweige (Downstream-Perspektive). Konkret wird analysiert, wie die Downstreamer auf langfristige Preisunterschiede reagieren und welche wirtschaftlichen Implikationen dies hat.

Die Studie fokussiert ausschließlich auf energiekosteninduzierte Preiseffekte, die den Vorleistungsbereich betreffen. In der nachgelagerten Wertschöpfung sind die indirekten Auswirkungen über den Vorleistungsverbund weitaus stärker als die direkten Energiekosten, weil hier die betrachteten energieintensiven Grundstoffe nicht selbst produziert, sondern in verarbeiteter Form und in unterschiedlichen Verarbeitungsstufen eingesetzt werden. Als Grundlage der Untersuchungen dienten neben empirischen Daten aus der amtlichen Statistik insbesondere eine Unternehmensbefragung sowie begleitende Expertengespräche.

Die Untersuchungen hinsichtlich des komparativen Energiekostenvergleichs führen zu den folgenden wesentlichen Ergebnissen:

Deutschland wird auch langfristig Energiekostennachteile gegenüber anderen Industriestandorten haben.

- ▶ Deutschland wird im internationalen Standortvergleich wesentlich höhere Gestehungskosten für erneuerbare Energien haben. Volatile Stromgestehungskosten (LCOE) in Deutschland werden im Jahr 2045 voraussichtlich bis zu 100 Prozent über den Kosten der günstigsten globalen Industriestandorte liegen, Wasserstoff-Gestehungskosten (LCOH) bis zu 65 Prozent über den günstigsten Vergleichsländern. Die klimaneutrale Herstellung industrieller Grundstoffe verlangt jedoch eine relativ konstante Energiezuführung. Saisonalität und Speicherkosten müssen deshalb berücksichtigt werden. Deutschland steht hier dank bestehender Speicherinfrastrukturen gut da, doch die Nachteile niedrigerer Volllaststunden der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien gegenüber Vergleichsländern überwiegen. In Deutschland sind die Kosten für grundlastfähigen Strom bis zu 65 Prozent und die Kosten für grundlastfähigen Wasserstoff bis zu 45 Prozent höher als in Vergleichsländern. Norwegen weist als europäischer Standort vergleichbare Gestehungskosten wie in den günstigen globalen Industriestandorten auf.
- ▶ Zudem bestehen in Deutschland hohe Opportunitätskosten für Energie. Begrenzte erneuerbare Erzeugungspotenziale und hoher Energiebedarf sorgen dafür, dass die Opportunitätskosten für die Verwendung der Energie in Deutschland zukünftig voraussichtlich höher sein werden als in anderen (für einen Energieexport in Frage kommenden) Ländern. Dies bedeutet, dass die Kostennachteile der energieintensiven Industrie womöglich noch höher ausfallen können, als es die reinen Energiegestehungskosten implizieren.
- ▶ Transportkosten haben einen wesentlichen Einfluss auf die deutschen Wasserstoff-Importkosten. Der Transport via Pipeline (z.B. aus Norwegen, Spanien oder Marokko) ist wesentlich günstiger als mit dem Schiff. Der Schifftransport ist kaum sensibel gegenüber der Transportdistanz, Kosten entstehen vor allem durch Umwandlungsschritte. Bei Nutzung von purem Wasserstoff in Deutschland sind Schiffsimporte deshalb teurer als Pipeline-Importe. Das ändert sich bei direkter Nutzung von Wasserstoff-Derivaten, die mit dem Schiff besser transportierbar sind und nicht mehr umgewandelt werden müssen (z.B. Ammoniak oder Methanol).

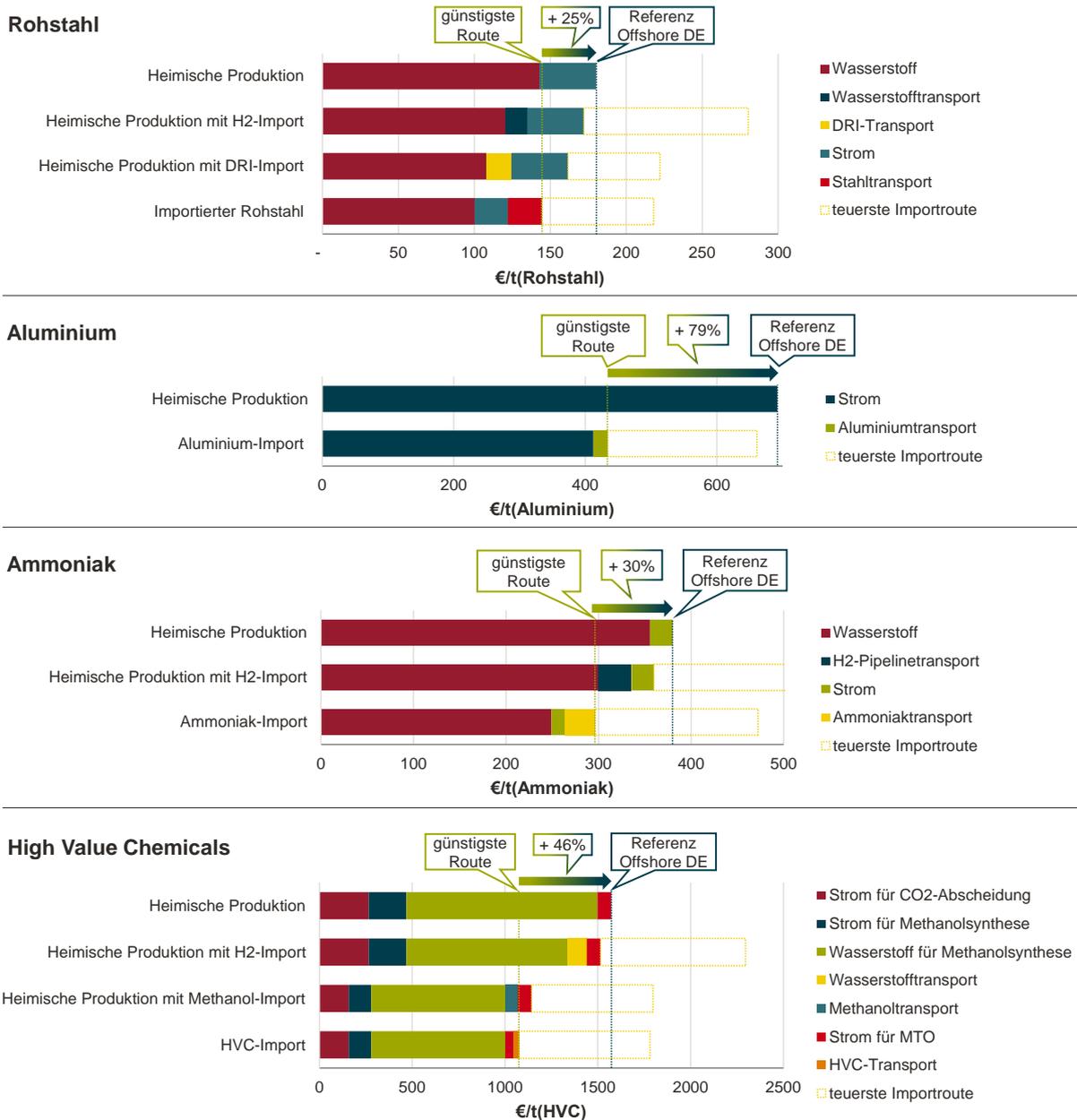
Basierend auf den Energiekostenschätzungen analysieren wir verschiedene Verlagerungsszenarien für die Wertschöpfungsketten der Primärerzeugung der Grundstoffe Aluminium, High-Value-Chemicals (Olefine), Ammoniak und Stahl (siehe **Error! Reference source not found.**):

- ▶ Der Import von Wasserstoff zur industriellen Nutzung in Deutschland ist fast immer die teuerste betrachtete Variante. Mit zunehmendem Import von Zwischen- bzw. Endprodukten anstatt des Imports von Energie sinken die gesamten Energiekosten. Die gesamte Auslagerung der Wertschöpfung ist jeweils mit den größten Energiekostenvorteilen verbunden: Die Energiekosten bei vollständiger Produktion industrieller Grundstoffe in Deutschland sind langfristig ungefähr 20 bis 80 Prozent höher als bei einer Auslagerung der Produktion.
- ▶ Die inkrementellen Energiekosteneinsparungen nehmen entlang der vertikalen Wertschöpfungskette ab, d.h. sie sind bei einer Verlagerung der letzten Produktionsschritte geringer als bei einer Verlagerung der vorangegangenen Produktionsschritte bzw. Zwischenschritte. Dadurch ergibt sich jeweils eine potenzielle „Sollbruchstelle“ (Verlagerung der Wertschöpfungskette) nach der ersten Wertschöpfungsstufe: Bei Import eines Zwischenprodukts (z. B. Eisenschwamm) hätte Deutschland bezüglich Kosten des letzten Produktionsschritts nur noch einen geringeren Kostennachteil

gegenüber dem Import eines „fertigen“ Grundstoffs (z. B. Rohstahl). So könnten nachgelagerte Schritte der Grundstoffherzeugung selbst und auch folgende Weiterverarbeitungsschritte in Deutschland verbleiben und somit der Großteil der Wertschöpfung im Land erhalten werden.

Abbildung 1-12: Energie- und transportbedingte Kosten industrieller Grundstoffe im Jahr 2045

Vergleich verschiedener Verlagerungsstufen, relative Kostenunterschiede in Prozent



Quelle: Frontier Economics

Vor diesem Hintergrund befürchten vier Fünftel der befragten Unternehmen aus den Fokusbranchen Nachteile für den Standort Deutschland. Bei den betroffenen Unternehmen, die in erheblichem Umfang energieintensive Vorprodukte einsetzen, liegt dieser Anteil sogar bei 93 Prozent.

Drei Preis-Szenarien dienen als Referenzrahmen zur Analyse der strategischen Anpassungsreaktionen in ausgewählten Fokusbranchen: Je höher die Preisunterschiede energieintensiver Vorprodukte ausfallen, desto stärker verlagern Downstream-Unternehmen ihre Produktion ins Ausland.

Die Überlegungen zu den komparativen Kosten der energieintensiven Grundstoffe dienen als Grundlage für langfristige Preis-Szenarien, die den Referenzrahmen zur Analyse der strategischen Anpassungsreaktionen von Unternehmen bilden:

- ▶ Die ermittelten Energiekostenunterschiede lassen sich in Preisänderungskorridore für energieintensive Vorprodukte übersetzen, die die Grundlage für drei langfristige Preis-Szenarien bilden: Ein Szenario moderater Preisunterschiede (Preisunterschiede bis 5 Prozent), ein mittleres Szenario starker Preisunterschiede (Preisunterschiede zwischen 5 und 25 Prozent) sowie ein extremes Szenario (Preisunterschiede von mehr als 25 Prozent).
- ▶ Dabei hält die Mehrheit (53 Prozent) der befragten Unternehmen das mittlere Szenario der starken Preisunterschiede für am wahrscheinlichsten, jedes fünfte Unternehmen ist sehr skeptisch und rechnet langfristig mit extremen Preisunterschieden.
- ▶ Die Unternehmen haben angegeben, wie sie strategisch mittelfristig auf die jeweiligen Szenarien reagieren werden. Dabei erstreckt sich das Reaktionsportfolio von der Pufferung der Preisunterschiede (z. B. durch Effizienzsteigerungen und Preisweitergabe) über die Erhöhung der energieintensiven Vorleistungsbezüge aus dem Ausland (Importsubstitution)¹ bis hin zur Auslandsverlagerung oder gar Aufgabe der Geschäftstätigkeit (vgl. Abbildung 1-3).
- ▶ Im moderaten Szenario liegt in allen Fokusbranchen ein ähnliches strategisches Reaktionsprofil vor, das vor allem auf die Pufferung der Preisanstiege setzt (insgesamt 47 Prozent der Unternehmen). Besonders ausgeprägt ist dies insbesondere in den Branchen der Metallherzeugung, Metallherzeugung sowie in der Maschinenbau- und Elektroindustrie, geringer ausgeprägt im Fahrzeugbau und in der Chemie. Die Importsubstitution folgt als zweitwichtigste strategische Reaktion (44 Prozent der Unternehmen), stark ausgeprägt in den sonstigen Industrien (d.h. leicht betroffene Branchen wie Pharma oder Druckerzeugnisse), gering ausgeprägt in der Metallherzeugung. Lediglich jedes zehnte Unternehmen der Fokusbranchen hingegen rechnet in diesem Szenario mit einer Produktionsverlagerung ins Ausland oder gar Geschäftsaufgabe. In der Metallherzeugung und der Chemie reagieren überdurchschnittlich viele Unternehmen mit Produktionsrückgängen. Diese Branchen können aufgrund eines hohen Integrationsgrades in der Produktion nur eingeschränkt mit Importsubstitution reagieren (sind also eigentlich auf Preispufferung angewiesen). Die Maschinenbau- und Elektroindustrie plant im moderaten Szenario keinen Abbau von Produktionskapazitäten in Deutschland. Insgesamt versuchen die Unternehmen der Fokusbranchen in diesem Szenario, via Preispufferung oder Importsubstitution die Produktionsstandorte zu sichern (zusammengefasst bezeichnet als Reaktion der „strategischen Dehnung“).
- ▶ Im mit der höchsten Wahrscheinlichkeit eingestuften mittleren Szenario (starke Preisunterschiede) geht die Fähigkeit zur Preispufferung der Unternehmen in allen Fokusbranchen zurück (insgesamt auf 23 Prozent). Aufgrund des Basiseffektes im moderaten Szenario ist der relative Rückgang besonders hoch in der Metallherzeugung sowie in der Maschinenbau-/Elektroindustrie. Vergleichsweise hoch ist die Pufferfähigkeit im Fahrzeugbau, gering hingegen in der Chemie sowie

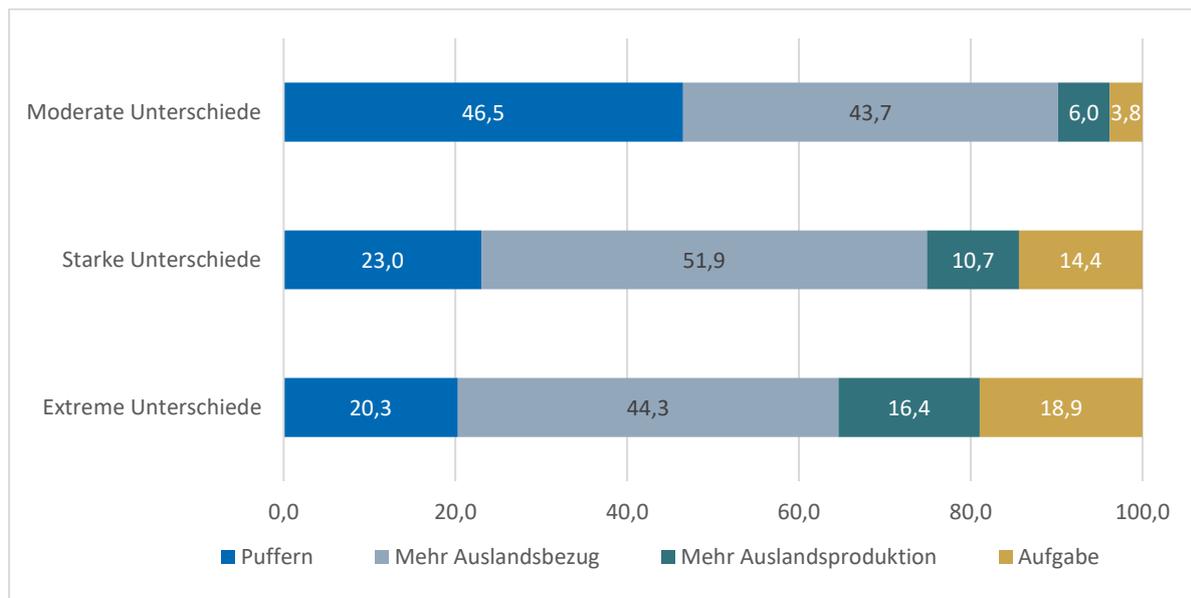
¹ Unter Importsubstitution wird die Erhöhung der energieintensiven Vorleistungsbezüge aus dem Ausland verstanden.

in der Maschinenbau- und Elektroindustrie. Die Unternehmen der Fokusbranchen versuchen verstärkt, energieintensive Vorleistungen aus dem Ausland zu beziehen (Zunahme von 44 Prozent im moderaten Szenario auf nun 52 Prozent über alle Unternehmen; gilt vor allem für die Maschinenbau- und Elektroindustrie, hingegen weniger für die Chemie) oder Inlandsproduktion durch Auslandsverlagerung zu ersetzen (Zunahme von 10 Prozent auf 25 Prozent). Dies trifft insbesondere zu auf die Metallherzeugung sowie die Chemie und damit die Branchen mit intensivem Einsatz der vier Grundstoffe. In allen Branchen gehen die Anpassungen in Richtung des „strategischen Bruchs“, besonders augenfällig ist dies in der Chemie, der Metallherzeugung sowie dem Fahrzeugbau.

- Im extremen Szenario setzt sich dieser Trend fort, hier kann ein wesentlich höherer Anteil der Unternehmen die Preisunterschiede weder durch geeignete Preise puffern (die Pufferfähigkeit fällt auf insgesamt 20 Prozent) noch via Importsubstitution ausgleichen. Damit steigt der Anteil derjenigen Unternehmen, die ihre Inlandsproduktion verringern (insbesondere Chemie, Metallherzeugung, Fahrzeugbau). Hier reicht ein verstärkter Auslandsbezug nicht mehr aus, die Handlungsoptionen verschieben sich eindeutig von der „strategischen Dehnung“ hin zum „strategischen Bruch“.

Abbildung 1-3: Anpassungsreaktionen nach Szenarien

Gewichteter Durchschnitt aller einbezogenen Branchen



N = 96

Quelle: IW Consult (2023)

Je nach Preis-Szenario sind mittelfristig zwischen 5 Prozent und 13 Prozent der Produktion, Bruttowertschöpfung und Beschäftigung in den Fokusbranchen bedroht.

Diese strategischen Reaktionen auf die drei Preis-Szenarien haben mittelfristig Auswirkungen auf die Produktion (PW), Bruttowertschöpfung (BWS) und Beschäftigung (ET) in den Fokusbranchen – und auf die gesamte Wirtschaft. Modelliert werden drei Effekte, nämlich (1) die direkten Effekte in den Fokusbranchen (unmittelbar durch Verringerung der Inlandsproduktion via Auslandsverlagerung oder gar Aufgabe hervorgerufen), (2) die Importeffekte (verstärkter Vorleistungsbezug aus dem Ausland führt zu Nachfragerückgängen für die Hersteller energieintensiver Vorprodukte) sowie (3) die indirekten

Effekte (Nachfragerückgänge in Zulieferbranchen aufgrund verringerter Inlandsproduktion sowie Imports substitution der direkt betroffenen Branchen). Die Analyse der (direkten) Effekte ist gemäß des Studienauftrages hier bewusst beschränkt auf die Downstream-Anteile der grundstoff erzeugenden Wirtschaftszweige Metallerzeugung und Chemie sowie die anderen nachgelagerten Fokusbranchen, in denen die relevanten Anpassungsakteure verortet sind. Damit wird angenommen, dass die Upstream-Bereiche in der Chemie sowie Metallerzeugung ihre Produktions- und Bezugsstruktur zunächst nicht verändern. Auf dieser Basis werden schließlich in aggregierender Betrachtung Gesamteffekte für den Standort Deutschland dimensioniert. Letztlich sind dies isolierte Effekte, die lediglich die Anpassungsreaktion auf Vorleistungspreisänderungen dimensionieren. Nicht berücksichtigt bleiben positive Effekte, die im Zuge der Transformation entstehen können wie beispielsweise neue Ansiedlungen von Batterieproduktion.

In aggregierender Analyse der einzelnen Effekte lassen sich die folgenden mittelfristigen Gesamteffekte für die Fokusbranchen sowie für den Standort Deutschland dimensionieren (vgl. Tabelle 1-1):

- ▶ Im moderaten Szenario ergibt die Aggregation der Effekte für die Fokusbranchen einen absoluten Produktionsrückgang von knapp 116 Mrd. Euro (Bruttowertschöpfung 39,4 Mrd. Euro; Beschäftigung 398.000), was zu einem Gesamtproduktionsverlust für die deutsche Volkswirtschaft von 154 Mrd. Euro (Bruttowertschöpfung 59,0 Mrd. Euro; Beschäftigung 637.000) führt. Dies entspricht einem relativen Produktionsrückgang von 5,0 Prozent für die Fokusbranchen (Rückgang BWS 4,9 Prozent; Beschäftigung 4,7 Prozent) und von 2,1 Prozent für die Gesamtwirtschaft (Rückgang BWS 1,7 Prozent; Beschäftigung 1,4 Prozent).
- ▶ In der Aggregation führen die direkten Effekte, Importeffekte und indirekten Effekte im mit der höchsten Wahrscheinlichkeit eingestuftem (mittleren) Szenario der starken Preisunterschiede zu einer in den Fokusbranchen verringerten Produktion in Höhe von absolut 228 Mrd. Euro (Rückgang BWS 80,8 Mrd. Euro; Beschäftigung 865.000) und damit einem prozentualen Rückgang von 9,9 Prozent (Rückgang BWS 10,0 Prozent; Beschäftigung 10,2 Prozent). Dies resultiert in einem gesamtwirtschaftlichen Produktionsrückgang für den Standort Deutschland von absolut knapp 308 Mrd. Euro (Rückgang BWS 121 Mrd. Euro; Beschäftigung 1.340.000), entsprechend einem relativen Produktionsrückgang von 4,1 Prozent (Rückgang BWS 3,5 Prozent; Beschäftigung 2,9 Prozent). Zum Vergleich: In der gesamten Branche der unternehmensnahen Dienstleistungen sind in Deutschland etwa 1,3 Millionen Erwerbstätige beschäftigt. Der in diesem moderaten Szenario ermittelte Rückgang der Bruttowertschöpfung entspricht in etwa der viermaligen jährlichen Bruttowertschöpfung des Saarlandes (34 Mrd. Euro).
- ▶ Das Szenario der extremen Preisunterschiede schließlich schlägt sich in einem auf die Fokusbranchen bezogenen Produktionsverlust von absolut 296 Mrd. Euro nieder (Rückgang BWS 103 Mrd. Euro; Beschäftigung 1.086.000), entsprechend einem relativen Produktionsrückgang von 12,8 Prozent (ebenso Bruttowertschöpfung 12,8 Prozent und Beschäftigung 12,8 Prozent). Für den Standort Deutschland würde dieses als eher unwahrscheinlich eingestufte Szenario mittelfristig zu einem gesamten Produktionsrückgang von gut 398 Mrd. Euro (Rückgang BWS 155 Mrd. Euro; Beschäftigung 1.710.000) führen, was einem relativen Produktionsverlust von 5,3 Prozent entspricht (Rückgang BWS 4,4 Prozent; Beschäftigung 3,8 Prozent).

Tabelle 1-1: Gesamteffekte der Anpassungsreaktionen der Fokusbranchen

Angaben in Milliarden/Erwerbstätige in Tsd. bzw. Prozent in der Gesamtwirtschaft; mittelfristige Perspektive

Kenngröße	Preis-Szenarien		
	Moderat	Stark	Extrem
Milliarden Euro			
Produktion	154,3	307,6	398,3
Wertschöpfung	59,0	121,0	155,0
Erwerbstätige	637	1.341	1.711
Prozent der Ausgangsgröße 2022			
Produktion	2,1	4,1	5,3
Wertschöpfung	1,7	3,5	4,4
Erwerbstätige	1,4	2,9	3,8

Quellen: Statistisches Bundesamt (2023a), Eurostat (2022), IW Consult (2023)

Als direkte Effekte fließen dabei ein:²

- ▶ Die direkten Effekte im moderaten Szenario führen in den Fokusbranchen zu einem Produktionsrückgang von 3,7 Prozent (bzw. 79,3 Mrd. Euro; Rückgang Bruttowertschöpfung 3,3 Prozent bzw. 25 Mrd. Euro; Rückgang Beschäftigung 2,9 Prozent bzw. 235.000). Relativ besonders stark betroffen ist der Downstream-Bereich der Metallerzeugung (Produktionsrückgang 24,6 Prozent). Aufgrund seiner Größe absolut besonders stark betroffen ist der Fahrzeugbau (Produktionsrückgang um 40,6 Mrd. Euro). In anderen Branchen fallen die direkten Effekte deutlich geringer aus. Für die gesamte Industrie in Deutschland beziffert sich der Produktionsrückgang im relativen direkten Effekt für das moderate Szenario auf 2,6 Prozent (Bruttowertschöpfung 2,4 Prozent; Beschäftigung 2,2 Prozent). Für die Gesamtwirtschaft am Standort Deutschland schlägt sich das in einem Produktionsrückgang von 1,1 Prozent nieder (Bruttowertschöpfung 0,7 Prozent; Beschäftigung 0,5 Prozent).
- ▶ Im mittleren Szenario der starken Preisunterschiede münden die strategischen Reaktionen der Unternehmen in den Fokusbranchen im direkten Effekt zu einem Produktionsrückgang von 8,6 Prozent (bzw. 185 Mrd. Euro; Bruttowertschöpfung 8,4 Prozent bzw. 63,8 Mrd. Euro; Beschäftigung 8,3 Prozent bzw. 674.000). Relativ besonders betroffen sind hier die Branchen Downstream Metallerzeugung (Produktionsrückgang 37,6 Prozent), Downstream Chemie (Produktionsrückgang 17,4 Prozent) sowie die Gummi- und Kunststoffindustrie (Produktionsrückgang 12 Prozent), absolut der Fahrzeugbau (Rückgang 58,8 Mrd. Euro). Deutlich geringer sind die Auswirkungen für die Maschinenbau- und Elektroindustrie (3,7 Prozent). Für die gesamte Industrie führt dies zu Produktionsverlusten im direkten Effekt von 6 Prozent (Bruttowertschöpfung 6,2 Prozent; Beschäftigung 6,3 Prozent). Für die Gesamtwirtschaft münden die direkten Effekte in einen Produktionsrückgang von 2,5 Prozent (Bruttowertschöpfung 1,8 Prozent; Beschäftigung 1,5 Prozent).
- ▶ Das Szenario extremer Preisunterschiede führt im direkten Effekt zu einem Produktionsrückgang von 12 Prozent in den Fokusbranchen (bzw. 258 Mrd. Euro; Bruttowertschöpfung 11,5 Prozent

² Zu den jeweils relativen Rückgängen vgl. Tabelle 9-5 im Anhang.

bzw. 88 Mrd. Euro; Beschäftigung 11,3 Prozent bzw. 920.000). Überdurchschnittlich betroffen sind absolut die Branchen Fahrzeugbau (Rückgang 79,6 Mrd. Euro) und Downstream Chemie (14,4 Mrd. Euro), relativ vor allem Downstream Metallerzeugung sowie Downstream Chemie. Aber auch in anderen Branchen sind die Effekte erheblich (vor allem Gummi- und Kunststoffindustrie sowie Metallerzeugnisse). Der Produktionsrückgang in der gesamten Industrie beträgt in diesem Extremszenario 8,3 Prozent (Bruttowertschöpfung 8,5 Prozent; Beschäftigung 8,6 Prozent). Für die Gesamtwirtschaft liegt der Produktionsrückgang im direkten Effekt bei 3,4 Prozent (Bruttowertschöpfung 2,5 Prozent; Beschäftigung 2,0 Prozent).

Auch die Importeffekte können anhand der drei Preis-Szenarien dimensioniert werden:

- ▶ Im moderaten Szenario ist aufgrund von Importeffekten (d. h. verstärkter Auslandsbezug von energieintensiven Vorleistungen) mit Produktionsverlusten in Höhe von 1,3 Prozent zu rechnen (Bruttowertschöpfung 1,2 Prozent; Beschäftigung 1,6 Prozent). Relativ am stärksten betroffen sind hier die Gummi- und Kunststoffindustrie (Rückgang 9,4 Prozent) sowie die Metallerzeugnisse (8,2 Prozent). Auch in absoluter Betrachtung leidet vor allem die Branche der Metallerzeugnisse (Einbußen von 13,2 Mrd. Euro Produktionswert), vergleichsweise gering sind hier die Auswirkungen in den Downstream-Bereichen von Chemie (Rückgang 1,2 Mrd. Euro) und Metallerzeugnissen (1,3 Mrd. Euro). Insgesamt geht die Inlandsproduktion um 29,4 Mrd. Euro zurück (Bruttowertschöpfung 9,8 Mrd. Euro; Beschäftigung 130.000).
- ▶ Die Importeffekte im Szenario der starken Preisunterschiede schlagen sich insgesamt in einem Produktionsrückgang von 1,5 Prozent nieder (Produktionswert 35,1 Mrd. Euro; Bruttowertschöpfung 11,7 Mrd. Euro; Beschäftigung 157.000). Besonders betroffen ist auch hier die Metallerzeugnis-Branche (Rückgang 16,3 Mrd. Euro), eher weniger die zwei Downstream-Bereiche Chemie und Metallerzeugung.
- ▶ Im extremen Szenario beläuft sich der Produktionsrückgang auf 1,3 Prozent (Produktionswert 30,2 Mrd. Euro; Bruttowertschöpfung 10,1 Mrd. Euro; Beschäftigung 135.000). Im Vergleich zum mittleren Szenario sind hier die Importeffekte rückläufig, da die Unternehmen beim Wechsel zwischen diesen beiden Szenarien auch von der „strategischen Dehnung“ zur „strategischen Pufferung“ übergehen und die Inlandsproduktion verringern.

Darüber hinaus führen die drei Preis-Szenarien zu folgenden indirekten Effekten:

- ▶ Im moderaten Szenario ergibt sich aufgrund der strategischen Reaktionen der Unternehmen in den Fokusbranchen im indirekten Effekt ein Produktionsrückgang von 11,3 Mrd. Euro. Besonders hoch fallen diese Effekte in der Branche der Metallerzeugnisse (Produktionsrückgang 3,1 Mrd. Euro) sowie der Maschinenbau- und Elektroindustrie (2,5 Mrd. Euro) aus, vergleichsweise gering im Fahrzeugbau (0,3 Mrd. Euro) sowie der Chemie (0,5 Mrd. Euro). Für den gesamten Standort ergeben sich indirekte Effekte in Höhe von 49,7 Mrd. Euro.
- ▶ Im mittleren Szenario der starken Preisunterschiede belaufen sich die indirekten Effekte in den Fokusbranchen auf 15,2 Mrd. Euro (Produktionsrückgang), für den gesamten Standort auf 94,1 Mrd. Euro. Besonders schlagen sich die indirekten Effekte in diesem Szenario in der Maschinenbau- und Elektroindustrie (Rückgang 4,2 Mrd. Euro) nieder, eher weniger im Fahrzeugbau sowie der Gummi- und Kunststoffindustrie.
- ▶ Für das extreme Szenario werden indirekte Effekte für die Fokusbranchen in Höhe von 16,6 Mrd. Euro (Produktionsrückgang) ermittelt, besonders betroffen sind die sonstigen

Industrien (Rückgang 5,1 Mrd. Euro) sowie die Maschinenbau- und Elektroindustrie. Für den gesamten Standort ergeben sich indirekte Effekte in Höhe von 118,8 Mrd. Euro.

In abrundender Betrachtung lassen sich einige katalytische Effekte skizzieren, die aufgrund der veränderten Wertschöpfungsstrukturen auftreten könnten, trotz der ursächlichen Verbindung aber eher „im Schatten des realen Phänomens“ zu beobachten sein werden. Dazu zählen beispielsweise zusätzlich zu berücksichtigende Abhängigkeiten bei querverwertbaren, im Rahmen der Produktion energieintensiver Grundstoffe auftretenden Nebenprodukten, eine zunehmende Abkopplung vom technischen Fortschritt oder erhöhte geopolitische Abhängigkeiten und Lieferketteninstabilitäten.

Diese auf Grundlage der Reaktionen der Fokusbranchen dimensionierten Effekte werden nicht unbedingt sofort und gebündelt auftreten, sondern sich mit mittelfristiger Perspektive entfalten. Innerhalb des mit dem Jahr 2045 bewusst langfristig gewählten Zeitrahmens für die Ermittlung der Energiekostenunterschiede ergeben sich aus Sicht der Unternehmen dauerhafte Preisunterschiede für energieintensive Vorprodukte, auf die man mit mittelfristiger Perspektive reagieren wird. Als realistische, praxisnahe Reaktionsfrist wird dabei ein Zeitrahmen von etwa 10 bis 15 Jahren angenommen. Dementsprechend werden die dimensionierten Effekte in den Fokusbranchen sowie der Gesamtwirtschaft am Standort Deutschland innerhalb dieses Zeitrahmens wirksam.

Die Ergebnisse der Dimensionierungsanalysen lassen insgesamt den Schluss zu, dass die zu erwartenden wirtschaftlichen Effekte sowohl in den Fokusbranchen, die mit der betrachteten energieintensiven Grundstoffherzeugung eng verwoben sind, als auch mit Blick auf den Standort Deutschland je nach zugrundeliegendem Preis-Szenario mittelfristig erheblich ausfallen können. Dabei ist besonders augenfällig, dass die direkten Effekte der Downstream-Fokusbranchen die Importeffekte, d.h. den Rückgang der Upstream-Bereiche, deutlich übertreffen. Im von den befragten Unternehmen als besonders wahrscheinlich eingestuften (mittleren) Szenario der dauerhaft starken Preisunterschiede müssen insbesondere die Branchen der Gummi- und Kunststoffindustrie, der Metallerzeugung (Downstream), der Metallerzeugnisse sowie des Fahrzeugbaus (in relativer Betrachtung) bzw. der Fahrzeugbau, die sonstige Industrie, die Metallerzeugnisse und die Maschinenbau- und Elektroindustrie (in absoluter Betrachtung) deutliche Produktionsrückgänge hinnehmen. Damit wird der bewusst gewählte Untersuchungsfokus der Studie bestätigt. Dies führt auch zu dem Schluss, dass sich grundsätzlich die Analyse der energieintensiven Industrien sowie die Suche nach Maßnahmen zur Erhöhung ihrer Zukunftsfähigkeit daher nicht auf den Upstream-Bereich der Wertschöpfungskette (und damit die Hersteller der energieintensiven Grundstoffe) beschränken darf, sondern die jeweiligen Downstream-Bereiche (und damit die Abnehmer- bzw. Verwenderunternehmen der Grundstoffe) miteinbezogen werden müssen.

Die Studie zeigt auch: Der auf die Downstream-Unternehmen ausgeübte wirtschaftliche Preisdruck wird umgehend entlang der Wertschöpfungsketten weitergegeben. Die Substitution inländischer energieintensiver Vorleistungen durch Importe ist in allen Preis-Szenarien eine ausgeprägte Reaktion der Downstreamer. So führen langfristig antizipierte Preisunterschiede für Grundstoffe zu einer „stromaufwärts“ gerichteten Verschiebung des strategischen Handlungsdruckes. Entweder können Upstream-Produzenten durch eigene Pufferung und Importsubstitution von Grundstoffvorleistungen die Grundstoffpreise reduzieren oder sie laufen Gefahr, dass nachgelagerten Wirtschaftszweige Grundstoffe direkt aus dem Ausland beziehen. Das liegt auch daran, dass die Fähigkeit der Downstreamer zur Pufferung struktureller inländischer Kostenaufschläge begrenzt ist.

Ist das Maß der strategischen Dehnung aus Pufferung und Substitution von Inlandsvorleistungen durch Importe bei den Downstream-Fokusbranchen ausgereizt, reagieren sie mit Auslandsverlagerung bzw. Geschäftsfeldsaufgabe. Der hohe direkte Effekt (Rückgang der Downstreamer-Branchen), der sich aus den Umfrageergebnissen ergibt, ist ein starkes Indiz dafür, dass ein Teil der nachgelagerten Wirtschaftszweige aufgrund enger Vernetzung und vertikaler Integration abhängig ist von inländisch bzw.

regional bereitgestellten Grundstoffen, die zu wettbewerbsfähigen Preisen bereitgestellt werden. Dies lässt den Schluss zu, dass es eine „Sockelkapazität“ an energieintensiver Grundstoffherzeugung in Deutschland braucht, um Kaskadeneffekte zu begrenzen. Diese Sockelkapazität liegt auf Basis der Umfrageergebnisse *unter* der heutigen Erzeugungskapazität. Nicht berücksichtigt hierbei sind Resilienz-Überlegungen, die aus einer Absicherungsüberlegungen heraus weitere nicht wirtschaftliche Grundstoffherzeugungskapazitäten legitimieren könnten.

Ein geeignetes industriepolitisches Maßnahmenbündel sollte die „strategische Dehnfähigkeit“ der nachgelagerten Branchen stärken sowie eine wettbewerbsfähige Sockelproduktion energieintensiver Grundstoffe sicherstellen.

In Deutschland wird traditionell eine eher horizontale Industriepolitik verfolgt, die auf die kontinuierliche Verbesserung des gesamtwirtschaftlichen Umfeldes und damit der Rahmenbedingungen für alle Branchen abzielt. Insbesondere im Kontext der großen gegenwärtigen transformatorischen Trends (v. a. Digitalisierung, demographischer Wandel, Dekarbonisierung) erfolgt aktuell nun eine Erweiterung dieser horizontal orientierten Industriepolitik durch ausgewählte vertikale Elemente, um den spezifischen Herausforderungen besser begegnen zu können. Die Studienergebnisse lassen den Schluss zu, dass für die Begegnung der langfristigen Energiepreiseffekte eine Kombination aus horizontaler Standortpolitik zur Stärkung der strategischen Dehnfähigkeit des verarbeitenden Gewerbes und gezielten, vertikalen Unterstützungsmaßnahmen für energieintensive Industrien der richtige Weg ist.

Ein breites Maßnahmenbündel zur Stärkung der „strategischen Dehnfähigkeit“ der energieintensiven und nachgelagerten Branchen sollte primär darauf abzielen, bisher nicht realisierte Effizienz- und Produktivitätspotenziale zu heben sowie die Innovationstätigkeit weiter zu verbessern. Dazu gehört auch, die flexiblere Nutzung von Energie in der Industrie anzureizen sowie die mittel- bis langfristigen Energiesystemkosten systematisch zu reduzieren. Wichtig ist auch, dass Anreize für den Import von energieintensiven Vorleistungen, wo das möglich und sinnvoll ist, nicht abgeschwächt werden. So können Energiekostenaufschläge in Summe abgemildert und sowohl direkte als auch Importeffekte reduziert werden.

Ein solches Maßnahmenbündel dürfte die strategische Dehnfähigkeit des Standorts deutlich verbessern. Die teils signifikanten Kostenaufschläge inländischer Grundstoffherzeugung werden dadurch jedoch nicht vollständig zu kompensieren sein. Um die Höhe des strategischen Bruchs, d.h. die Auslandsverlagerung oder Geschäftsfeldaufgabe der Fokusbranchen, zu begrenzen, sollte deshalb sichergestellt werden, dass eine Sockelkapazität an energieintensiven Grundstoffherzeugern in Deutschland möglichst wettbewerbsfähig produzieren kann. Gezielte, vertikale Unterstützungsmaßnahmen sind deshalb gefragt: Langfristig betrifft dies vor allem die Ermöglichung günstiger Energiebezugskosten für energieintensive Industrien, ohne dass dies starke Verzerrungseffekten innerhalb des verarbeitenden Gewerbes auslöst. Dazu bedarf es eines besseren Verständnisses, wie sich Energiepreise über Vorleistungspreise entlang von Wertschöpfungsketten durchsetzen sowie zum möglichen Ausmaß von Verzerrungseffekten aufgrund von Industriebegünstigungen. Kurzfristig sollte sichergestellt werden, dass krisenbedingte Langfristschäden für die industrielle Basis durch gezielte und zeitlich befristete Entlastungsmaßnahmen verhindert werden.

2 Kontext, Zielstellung und Forschungsfragen

Die gemeinsam von IW Consult und Frontier Economics für das Dezernat Zukunft durchgeführte wissenschaftliche Studie umreißt die infolge der Energiewende zu erwartenden Änderungen der komparativen Energiegestehungskosten für energieintensive Grundstoffe und dimensioniert die daraus resultierenden dauerhaften wirtschaftlichen Effekte entlang der Wertschöpfungskette standortrelevanter Fokusbranchen.

Die aktuelle Energiekrise und die Aussicht auf strukturell höhere Energiepreise stellen das Geschäftsmodell der deutschen energieintensiven Industrien in Frage. In vielen Branchen wurde die Produktion von Grundstoffen im gesamten Jahr 2022 teils deutlich gedrosselt.³ So lag die Produktion der energieintensiven Industriezweige im Mai 2022 unter dem bundesweiten Industriedurchschnitt.⁴ Auch die prognostizierten Preisentwicklungen für Terminkontrakte auf Gas und Strom in Deutschland bis 2030 deuten darauf hin, dass die Preise länger auf hohem Niveau bleiben werden.⁵

Begleitet wird diese aktuelle Lage zudem von einer tiefgreifenden und fundamentalen Umstellung der Energieversorgung und Produktionsprozesse auf erneuerbare Energiequellen, also der sogenannten Energiewende. Die damit einhergehenden Veränderungen wirken sich insbesondere auf die Standortvoraussetzungen der energieintensiven Industrie und ihrer einzelnen Teilbranchen aus. Historisch „günstige“ Energiequellen für Deutschland, wie Braunkohle und z. T. Erdgas und Steinkohle, werden durch erneuerbare Energiequellen ersetzt. Die Gestehungskosten erneuerbarer Energie liegen in Deutschland aufgrund der geographischen Lage jedoch teilweise deutlich über den Gestehungskosten in anderen Regionen, sowohl innerhalb als auch außerhalb Europas.

Die deutsche energieintensive Industrie umfasst Branchen, die zur Produktion einen überdurchschnittlich hohen Bedarf an Energie aufweisen. Insbesondere gehören diejenigen Branchen dazu, die bestimmte chemische Grundstoffe, Baustoffe, Glas, Papier, Stahl oder Nichteisenmetalle herstellen oder nutzen.⁶ Als klassische am Beginn der Wertschöpfungsketten angesiedelte Branchen (d. h. energieintensive „Upstream“-Branchen) tragen sie nicht nur direkt zur wirtschaftlichen Leistungsfähigkeit des Landes bei. Vielmehr liefern sie auch Grundstoffe für Kernkomponenten und -bauteile entlang der Wertschöpfungsketten wichtiger Kernbranchen wie dem Automobilbau, dem Maschinenbau, der Elektroindustrie oder der Verpackungsindustrie (d. h. energieintensive „Downstream“-Branchen).

³ So ist beispielsweise die Aluminiumproduktion des Jahres 2022 im Vergleich zum Vorjahr um gut 10 Prozent gesunken (vgl. Aluminium Deutschland (2023)).

⁴ Vgl. Destatis (2023); <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Industrie-Verarbeitendes-Gewerbe/produktionsindex-energieintensive-branchen.html>; abgerufen am 19. Juni 2023; Zudem lag im Dezember 2022 die Produktion in den energieintensiven Branchen in Deutschland um fast 20 Prozent unter dem Niveau von Ende 2021 (vgl. iwD (2023)).

⁵ Vgl. Energate-Messenger (2023).

⁶ Laut Destatis benötigen die energieintensiven Industriezweige drei Viertel des industriellen Energieverbrauches, vgl. Destatis (2023).

Gerät die inländische Produktion in den energieintensiven Upstream-Branchen aufgrund hoher Energiekosten unter Druck, kann sich dies aufgrund der engen Verwebung auch auf die Wettbewerbsfähigkeit der nachgelagerten Downstream-Branchen und damit die internationale Stellung der deutschen Industrie insgesamt auswirken. Umgekehrt können hohe Energiekosten und die damit verbundenen hohen Preise für energieintensive Vorprodukte die strategischen Bezugsentscheidungen der Downstream-Unternehmen in den Verwenderbranchen beeinflussen und zu Nachfrageeinbrüchen nach inländischen Grundstoffen führen.

Diese Entwicklungen und Zusammenhänge werfen kritische Fragen hinsichtlich der künftigen Gesteigungskosten von erneuerbaren Energien, deren Auswirkungen auf die auf energieintensiven Grundstoffen aufbauenden Wertschöpfungsstrukturen sowie die daraus resultierenden wirtschaftlichen Effekte auf. Insbesondere sollen im Rahmen der vorliegenden wissenschaftlichen Studie, die gemeinsam von IW Consult und Frontier Economics für das Dezernat Zukunft erstellt wurde, die folgenden zentralen Forschungsfragen beantwortet werden:

- ▶ Wie groß sind die künftig zu erwartenden Unterschiede in den Energiekosten klimaneutraler Produktionsverfahren für die Grundstoffproduzenten zwischen Deutschland und ausgewählten EU-/Nicht-EU-Ländern?
- ▶ Welche Auswirkungen werden diese Veränderungen der vorgelagerten Kostenstrukturen bei den Grundstoffproduzenten auf die nachgelagerten Wertschöpfungsketten in ausgewählten, standortrelevanten Fokusbranchen der energieintensiven Industrie im Laufe der Zeit haben?
- ▶ Wie lassen sich die dadurch hervorgerufenen wirtschaftlichen Effekte dimensionieren?
- ▶ Wie wirken sich diese Effekte insgesamt auf die Wettbewerbsfähigkeit der standortrelevanten Fokusbranchen der energieintensiven Industrien aus?

Mit der Beantwortung dieser zentralen Forschungsfragen soll die vorliegende wissenschaftliche Studie einen neuen Beitrag zur bisherigen Studienlandschaft leisten und insbesondere fundierte und praxisvalidierte aktuelle Erkenntnisse zu Energie-Gesteigungskosten und deren Effekten für besonders standortrelevante energieintensive Branchen beisteuern.

Fokussiert wird im Rahmen der Studie auf die für den Standort Deutschland besonders wichtigen Grundstoffe Stahl, Aluminium, Ammoniak sowie hochwertige Chemikalien (d. h. Alkene bzw. Olefine als sogenannte „high value chemicals“) und die wesentlich von ihnen abhängigen Branchen der Metallherzeugung, der Metallherzeugnisse, der Chemie, der Kunststoffindustrie, des Fahrzeugbaus sowie von Maschinenbau und Elektroindustrie.

Dabei visiert die Studie einen bisherigen „blinden Fleck“ in der Studienlandschaft an, da nun insbesondere die wertschöpfungskettenweite Dimensionierung wirtschaftlicher Effekte der mit den standortrelevanten Grundstoffen verwobenen Verwenderunternehmen (Downstream) untersucht wird.

Hier unterscheidet sich die Perspektive dieser Studie zudem deutlich von den üblichen Szenarioveröffentlichungen zu Energiekostenentwicklungen. Der Fokus liegt nun nämlich nicht auf einer prognostischen Zeitstrahlverortung von Energiekostenänderungen und Effekten, es soll nicht die Frage beantwortet werden, wann genau sich welche Wirkungen einstellen werden. Vielmehr steht die Frage im Zentrum der Untersuchungen, zu welchen strategischen Anpassungsreaktionen relative Energiekostenunterschiede in den Unternehmen der betrachteten Wertschöpfungsketten führen und wie insbesondere die bezugsseitigen Reaktionen der Downstream-Unternehmen zu dimensionieren sind.

3 Studiendesign, Vorgehensweise und Methoden

Das Studiendesign basiert auf einer breiten Methodik und umfasst die drei Schritte der komparativen Energiekostenanalyse, der preisszenarischen Arrondierung strategischer Unternehmensreaktionen sowie der Dimensionierung wirtschaftlicher Effekte.

3.1 Vorbemerkungen

Die im Rahmen der Studie zu beantwortenden Forschungsfragen erstrecken sich auf ein breitgefächertes heterogenes Spektrum unterschiedlicher Untersuchungsebenen, die methodisch sauber miteinander verknüpft werden müssen:

- ▶ Auf inhaltlicher Ebene soll eine Verknüpfung von Energiekostenanalysen mit unternehmensstrategischen Reaktionen (Mikro-Perspektive) sowie mit gesamtwirtschaftlichen Effekten (Makro-Perspektive) erfolgen.
- ▶ Auf zeitlicher Ebene sollen Vergangenheitsdaten mit in die Zukunft weisenden strategisch-abschätzenden Dimensionierungen verwoben werden.
- ▶ Hinsichtlich der Datenqualität soll sich die Analyse sowohl auf quantitativ-statistische Daten (Unternehmensbefragung, öffentliche Statistik) als auch auf qualitative Befragungsdaten (Experteninterviews und Verbandsgespräche) stützen.

Vor diesem Hintergrund umfasst die für die Studie gewählte Vorgehensweise drei eng ineinandergreifende Schritte:

- ▶ Im ersten Schritt werden zunächst internationale Energiekosten analysiert, um abschätzen zu können, wie die Herstellung industrieller Grundstoffe in Deutschland im Vergleich zum Import ausländischer Produkte bzw. Vorleistungen abschneidet. Diese Analyse fasst insbesondere Energie- und Transportkosten ins Auge. Der Zeithorizont dieser Analyse reicht bis 2045. Das Ergebnis sind dauerhafte Energiekostennachteile Deutschlands im Vergleich zu wichtigen Konkurrenzstandorten im Ausland. Dieser Schritt 1 wird von Frontier Economics durchgeführt.
- ▶ Eine zentrale Hypothese der Studie ist, dass der Standort Deutschland wesentliche dauerhafte Energiekostennachteile hat und sich diese auf die Preise für energieintensive Vorleistungsprodukte auswirken, d. h. mittelfristig auch Kostennachteile bei der Produktion energieintensiver Vorprodukte entstehen. Die Überwälzung der Energiekostenunterschiede auf Preisunterschiede für energieintensive Vorprodukte wird explizit modelliert. Die Studie untersucht in einem zweiten Schritt, wie die Unternehmen aus den betroffenen Branchen (den sogenannten Fokusbranchen) auf diese Preisnachteile für energieintensive Vorprodukte reagieren werden. Dabei werden in Abhängigkeit verschiedener Preis-Szenarien vier Strategieoptionen untersucht: Puffern, verstärkter

Bezug von Vorleistungen aus dem Ausland, Verlagerung der Produktion ins Ausland und/oder Aufgabe der Produktion im Inland. Die Daten dazu werden in einer Unternehmensbefragung (N=145) sowie ergänzenden Expertengesprächen erhoben.

- ▶ Im dritten Schritt werden die derart konkretisierten strategischen Unternehmensreaktionen schließlich hinsichtlich der dann mittelfristig zu erwartenden gesamtwirtschaftlichen Effekte (d. h. direkte, indirekte und katalytische Wirkungen) auf die Produktion, die Bruttowertschöpfung und die Beschäftigung in Deutschland dimensioniert. Da die Energiekostenanalyse im ersten Schritt zum Ergebnis kommt, dass der Standort Deutschland dauerhafte Kostennachteile hat, werden die Effekte in Deutschland negativ sein. Bei der Dimensionierung der Effekte auf Produktion, Wertschöpfung und Beschäftigung geht es deshalb nicht um die Richtung, sondern nur um das Ausmaß der Einbußen. Die Schritte 2 und 3 werden von IW Consult durchgeführt.

Die Studie hat Besonderheiten und Beschränkungen, die im Studiendesign explizite Berücksichtigung finden:

- ▶ **Fokus auf Energiepreise:** Die Studie beschränkt sich auf die Analyse der Effekte, die durch international unterschiedliche Energiekosten dauerhaft zu erwarten sind.
- ▶ **Beschränkung auf vier Grundstoffe:** Betrachtet wird exemplarisch die Bedeutung von vier energieintensiven Basisgrundstoffen (sogenannte Verticals) für die volkswirtschaftlichen Wertschöpfungsketten. Ausgewählt wurden Stahl, Aluminium, Ammoniak und hochwertige Chemikalien/Olefine. Diese Grundprodukte werden insbesondere in den Upstream-Bereichen der Chemieindustrie und der Metallerzeugung hergestellt.
- ▶ **Fokus auf die nachgelagerte Wertschöpfungskette:** Die Dimensionierung der Effekte ist Downstream-geleitet und berücksichtigt daher besonders diejenigen Teile der Wertschöpfungskette, die Vorprodukte in einem maßgeblichen Umfang einsetzen, die zumindest einen der vier Grundstoffe enthalten. In einer Stoffstromanalyse werden diejenigen Branchen der nachgelagerten Wertschöpfungskette identifiziert, für die das zutrifft. Die besonders betroffenen Branchen werden als Fokusbranchen bezeichnet. Der Upstream-Bereich der Wertschöpfungsketten -also die Produktion der energieintensiven Grundstoffe – wird in der Studie nicht für die direkten Effekte⁷ einbezogen, dient aber der Bezifferung der Importeffekte. Damit soll trennscharf herausgearbeitet werden, wieviel Produktion, Wertschöpfung oder Beschäftigung verloren geht, weil die Herstellung energieintensiver Vorprodukte in Deutschland einen Kostennachteil hat.
- ▶ **Verfügbarkeitshypothese:** Daraus folgt auch modellbedingt eine Annahme zur Verfügbarkeit der energieintensiven Vorprodukte. Es wird unterstellt, dass diese Produkte in Deutschland oder weltweit in dem notwendigen Umfang verfügbar sind. Angebotsprobleme bleiben damit unberücksichtigt. Jede noch so hohe Nachfrage kann befriedigt werden. Die Anpassungsprozesse werden ausschließlich über Preiseffekte modelliert. Allerdings werden in einem extremen Szenario große Preisunterschiede zwischen Deutschland und anderen Standorten (25 Prozent und mehr) unterstellt. Das ist in der ökonomischen Auswirkung einer Nicht-Verfügbarkeit sehr ähnlich.
- ▶ **Szenarien:** Die Studie ist in Szenarien angelegt. Es werden ein moderates, ein mittleres und ein extremes Preis-Szenario modelliert. Dabei wird auf mittelfristig mögliche Preisunterschiede von energieintensiven Vorprodukten in Deutschland im Vergleich zu wichtigen Konkurrenzländern abgestellt. Ausgangspunkt sind Unterschiede bei Energiekosten, die unter bestimmten Annahmen in Preisen für Vorprodukte überwältigt werden.

⁷ Die Upstream-Bereiche werden nur bei den Importeffekten und indirekten Effekten berücksichtigt.

- ▶ **Partialanalyse:** Die Studie ist eine Partialanalyse, d. h. es werden nur diejenigen Effekte modelliert, die durch die Anpassungsreaktionen der Unternehmen auf Preissteigerungen auf Vorprodukte entlang der gesamten nachgelagerten Wertschöpfungskette zu erwarten sind. Diese Effekte werden sich negativ auf die Produktion in Deutschland auswirken. Nur diese Effekte werden modelliert. Mögliche Einsatzmöglichkeiten dieser freiwerdenden Ressourcen in anderen Feldern oder Märkten bleiben unberücksichtigt. Allerdings wird nicht jede Preiserhöhung zwingend zu Einbußen bei der Produktion führen. Bewusst wird berücksichtigt, dass die Unternehmen ein Teil der Preiseffekte (abhängig von der Höhe) puffern können, d. h. entweder an ihre Kunden weitergeben oder durch Produktivitätseffekte ausgleichen können.
- ▶ **Langfristige Betrachtungszeiträume:** Die ökologische Transformation der Industrie und die Umstellung auf klimafreundliche Energiequellen benötigt Zeit. Die Analyse der internationalen Energiekostenunterschiede ist deshalb langfristig bis zum Jahr 2045 angelegt. Auch wenn dieser Zeithorizont aus Sicht von Unternehmen erfahrungsgemäß sehr langfristig ist, soll er dennoch als Rahmen für die Reaktion auf langfristig zu erwartende bzw. dauerhafte Preisunterschiede dienen. Dies wird im Befragungskonzept berücksichtigt. Die Unternehmen haben hier angegeben, wie sie innerhalb dieses langfristigen Zeithorizontes dann mit mittelfristiger Perspektive wahrscheinlich reagieren werden. Dabei ist davon auszugehen, dass Unternehmen ihre strategischen Entscheidungen dann proaktiv treffen werden und nicht abwarten, bis die Effekte bei den Energiekosten eingetreten sind.

Nachfolgend werden die drei wesentlichen Arbeitsschritte

- ▶ Modellierung der Energiekostenunterschiede,
- ▶ Übersetzung in Preise für energieintensive Vorprodukte und Ableitung von strategischen Anpassungsreaktionen sowie die
- ▶ Dimensionierung der Effekte für Produktion, Wertschöpfung und Beschäftigung in Deutschland

kurz beschrieben.

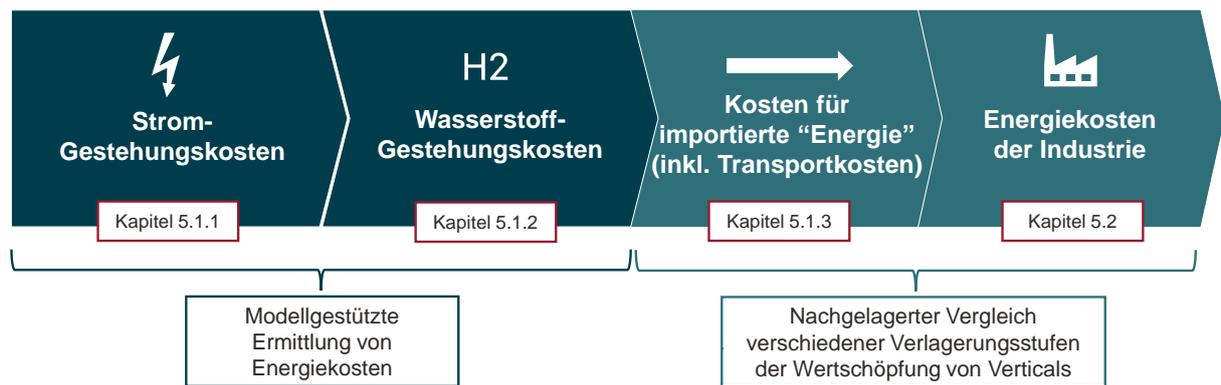
3.2 Methodik zur Schätzung der Energiekosten der Industrie

Als Basis für eine Analyse zur Zukunft der energieintensiven Industrien in Deutschland dient ein Vergleich der zukünftigen Energiekosten⁸ im internationalen Vergleich in der mittleren (2030) und langen (2045) Frist. Der Fokus liegt dabei auf den Kostenunterschieden bei einer Umstellung auf klimaneutrale Produktionsrouten, sowie den Energieträgern Strom und Wasserstoff aus regenerativen Energiequellen.

Im ersten Schritt ermitteln wir mittels einer modellgestützten Analyse für verschiedene Standorte Gestehungskosten von Strom und Wasserstoff (siehe Abbildung 3-1). Darauf aufbauend analysieren wir die Energiekosten für die klimaneutrale Produktion verschiedener industrieller Grundstoffe (siehe Kapitel 4.2 für eine detaillierte Erläuterung). Wir vergleichen dabei Kostenunterschiede bei verschiedenen Verlagerungsstufen der Industrieproduktion ins Ausland im Vergleich zur vollständigen heimischen Produktion in Deutschland. Der Vergleich berücksichtigt auch Transportkosten für den Import von Energie bzw. Zwischen- oder Endprodukten.

⁸ Alle Kosten geben wir in Euro (real, 2021) an.

Abbildung 3-1: Prozess zur Schätzung von Energiekosten energieintensiver Grundstoffe



Quelle: Frontier Economics

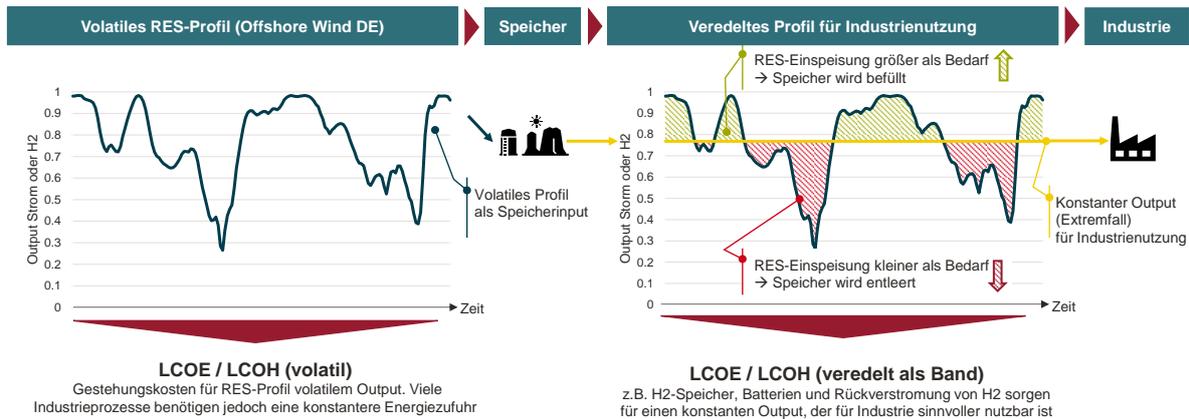
Wir ermitteln die Strom- und Wasserstoff-Gestehungskosten sowie Energiekosten der energieintensiven Grundstoffe für Standorte in sieben Ländern: Deutschland, Norwegen, Spanien, Marokko, Vereinigte Arabische Emirate (VAE), Chile, Australien und USA. Ziel der Analyse ist der Vergleich der Energiekosten der Industrie in Deutschland mit den Energiekosten der Produktion im Ausland unter Berücksichtigung unterschiedlicher Verlagerungsstufen der Produktion. Dabei berücksichtigen wir auch die Option des Imports von Energieträgern nach Deutschland.

Ausgangspunkt: Industrieprozesse benötigen eine nahezu konstante Energieversorgung, daher betrachten wir Kosten von grundlastfähigem Strom und Wasserstoff.

Viele bestehende Studien zu Gestehungskosten von Strom und Wasserstoff beziehen sich auf die Kosten eines volatilen Profils – Strom steht bei erneuerbaren Quellen z. B. dann zur Verfügung, wenn der Wind weht oder die Sonne scheint. Die meisten Industrieprozesse benötigen jedoch eine nahezu konstante Strom- und Wasserstoffversorgung. In diesem Fall spricht man auch von „veredelter“ bzw. „grundlastfähiger“ Energie.⁹ Im Rahmen einer komparativen Energiekostenanalyse für die Industrie sind damit nicht nur die reinen Gestehungskosten, sondern vor allem die Kosten von grundlastfähiger Energie relevant (siehe Abbildung 3-2).

⁹ Bei dieser Form des Energiebedarfs ist z. B. das volatile Profil und die Saisonalität des jeweiligen Standorts besonders entscheidend – Solarstandorte generieren z. B. im Winter weniger Strom, dieser muss dann aus anderen Stromquellen (z. B. Wasserstoffrückverstromung) ausgeglichen werden.

Abbildung 3-2: Betrachtung von grundlastfähiger Bereitstellung von Strom und Wasserstoff



Quelle: Frontier Economics

Mit Hilfe eines Optimierungsmodells (siehe Abbildung 3-3) ermitteln wir daher die Kosten von Strom und Wasserstoff für zwei verschiedene Nachfrageprofile:

- ▶ **Flexible Nachfrage:** Kosten beziehen sich auf die reine (volatile) Gestehungskosten (vergleichbar mit klassischer LCOE-/LCOH¹⁰-Betrachtung);
- ▶ **Annähernd¹¹ konstante Nachfrage:** Kosten für eine grundlastfähige Bereitstellung von Strom und Wasserstoff, unter Berücksichtigung einer gewissen Flexibilität der Industrienachfrage¹². Diese sind aufgrund der dafür benötigten Veredelung (Zwischenspeicherung) höher als die reinen Gestehungskosten.

Für ein vorgegebenes Nachfrageprofil wählt das Modell die optimale Anlagenkonfiguration (Erzeugung, Speicherung, Transport), so dass die Systemkosten zur Bereitstellung von Strom und Wasserstoff minimiert werden.¹³ Als Inputs dienen Produktionsprofile von erneuerbaren Energien, sowie techno-ökonomische Parameter relevanter Infrastruktur (Kosten und Effizienzen von PV, Wind, Elektrolyse, Speicher und Rückverstromung). Die techno-ökonomischen Parameter des Optimierungsmodells sind in Kapitel 9.1.2 zusammengefasst.

Für die gegebenen Inputs findet die Optimierung in einem geschlossenen System statt. Das heißt, wir berücksichtigen keine Verbundeffekte/-netze oder begrenzte EE-Ausbaupotenziale. Insbesondere für den Standort Deutschland kann dies eine wichtige Einschränkung der Analyse darstellen, da EE-Ausbaupotenziale im Verhältnis zur Nachfrage potenziell kleiner sind als in anderen Regionen. Bei einer Knappheit von EE-Erzeugungsmengen entstehen Opportunitätskosten für die Nutzung der

¹⁰ LCOE: Levelised Cost Of Electricity. LCOH: Levelised Cost of Hydrogen. LCOE/LCOH bezeichnen die Kosten, welche für die Energieumwandlung von einer anderen Energieform in elektrischen Strom/Wasserstoff notwendig sind. Die LCOE/LCOH ergeben sich aus den Kapitalkosten, den fixen und den variablen Betriebskosten, ggf. den Brennstoffkosten sowie der Kapitalverzinsung über den Betriebszeitraum. Nicht inbegriffen sind die Verteilung und bedarfsgerechte Pufferung der erzeugten Energie.

¹¹ In Bezug auf die endogene Speicherung zur Bedienung der grundlastfähigen Nachfrage erlauben wir eine gewisse Flexibilität, sodass in den teuersten Stunden die Nachfrage nicht durch das verfügbare Angebot gedeckt werden muss (auch „Value of Lost Load“ genannt).

¹² Die (begrenzte) Flexibilität der Industrienachfrage berücksichtigen wir in der Modellierung, indem in Stunden mit hohen marginalen Kosten die Nachfrage nicht durch das verfügbare Angebot gedeckt werden muss (vergleichbar mit einer „Value of Lost Load“-Logik). Wir lassen im Modell offen, ob in diesen Stunden die Industrieproduktion reduziert oder der Energiebedarf mit einer alternativen Energieversorgung gedeckt wird. Diese Flexibilitätsoption ist v. a. für die Wasserstoffnachfrage relevant. Die Stromnachfrage kann in Stunden mit hohen Kosten über die Wasserstoff-Rückverstromung zu lokalen Wasserstoffkosten gedeckt werden.

¹³ Das Optimierungsmodell ist in GAMS formuliert und wird mit Cplex gelöst.

erneuerbaren Energie, sodass der Marktwert höher ausfallen kann als die reinen Erzeugungskosten. Deutschland wird voraussichtlich höhere Opportunitätskosten für die Nutzung von Strom aufweisen als Standorte in Regionen, die absehbar über einen Überschuss an erneuerbaren Energien verfügen – sodass Kostenunterschiede in der Realität noch höher ausfallen könnten.¹⁴

Volatile Gesteungskosten analog zu klassischem LCOE/LCOH-Verständnis, Kosten von grundlastfähiger Energie über Veredelung von EE-Profilen durch Speicher und Rückverstromung

Die Kostenschätzung im Modell erfolgt über die Annuitätenmethode.¹⁵ Kosten für volatile Energie sind mit bestehenden Studien zu LCOE und LCOH vergleichbar, die Vollkosten der reinen Stromgestehung mit fluktuierender Verfügbarkeit analysieren.¹⁶ Neben den reinen Gesteungskosten betrachten wir für Industrieprozesse mit relativ konstantem Nachfrageprofil verschiedene Möglichkeiten zum Ausgleich eines volatilen EE-Profiles auf ein grundlastfähiges Profil:

- ▶ **Stromspeicherung in Batterien** über eine modellendogene Berücksichtigung (das Modell errechnet die optimale Batteriekapazität mit Ziel der Gesamtkostenminimierung);
- ▶ **Rückverstromung von Wasserstoff** über flexibles Kraftwerk mit Wasserstoff-Turbine (basierend auf den ermittelten Kosten für den Feedstock Wasserstoff bestimmt das Modell die optimalen Rückverstromungsmengen);
- ▶ **Wasserstoffspeicherung** in Drucktanks, oder, wenn entsprechende geologische Potenziale vorhanden sind, auch in Salz- oder Felsenkavernen (modellendogene Optimierung auf Basis regional differenzierter, exogener Speicherkosten).

Darüber hinaus berücksichtigen wir in der Modellierung eine (begrenzte) Flexibilität der Industrieproduktionsprozesse.¹⁷ Das heißt, die Modellierung reflektiert die Möglichkeit der Industrieprozesse in Stunden mit besonders hohen Energiekosten den Energiebedarf zu senken (z. B. durch Reduktion der Produktion) oder auf eine alternative Energieversorgung (z. B. Back-up-Generator) umzustellen.

¹⁴ Um die Knappheit in Deutschland abzubilden, berechnen wir Energiekosten in einer Sensitivität mit Netzstromkosten auf Basis von Ergebnissen aus Systemmodellierungen.

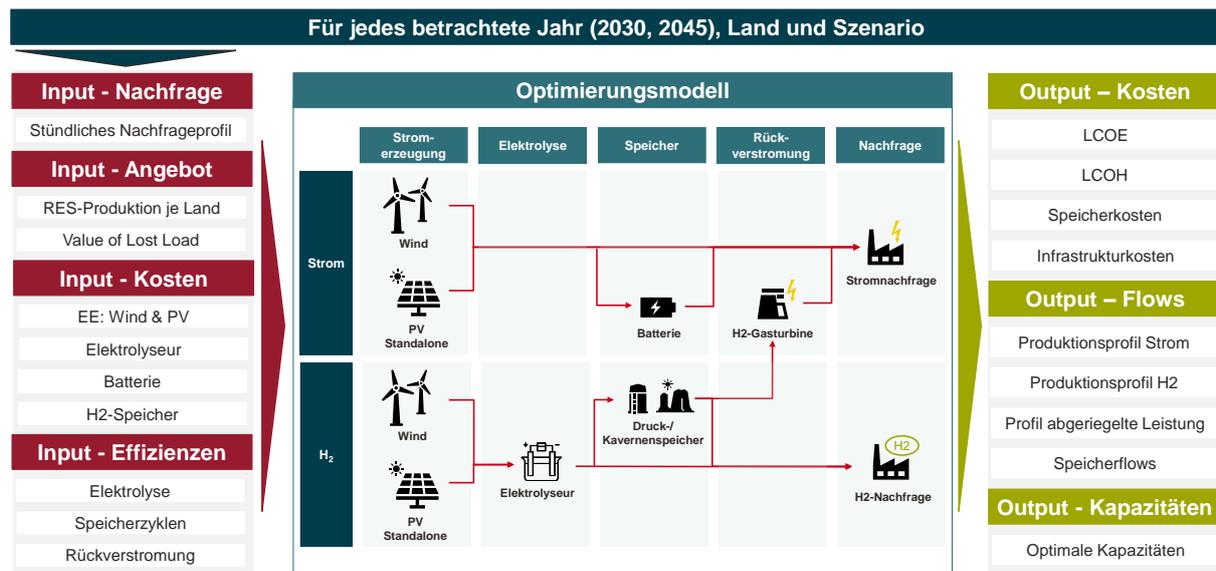
¹⁵ Eine detaillierte Beschreibung der Annuitätenmethode, sowie weiteren Methoden zur Berechnung von Gesteungskosten findet sich in Fraunhofer (2021): Stromgestehungskosten erneuerbare Energien, S. 37 ff.

¹⁶ Siehe unter anderem

- IEA (2022): Global Hydrogen Review 2022;
- IRENA (2022), Global hydrogen trade to meet the 1.5°C climate goal: Part III – Green hydrogen cost and potential, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi;
- Braendle et al (2021): Estimating long-term global supply costs for low-carbon hydrogen.

¹⁷ Siehe Fußnote 11.

Abbildung 3-3: Modell zur Optimierung von Energiekosten



Quelle: Frontier Economics

Auf Basis der beschriebenen sowie weiterer Eingangsparameter optimiert das Modell die Kosten für Strom und Wasserstoff als volatiles sowie als grundlastfähiges Produkt. Neben den Gestehungskosten für Strom- und Wasserstoff stehen weitere Outputs zur Verfügung, zum Beispiel zu den Speicherprofilen und benötigten Erzeugungs- und Speicherkapazitäten.

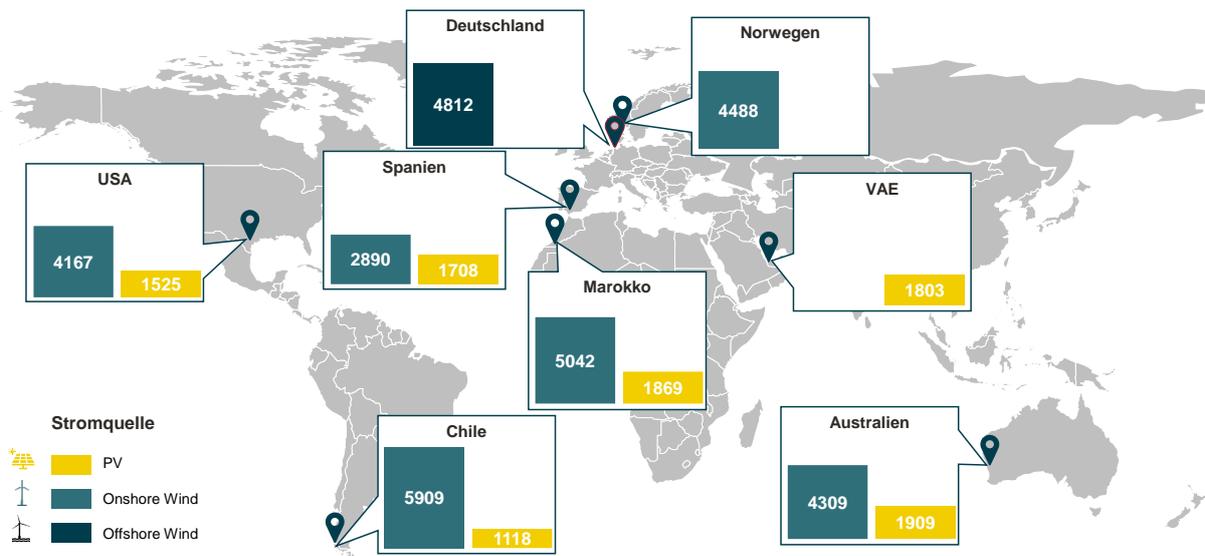
Vergleich nationaler Energiekosten mit sieben internationalen Standorten

In der Analyse des Optimierungsmodells vergleichen wir einen günstigen Standort in Deutschland mit günstigen Standorten in sieben Vergleichsländern (siehe Abbildung 3-4). Für Deutschland betrachten wir dabei einen Offshore-Windpark in der Nordsee. Der Wind weht hier gleichmäßiger und stärker als an Land, daher ist der Offshore-Windpark mit recht hohen Volllaststunden im Vergleich zu Onshore-Wind oder PV besser geeignet für eine möglichst konstante Stromgestehung in Deutschland. Die Erzeugungsprofile der Standorte und damit verbundene Volllaststunden basieren auf dem Fraunhofer PtX Atlas¹⁸, der weltweite Potenziale zur strombasierten Herstellung von klimaneutralem Wasserstoff und synthetischen Kraftstoffen ausweist. Zudem werden bei der Standortwahl bereits bestehende Industriecluster und Rohstoffvorkommen der betrachteten industriellen Grundstoffe (Bauxit oder Eisenerz) berücksichtigt. So befindet sich zum Beispiel der ausgewählte US-Standort an der Küste von Texas, wo es neben sehr guten EE-Bedingungen auch bereits energieintensive Industrie gibt.¹⁹

¹⁸ Der Fraunhofer PtX Atlas analysiert Power-to-X-Potenziale von Küsten- und Binnenlandstandorten im globalen Betrachtungsraum unter Verwendung von hochaufgelösten Raumdaten und langjährigen Wetterdaten.

¹⁹ Zum Beispiel hat Voestalpine eine DRI-Anlage in Corpus Christi in Betrieb genommen: <https://www.voestalpine.com/group/en/media/press-releases/2017-05-10-voestalpine-direct-reduction-plant-in-texas-fully-operational-since-april-1-2017/>

Abbildung 3-4: Volllaststunden der betrachteten erneuerbaren Energien in den Vergleichsländern



Quelle: Frontier Economics basierend auf Fraunhofer PtX Atlas

Für einen Großteil der Länder stehen mit Onshore-Wind und PV zwei verschiedene erneuerbare Erzeugungstechnologien zur Verfügung, die bei der Strom- und Wasserstoffproduktion kombiniert werden können. Im Vergleich zu den Einzeltechnologien hat dies häufig Kostenvorteile:

- ▶ **PV-Anlagen** sind in Bezug auf spezifische Kapazitätskosten (pro MW) die günstigste erneuerbare Energiequelle. Jedoch ist die Auslastung der Kapazität (in jährlich gemessenen Volllaststunden) häufig niedriger als bei guten Windstandorten und die Sonnenstrahlung schwankt in vielen Regionen je nach Saison (z. B. geringere Stromerzeugung der PV-Anlage im Winter in Deutschland).
- ▶ **Onshore Windräder** sind teurer als die gleiche spezifische PV-Kapazität, aber werden meistens stärker und gleichmäßiger ausgelastet. Auch Windkraft kann saisonal schwanken, in Deutschland weht der Wind beispielsweise im Winter meist stärker als im Sommer.
- ▶ **Offshore Windräder** sind noch teurer als Onshore Windräder, können dafür von besonders starkem Wind auf See profitieren.
- ▶ Eine **Kombination** aus (Onshore-) Wind und PV ermöglicht hohe kombinierte Volllaststunden und geringere saisonale Schwankungen in der Stromgestehung. Damit ist ein solches „hybrides“ System potenziell besonders geeignet, um möglichst gleichmäßig Strom zu produzieren, was eine wichtige Bedingung für die Industrie ist.

Auf Basis von stündlichen Profilen für die erneuerbaren Energien in Deutschland und den sieben Vergleichsländern werden im Modell die kostenminimierenden Kapazitätsverhältnisse bestimmt. Dies sind zum Beispiel für LCOH (Grundlast) in den USA die optimale Kapazitätskombination für Wind, PV, Elektrolyse und Wasserstoffspeicher. Üblicherweise ist dabei ein „Überbau“ der EE-Kapazität kostenminimierend. Das bedeutet, dass im Vergleich zur Elektrolysekapazität deutlich mehr Kapazität an PV und Wind installiert wird. Zwar wird dadurch ein gewisser Anteil der Stromgestehung abgeregelt (oder ggf. anderweitig genutzt), da die Kapazität des Elektrolyseurs nicht ausreicht, um in Spitzenstunden den gesamten Strom zu verarbeiten. Durch den Überbau erreicht der Elektrolyseur eine höhere Auslastung, wodurch sich letztlich trotz Überkapazitäten niedrigere LCOH ergeben. Die optimalen Verhältnisse der Kapazitäten von Erneuerbaren Energien und Elektrolyse unterscheiden sich zwischen Ländern und betrachtetem Zeitpunkt, da sie von den jeweiligen stündlichen EE-Profilen und den (z. T. lokalen) Kosten (z. B. für Elektrolyseur oder Speicherung) abhängen.

Für alle betrachteten Länder wurden besonders geeignete Standorte für die EE-Erzeugung ausgewählt, mit dem Ziel eine besonders hohe Vergleichbarkeit der gewählten Standorte zu erreichen. Die verwendeten stundenscharfen EE-Profile basieren auf wetterbasierten Analysen der spezifischen Standorte.²⁰ Spezielle Effekte, wie zum Beispiel eine Reduktion der Volllaststunden durch dichte Bebauung einer Fläche mit Windrädern („Parkeffekt“), werden in dieser Studie für alle globalen Standorte nicht berücksichtigt.

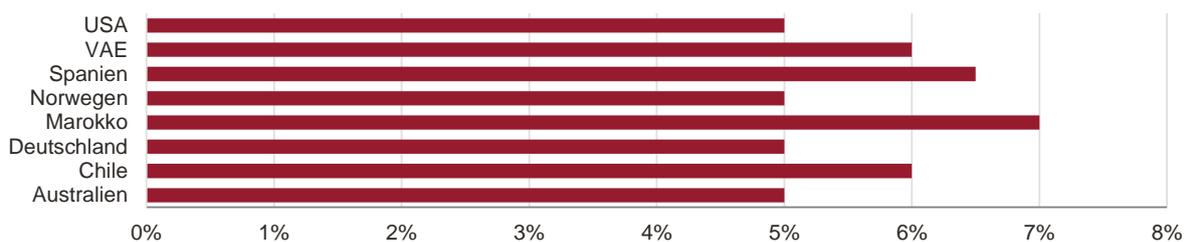
Zusätzlich zu Wind und PV betrachten wir in unserer Analyse zwei Sensitivitäten, um besonderen Gegebenheiten in bestimmten Ländern Rechnung zu tragen:

- ▶ Norwegen verfügt über große Kapazitäten an flexiblen Wasserkraftanlagen, die fluktuierende Windenergieerzeugung ausgleichen können. Schwankungen in der EE-Produktion stellen somit für Norwegen eine geringere Herausforderung als für Vergleichsländer dar. Daher betrachten wir für Norwegen in einer Sensitivität die Möglichkeit der Nutzung von Wind- und Wasserkraft zur Produktion eines veredelten Grundlastprodukts von Strom und Wasserstoff.
- ▶ Die inländische Energieerzeugung im Verhältnis zur Energienachfrage wird in Deutschland voraussichtlich zukünftig niedriger bleiben als in den Vergleichsländern der Analyse. Zum Beispiel sind die Erzeugungspotenziale günstiger Offshore-Energie begrenzt, sodass Opportunitätskosten in der Nutzung der Erzeugungsmengen entstehen. Die betrachteten Kosten für Strom und Wasserstoff, zum Beispiel basierend auf Offshore-Wind, stellen somit eher die Untergrenze möglicher Kosten dar. Um die Auswirkungen höherer Kosten in unserer Analyse abzubilden, berechnen wir als Sensitivität zusätzlich Energiekosten für Strom und Wasserstoff mit einem Strompreis auf Basis von Marktmodellierungen.

Differenzierte Kapitalkosten für betrachtete Länder

Neben unterschiedlichen Voraussetzungen für die Strom- und Wasserstoffherzeugung berücksichtigen wir in unseren Analysen länderspezifische Kapitalkosten (Weighted Average Cost of Capital, WACC²¹). Diese beeinflussen die länderspezifischen Investitionskosten und haben damit einen direkten Einfluss auf die Gestehungskosten für Strom und Wasserstoff (LCOE/LCOH bzw. Kosten für grundlastfähigen Strom/Wasserstoff).

Abbildung 3-5: Angenommene länderspezifische Kapitalkosten



Quelle: Frontier Economics basierend auf Damodaran (2023) Country Default Spreads and Risk Premiums

²⁰ Siehe <https://devkopsys.de/ptx-atlas/#simulation-von-ee-erzeugungszeitreihen> für eine Erläuterung der Methodik.

²¹ WACC bewerten die Risiken und die Wirtschaftlichkeit einer Unternehmung und dienen gleichzeitig als Referenzwert für die Mindestrendite von Investitionsprojekten.

Die Kapitalkosten werden entlang unterschiedlicher Länderrisiken differenziert. Wir ermitteln die Kapitalkosten (WACC) unter Berücksichtigung des risikofreien Zinsniveaus²² und der länderspezifischen Risikoaufschläge.²³ Die Kapitalkosten können auch für die einzelnen Technologien (z. B. Windrad, Elektrolyseur) unterschiedlich ausfallen, jedoch hängen diese technologiespezifischen Kosten zum Beispiel auch von dem lokalen Förderdesign ab und können daher nicht konsistent geschätzt werden. Im Ergebnis führen die Kapitalkosten im Vergleich der betrachteten Länder zu einem kostensteigernden Effekt für Marokko, Spanien, VAE und Chile. Die USA, Norwegen, Deutschland und Australien verzeichnen dagegen einen geringen bzw. keinen länderspezifischen Risikoaufschlag.

Energiekostenanalyse der Industrie auf Basis verschiedener Verlagerungsstufen

Basierend auf den Kosten für grundlastfähige Energie analysieren wir die Energie- und Transportkosten der Produktion industrieller Grundstoffe in Deutschland und im Ausland – jeweils für die vier Grundstoffe Stahl, Aluminium, Ammoniak und High Value Chemicals. Die Analyse stellt dabei auf zukünftige, klimaneutrale Produktionsprozesse ab, die sich teilweise deutlich von den aktuellen Prozessen unterscheiden. Statt fossiler Energieträger dienen dabei ausschließlich grüner Strom und grüner Wasserstoff als Energieinputs. Zukünftige Prozesse und damit verbundene Energieinputs werden in Kapitel 9.1.1 für alle vier Grundstoffe ausführlich beschrieben.

Wir betrachten in der Analyse der industriellen Produktionsprozesse vereinfachend ausschließlich energie- und transportbezogene Kosten. Weitere direkt quantifizierbare Kostenaspekte, wie Infrastruktur- bzw. Investitionskosten oder Arbeitskosten, können sich zwischen Ländern zwar auch unterscheiden, sind aber vergleichbaren Studien zufolge keine entscheidenden Treiber von Unterschieden in den Produktionskosten der betrachteten industriellen Grundstoffe (siehe Verpoort et al., 2023). Neben den direkt quantifizierbaren Kosten existieren noch zahlreiche weitere potenziell relevante Faktoren im Vergleich verschiedener Standorte und Verlagerungsstufen, zum Beispiel Synergieeffekte bei lokaler Produktion und Weiterverarbeitung, oder Verbundeffekte (in der Produktion verschiedener chemischer Grundstoffe). Diese Faktoren lassen sich jedoch kaum quantifizieren und werden daher vor allem qualitativ betrachtet.

Die in den Analysen berücksichtigten Wertschöpfungsketten zur Produktion der betrachteten Grundstoffe beinhalten stets den vorgelagerten Prozessschritt der Energiegewinnung (Strom und Wasserstoff), sowie mindestens einen, im Fall von Stahl und High Value Chemicals zwei, weitere Prozessschritte. Im Hinblick auf zukünftige Energieimporte bestehen dabei für jeden energieintensiven Prozessschritt zwei grundsätzliche Optionen:

- ▶ Erhalt des Prozesses am Standort in Deutschland unter Nutzung von Energieimporten („Energie zum Prozess“); oder alternativ
- ▶ Verlagerung des Prozessschrittes an Standorte mit hohem Energieangebot vor Ort und Import der Zwischenprodukte bzw. im Extremfall der fertigen Grundprodukte („Prozess zur Energie“).

Die Verlagerung von Prozessschritten kann zu erheblichen Veränderungen der Energie- und Transportkosten führen. Der Fokus unserer Analyse liegt daher auf dem Vergleich der Kosten verschiedener „Verlagerungsstufen“ der Industrieproduktion. Die Betrachtung der Verlagerungsstufen zeigt, welche

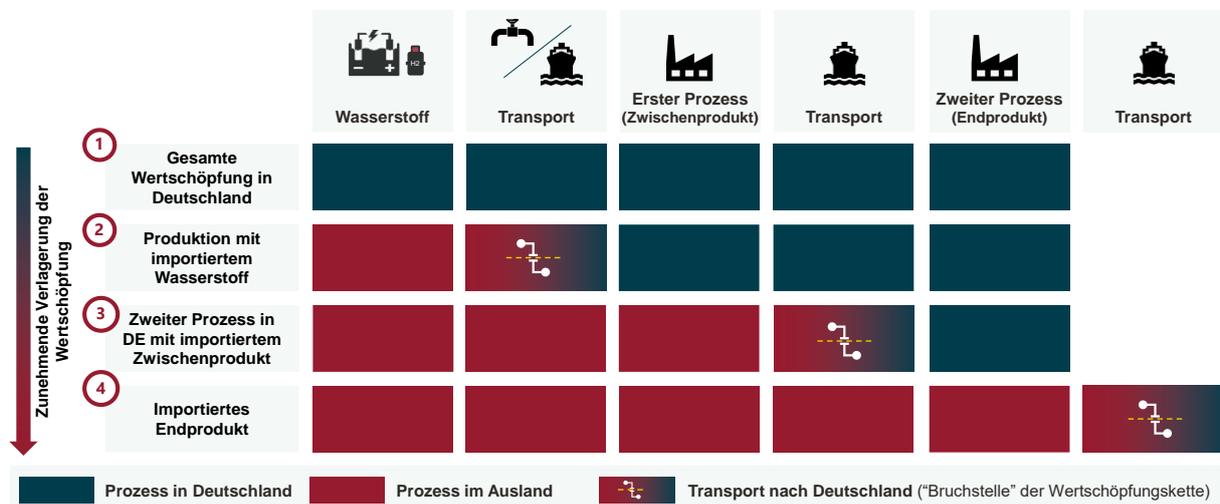
²² Als Proxy für das risikofreie Zinsniveau nutzen wir die 10-jährige deutsche Anleiherendite. Am Stichtag der Analyse am 13.02.2023 lag die Anleiherendite bei 2,4 %.

²³ Auf Basis von Damadoran (2023) berechnen wir dabei zunächst die länderspezifische Eigen- und Fremdkapitalverzinsung und bilden daraus die „weighted average cost of capital“ (WACC). Wir nehmen dabei gleiche Anteile Eigen- und Fremdkapital an (vgl. Damadoran (2023)).

Kostenunterschiede mit der Auslagerung eines bestimmten Teiles der Wertschöpfungskette einhergehen sowie welches Vergleichsland bei einer Auslagerung zu den geringsten Energie- und Transportkosten produzieren kann. Für Deutschland und sieben potenziellen internationalen Standorte vergleichen wir folgende Verlagerungsstufen (siehe Abbildung 3-6):

- ▶ **(1) Keine Verlagerung:** Die gesamte Wertschöpfung inklusive Energieproduktion findet in Deutschland statt.
- ▶ **(2) Verlagerung der Energiegewinnung** (in Form von Wasserstoff): Produktion des Grundstoffs (z. B. Rohstahl) in Deutschland, allerdings mit importiertem Wasserstoff²⁴
- ▶ **(3) Verlagerung des ersten Prozessschrittes:** Import eines Zwischenproduktes (z. B. DRI in der Stahlproduktion), zweiter Schritt der Wertschöpfung (z. B. Stahlherstellung im Elektrolichtbogenofen) in Deutschland
- ▶ **(4) Vollständige Verlagerung:** Import des Endproduktes (z. B. Rohstahl) nach Deutschland

Abbildung 3-6: Vergleich verschiedener Verlagerungsstufen in der Wertschöpfung energieintensiver Grundstoffe



Quelle: Frontier Economics

Der Vergleich der Verlagerungsstufen erfolgt anhand von möglichen „Bruchstellen“ in den jeweiligen Wertschöpfungsketten. Als Bruchstellen bezeichnen wir Stellen in der Wertschöpfungskette, an denen die (vorgelagerte) Produktion verschoben werden kann, die Bruchstelle markiert dann den Übergang zwischen ausländischer und inländischer Produktion. Bruchstellen können sich immer dort ergeben, wo ein Prozess abgeschlossen ist und ein Zwischen- oder Endprodukt nach Deutschland importiert werden kann.

Transportkosten relevant für den Vergleich von Verlagerungsstufen

Zusätzlich zu den Energiekosten berücksichtigen wir im Vergleich der Verlagerungsstufen auch Transportkosten für den Import von Energie bzw. industriellen Vorprodukten. Diese können den Kostenvergleich verschiedener Verlagerungsstufen stark beeinflussen: Eine mögliche „Bruchstelle“ in der Wertschöpfungskette besteht nur dann, wenn das Vorprodukt entsprechend importiert und damit

²⁴ Da sich Strom global schlecht transportieren lässt, betrachten wir keine Verlagerung von Stromgestehung.

transportiert werden kann. Falls der Transport eines Produkts mit erheblichen Kosten verbunden ist, so kann, trotz günstigerer Energie und damit niedrigeren Produktionskosten im Ausland, die heimische Produktion geringere Gesamtkosten benötigen. Umgekehrt heißt das, dass Bruchstellen der Wertschöpfungskette vor allem dort bestehen, wo gut transportierbare (Vor-)Produkte importiert werden können. Der Transport von Energie oder Zwischen-/Endprodukt stellt dabei immer eine mögliche Bruchstelle in der heimischen Wertschöpfungskette dar.

Wir unterscheiden Transportkosten zwischen verschiedenen Produktgruppen, die wie folgt nach Deutschland importiert werden²⁵:

- ▶ **Wasserstoff** via Pipeline²⁶, oder als Ammoniak veredelt per Tanker;
- ▶ **Flüssigkeiten** (wie Methanol) in Tankern; und
- ▶ **Feststoffe** (wie DRI) in Massenguttransportern²⁷.

Transport und Energie bilden die zwei Bestandteile unserer komparativen Kostenanalyse der vier Grundstoffe. Der Vergleich der Kosten für verschiedene Länder und Verlagerungsstufen soll Erkenntnisse hinsichtlich der Zukunft der energieintensiven Industrien in Deutschland liefern:

- ▶ Welche Standorte die besten Bedingungen für die Produktion von grundlastfähiger Energie bieten und welche Faktoren dafür ausschlaggebend sind;
- ▶ Welche Verlagerungsstufen energieintensiver Produktion mit den größten Kostenvorteilen verbunden sind, wo die größten Einsparpotenziale bestehen;
- ▶ Ob sich Energieimporte lohnen, oder ob der Import von energieintensiven Zwischen- oder Endprodukten deutlichere Einsparpotenziale birgt – zum Beispiel, ob aus Kostensicht der Wasserstoff zur Stahlproduktion kommen sollte, oder eher die Stahlproduktion zum Wasserstoff.

Die Ergebnisse der Energiekostenanalyse erläutern wir in Kapitel 5.

3.3 Methodik zur strategischen Reaktion der betroffenen Unternehmen

Aufbauend auf der komparativen Energiekostenanalyse sollen in einem zweiten Schritt Anpassungsreaktionen der betroffenen Unternehmen auf die relativen Preisänderungen ermittelt werden. Zunächst werden die Unterschiede in den Energiekosten in langfristig zu erwartende Preisunterschiede bei energieintensiven Vorleistungsprodukten umgerechnet. Anschließend wird untersucht, wie sich diese Preisunterschiede in den nachgelagerten Bereichen der Industrie in mittelfristigen strategischen Reaktionen niederschlagen. Um die unterschiedlichen, teils nicht quantifizierbaren Faktoren, die bei den Unternehmensreaktionen eine Rolle spielen (Wettbewerbsdruck, Verantwortungsbewusstsein gegenüber den Mitarbeitenden, Einbettung in regionale Strukturen, organisatorische Flexibilität etc.) zu berücksichtigen, werden die Reaktionen auf Grundlage einer Unternehmensbefragung, jedoch nicht anhand eines quantitativen volkswirtschaftlichen Modells abgeschätzt. Dabei ist eine Begrenzung der Komplexität notwendig, die auch Setzungen und Annahmen einschließt. Grundsätzlich geht es nicht um eine exakte Berechnung, sondern um eine Dimensionierung (im Sinne einer Abschätzung der zu

²⁵ Techno-ökonomische Annahmen zu den Transportkosten finden sich in Kapitel 9.1.2.

²⁶ Als Grundlage für verfügbare Pipelinerouten dient die Hydrogen Infrastructure Map (<https://www.h2inframap.eu/>)

²⁷ An sich bestehen auch innerhalb der Gruppe von Feststoffen noch Unterschiede in den Transportkosten.

erwartenden Größenordnung) der Effekte. Die Vorgehensweise wird nachstehend kurz beschrieben und in den betreffenden Kapiteln vertiefend erläutert.

Bestimmung der Preis-Szenarien

Zunächst werden die Unterschiede bei den Energiekosten in Preisunterschiede für energieintensive Vorprodukte transformiert. Dabei wird eine volle Überwälzung unterstellt. Die Preiseffekte werden auf Grundlage von Energiekostenanteilen errechnet, die die betroffenen Branchen heute direkt in ihren Produktionsprozessen oder indirekt über die Energieintensität eingesetzter Vorleistungen zu tragen haben.

Als Ergebnis werden drei Szenarien ausgearbeitet, um mögliche langfristige Preisunterschiede bei energieintensiven Vorleistungen zwischen Deutschland und dem Ausland darzustellen.

- ▶ **Moderater Preisunterschied:** Die Unterschiede zwischen Deutschland und den wichtigsten Wettbewerbsländern werden bei rund 5 Prozent Kostennachteil bei energieintensiven Vorprodukten für Deutschland liegen.
- ▶ **Starker Preisunterschied:** Die Unterschiede werden zwischen 5 und 25 Prozent (im Mittel 15 Prozent) betragen.
- ▶ **Extremer Preisunterschied:** Die Unterschiede werden sich auf 25 Prozent und mehr belaufen.

Identifizierung betroffener Branchen

Auf der Grundlage von Stoffstromanalysen können auf kleinteiliger Ebene entlang der gesamten Wertschöpfungskette Produktklassen identifiziert werden, in denen die genannten Grundstoffe Stahl, Aluminium, Ammoniak und High Value Chemicals, enthalten sind. Somit wird auch die Verwendung dieser Grundstoffe in den Downstream-Bereichen der Industrie berücksichtigt. Den betroffenen Produkten werden Produktionswert-, Wertschöpfungs- und Beschäftigungsdaten zugeordnet. Aggregiert man diese wirtschaftlichen Kennzahlen auf Branchenebene, kann der Anteil der von der Energiepreisentwicklung betroffenen Teile der Wirtschaftszweige bestimmt werden.

In der Befragung werden Unternehmen aller der auf diese Weise identifizierten betroffenen Branchen berücksichtigt. Ergebnisse der besonders betroffenen Branchen werden als sogenannte „Fokusbranchen“ im weiteren Studienverlauf gesondert ausgewertet:

- ▶ Chemieindustrie (WZ 20)
- ▶ Kunststoffindustrie (WZ 22)
- ▶ Metallerzeugung (WZ 24)
- ▶ Metallerzeugnisse (WZ 25)
- ▶ Maschinenbau und Elektroindustrie (WZ 26-28)
- ▶ Fahrzeugindustrie (WZ 29-30)

Zusätzlich werden die leicht betroffenen Wirtschaftszweige der Textilindustrie (WZ 13-15), der Pharmaindustrie (WZ 22), der Möbel- und sonstigen Waren (WZ 31-32), der Kokerei (WZ 19) und der Druckerezeugnisse (WZ 18) zusammengefasst unter dem Posten „Sonstige Industrie“ berücksichtigt.

Dabei soll darauf hingewiesen werden, dass die Studie nicht alle Branchen einbezieht, die energieintensiv sind oder energieintensive Vorprodukte einsetzen. Die Studie ist auf die Branche beschränkt, die die vier Fokusgrundstoffe im maßgeblichen Umfang einsetzen. Unberücksichtigt bleiben daher beispielsweise die Papier- und Glasindustrie oder die Zementherstellung.

Datenerhebung

Im Rahmen einer Telefonbefragung mit insgesamt 145 Teilnehmern haben Unternehmen aus den betroffenen Branchen Angaben zu möglichen mittelfristigen strategischen Anpassungsreaktionen auf unterschiedliche Preisentwicklungen (genauer: Unterschiede zu wichtigen Wettbewerbsländern) gemacht. Dabei stehen folgende Kerndaten im Blickpunkt:

- ▶ **Strategische Anpassungsreaktion:** Es wird unterschieden zwischen den strategischen Anpassungsreaktionen Puffern (d. h. Preiseffekte können entweder weitergegeben oder durch andere Maßnahmen ausgeglichen werden), Verlagerung der Vorleistungskäufe ins Ausland, Verlagerung von Produktion ins Ausland oder Aufgabe der Produktion.
- ▶ **Ausmaß der Anpassung:** Die Unternehmen haben Angaben darüber gemacht, in welchem Ausmaß sie Vorleistungskäufe ins Ausland verschieben oder Inlandsproduktion aufgeben. Diese Dimensionierung der Effekte erfolgt zweistufig: Zunächst haben die Unternehmen angegeben, welcher Anteil der Vorleistungskäufe und der Produktion durch die Änderung der Energiepreise gefährdet ist. In einem zweiten Schritt wurde für jedes der drei Szenarien die Wahrscheinlichkeit abgeschätzt, dass Vorleistungskäufe und Produktion im Inland reduziert werden. Das Ergebnis ist eine wahrscheinlichkeitsgewichtete Anpassungsreaktion, die je nach betrachtetem Preis-Szenario unterschiedlich ausfällt.

Um zusätzliche Fachkenntnisse und Einblicke zu gewinnen, wurden ergänzend zur Unternehmensbefragung gut 20 Expertengespräche mit Vertretern aus Unternehmen sowie aus Branchen- und Wirtschaftsverbänden geführt. Die Gespräche dienen dazu, betroffene Bereiche in der Wertschöpfungskette zu identifizieren, die Ergebnisse aus der Unternehmensumfrage zu validieren und mögliche Handlungsoptionen und deren Folgen einzuschätzen.

3.4 Methodik zur Dimensionierung der gesamtwirtschaftlichen Effekte

In einem abschließenden Schritt sollen volkswirtschaftliche Effekte abschätzend dimensioniert werden, die sich aus den zuvor ermittelten Unternehmensreaktionen ergeben. Dabei wird zunächst eingeschätzt, welchen Anteil die betroffenen Unternehmen in ihren jeweiligen übergeordneten Branchen haben und wie sich ihre Reaktionen direkt auf diese Wirtschaftszweige auswirken. Zusätzlich wird berechnet, welche Effekte sich indirekt in der vorgelagerten Wertschöpfungskette der betroffenen Wirtschaftsbereiche ergeben. Zusätzlich zu den quantifizierbaren negativen Auswirkungen entlang der Wertschöpfungskette werden weitere, sogenannte „katalytische“ Effekte qualitativ diskutiert, die als sekundäre Folgen einer geschwächten Wirtschaftsstruktur auftreten können. Nachfolgend werden die einzelnen Aspekte der wirtschaftlichen Reaktionen kurz beschrieben – in den entsprechenden Kapiteln folgt eine detailliertere Erläuterung.

Direkte Effekte

Zur Berechnung der direkten Effekte in der Wertschöpfungskette werden die bisherigen Ergebnisse verknüpft. Zunächst wird ermittelt, welche Teile der Wirtschaft die Grundlage für die Anwendung der in der Befragung ermittelten Unternehmensreaktionen bilden. Es wird also eingeschätzt, welcher Anteil der jeweiligen Branchen von den Preisänderungen der energieintensiven Vorleistungen betroffen wäre.

Hierfür können Informationen aus zwei verschiedenen Quellen verwendet werden:

- ▶ Aus der Stoffstromanalyse sind die Anteile an den Produktionswerten, der Wertschöpfung und der Beschäftigten in den einzelnen Branchen bekannt, die energieintensive Vorprodukte einsetzen.
- ▶ Aus der Unternehmensbefragung ist der Anteil der Unternehmen je Branche bekannt, die angegeben haben, keine oder kaum energieintensive Vorleistungen zu beziehen.

Um den Anteil der von der Energiepreisentwicklung betroffenen Wirtschaftsbereiche je Branche zu bestimmen, wird der Mittelwert der beiden Werte verwendet. Damit sind die potenziell von den Energieentwicklungen betroffenen Teile der Branchen bestimmt. Diese werden daraufhin mit den Wahrscheinlichkeitsgewichteten Anpassungsreaktionen aus der Befragung multipliziert, um die direkten Effekte zu bestimmen. Basieren in einer Branche 80 Prozent des Produktionswerts auf energieintensiven Vorprodukten und geben die betroffenen Unternehmen dieser Branche an, ihre Inlandsproduktion um 10 Prozent zu verringern, beträgt der direkte Effekt der Branche somit 8 Prozent ($= 100 * (0,8 * 0,1)$). Die Effekte werden für die drei oben genannten Preis-Szenarien getrennt gerechnet.

Importeffekte

Vorleistungsimporteffekte (kurz: Importeffekte) sind diejenigen Effekte, die sich daraus ergeben, dass Unternehmen verstärkt energieintensive Vorprodukte aus dem Ausland beziehen. Dabei wird zunächst der Verlust an Produktionswert ermittelt, der entstehen würde, wenn sich nur die Vorleistungsstruktur aufgrund eines erhöhten Auslandsbezugs ändern würde, die Produktion ansonsten aber auf dem gleichen Niveau bliebe. Die Importeffekte werden in Kapitel 7.2 dargestellt.

Die direkten Effekte und die Importeffekte sind nicht unabhängig und es gibt teilweise Überschneidungen:

- ▶ Die absoluten Änderungen durch die verringerten Vorleistungsbezüge aus dem Inland (Importeffekte) hängen davon ab, wie hoch der Verlust in den direkten Effekten ist. Die Produktion in einzelnen deutschen Branchen geht zurück (Verlagerung ins Ausland oder Aufgabe), was generell schon einmal eine geringere Nachfrage aller nötigen Vorleistungsbezüge zur Folge hat. Zusätzlich ändert sich die Vorleistungsstruktur der Branchen, da zusätzlich spezifisch die energieintensiven Vorprodukte vermehrt aus dem Ausland bezogen werden. Wie viel Produktion durch diesen Importeffekt in den energieintensiven Vorleistungsbranchen verloren geht hängt also davon ab, auf welchem Ausgangsniveau sich die Produktion der Abnehmerbranchen befindet.
- ▶ Die Auswirkungen der direkten Effekte und der Importeffekte überschneiden sich teilweise. Wenn eine Branche direkt von Aufgabe oder Verlagerung ins Ausland betroffen ist (direkter Effekt durch Aufgabe oder Auslandsverlagerung) und dieselbe Branche zusätzlich weniger Vorleistungen an eine Branche absetzen kann (Importeffekte), dann werden die beiden Effekte nicht addiert. Vielmehr wird angenommen, dass der größere der beiden Effekte gelte. Der Produktionsrückgang in der Branche hat in diesem Fall mehrere (modelltheoretische) Ursachen (die eigene Produktion kann bei den erhöhten Preisen nicht aufrechterhalten werden und die eigenen Produkte können zu erhöhten Preisen nicht mehr abgesetzt werden), die aber zu demselben Ergebnis führen und nicht addiert werden sollten.

Derartige Berechnungen zur Überschneidung der beiden Effekte können Doppelzählungen bei der Ermittlung der Gesamteffekte verhindern.

Indirekte Effekte

Die Anstoßeffekte (Erhöhung der Vorleistungen aus dem Ausland, Verlagerung der Produktion ins Ausland und/oder Aufgabe der Inlandsproduktion) werden für die einzelnen Industriebranchen in Input-Output-Tabellen (IOT) implementiert, um die daraus resultierenden indirekten Effekte in der Wertschöpfungskette zu berechnen. Die indirekten Effekte messen die Auswirkungen in denjenigen Wirtschaftsbereichen, die Vorleistungen an die direkt betroffenen Branchen liefern und durch diese Wirtschaftsverflechtungen indirekt von einem Rückgang der Produktion dort betroffen sind.

Input-Output-Tabellen stellen die wirtschaftlichen Verflechtungen zwischen den Branchen eines Landes dar. Sie bieten die Möglichkeit, die vorangehende Wertschöpfungskette eines Wirtschaftszweiges zu quantifizieren. Dabei können neben den direkten Vorleistungen einer Branche (beispielsweise dem Motor für den Bau eines Fahrzeugs) auch die Verarbeitungsschritte davor berücksichtigt werden (beispielsweise Kolben für diesen Motor).

Bei der Modellierung der negativen indirekten Effekte in den Vorleistungsbranchen werden insbesondere folgende Punkte berücksichtigt:

- ▶ Es werden alle vorgelagerten Wertschöpfungsschritte in die Berechnungen mit einbezogen. Reduziert die Automobilindustrie ihre Produktion in Deutschland, werden auch die Finanzdienstleister betroffen sein, die sich auf den Automobilssektor spezialisiert haben. Die negativen Effekte in diesem Wirtschaftszweig werden in den Rechnungen ebenso berücksichtigt wie z. B. die verringerte Produktion von Büromaterial für die Finanzdienstleister.
- ▶ Es werden keine Effekte doppelt berücksichtigt. Beispielsweise ruft eine verringerte Produktion im Automobilssektor auch einen Rückgang der wirtschaftlichen Aktivitäten in der Branche der Metallherzeugnisse hervor. Wird aber bereits im direkten Effekt ein Rückgang der Produktion von Metallherzeugnissen festgestellt, werden (je nach Größe des Effekts und der Vorleistungsintensität zwischen den beiden Branchen) im indirekten Effekt keine weiteren Rückgänge in dieser Branche modelliert.
- ▶ Es wird die veränderte Vorleistungsstruktur berücksichtigt, die sich dadurch ergibt, dass Unternehmen energieintensive Vorleistungen verstärkt aus dem Ausland beziehen. Die Informationen zu den veränderten Vorleistungsbezügen werden aus den Angaben gezogen, die die betroffenen Unternehmen in der Befragung gemacht haben.

Auch die indirekten Effekte werden für alle drei Preis-Szenarien getrennt berechnet.

Katalytische Effekte

In den Input-Output-Analysen werden die Effekte berücksichtigt, die dem Verhalten der Akteure direkt zurechenbar sind. Darüber hinaus gibt es aber auch katalytische Effekte. Das sind Anpassungsreaktionen, die eher „im Schatten eines realen Phänomens“ zu beobachten sind, obwohl es eine ursächliche Verbindung gibt. Ein Beispiel dafür sind Flughafenregionen, die besonders humankapitalintensive Unternehmen anziehen, obwohl diese zu dem Flughafen keinerlei Geschäftsbeziehungen haben. Solche katalytischen Effekte sind auch bei Veränderungen von Wertschöpfungsstrukturen zu erwarten.

4 Energieintensive Industrien

Auf Basis der vier energieintensiven Grundstoffe Stahl, Aluminium, Ammoniak und Olefine stehen sechs besonders standortrelevante Branchen im Fokus der Studie.

Bevor die komparativen Energiekosten abgeschätzt, die strategischen Anpassungsreaktionen der Unternehmen skizziert und die daraus ableitbaren wirtschaftlichen Effekte dimensioniert werden, erfolgt in diesem Kapitel zunächst die Auswahl der im Zentrum der Betrachtung stehenden vier Grundstoffe (Stahl, Aluminium, Ammoniak und hochwertige Chemikalien, d. h. Alkene/Olefine) sowie der damit eng verwobenen Fokusbranchen (Metallerzeugung, Metallerzeugnisse, Fahrzeugbau, Kunststoffindustrie, Maschinenbau und Elektroindustrie sowie Chemie).

4.1 Grundstoffe und Klimaneutralität

In den folgenden Passagen wird zunächst die Bedeutung der Grundstoffindustrie in Deutschland dargestellt, vor dem Hintergrund der Treibhausgasemissionen betrachtet und in den internationalen Zusammenhang eingebettet.

4.1.1 Bedeutung der Grundstoffindustrien in Deutschland

Grundstoffindustrien als Produzent von Vorprodukten für Investitions- und Konsumgüterbranchen

Zu den Grundstoffindustrien lassen sich jene Industriezweige zählen, die aus Rohstoffen (also den Fokusgrundstoffen) oder gering weiterverarbeitenden Produkten Güter als Vorprodukte für die weitere industrielle Verarbeitung erzeugen. Die Grundstoffindustrien sind in diesem Sinne von Industrien zu unterscheiden, die Investitions- oder Konsumgüter herstellen. In der Regel sind die Verarbeitungsschritte in den Grundstoffindustrien durch einen hohen Material- und Energieeinsatz gekennzeichnet.

Grundsätzlich lassen sich zu den Grundstoffindustrien so die Herstellung von Eisen- und Nichteisenmetallen, von chemischen Grundstoffen, von Papier und Pappe sowie von Glas, Keramik und Zement zählen. Während der Anteil der Energiekosten am Bruttoproduktionswert im Jahr 2020 im Durchschnitt des Verarbeitenden Gewerbes bei rund 1,6 Prozent liegt, ergeben sich für die genannten Wirtschaftszweige Energiekostenanteile zwischen 3,3 Prozent (WZ 20, Chemieindustrie) und 4,9 Prozent (WZ 23, Herstellung von Glas, -waren, Keramik sowie Verarbeitung von Steinen und Erden; WZ 24 Metallerzeugung und -bearbeitung)²⁸.

²⁸ Vgl. Destatis (2023): Kostenstruktur der Unternehmen im Verarbeitenden Gewerbe. Tabelle 42251. <https://www-genesis.destatis.de/>

Eine einheitliche statistische Definition, die sich gleichzeitig an der Klassifikation der Wirtschaftszweige auf aggregierter Ebene (Wirtschaftszweige, Zweisteller) orientiert ist nicht bekannt.

Ökonomische Bedeutung der Grundstoffindustrien seit Jahren sinkend

Zu den energieintensiven Grundstoffindustrien gehören grundsätzlich die Wirtschaftszweige

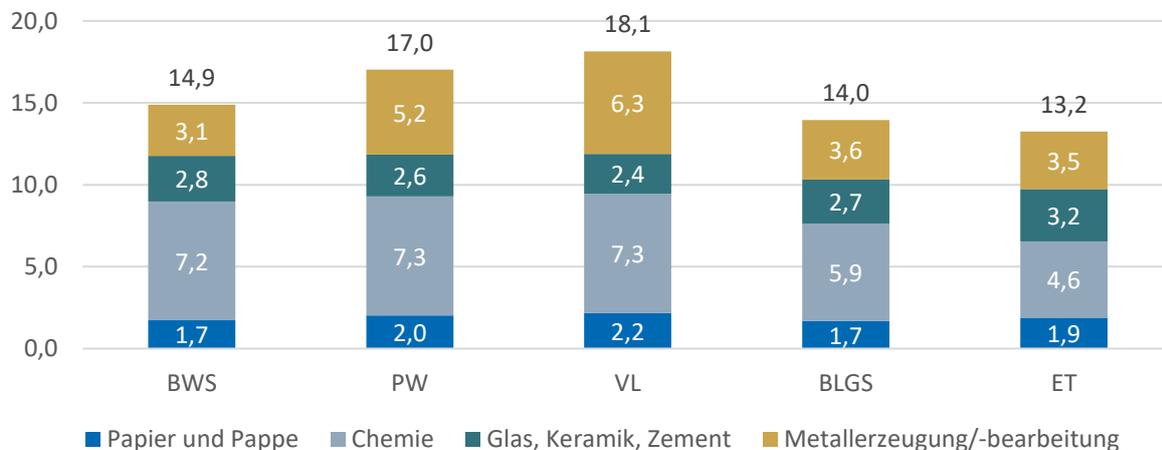
- ▶ Herstellung von Papier, Pappe und Waren daraus (WZ 17)
- ▶ Herstellung von chemischen Erzeugnissen (WZ 20)
- ▶ Herstellung von Glas,-waren, Keramik sowie die Verarbeitung von Steinen und Erden (WZ 23)²⁹
- ▶ Metallerzeugung und -bearbeitung (WZ 24)

Anteil an Bruttowertschöpfung, Produktion und Beschäftigung

Insbesondere der chemischen Grundstoffindustrie kommt eine hohe Bedeutung zu. Ihre Anteile bezogen auf das Verarbeitende Gewerbe an Bruttowertschöpfung (BWS), Produktion (PW) und Vorleistungen (VL) liegen deutlich über den anderen Grundstoffindustrien. Allerdings ist aufgrund des hohen Integrationsgrades in der Produktion hier auch schon ein höherer Anteil der Weiterverarbeitung enthalten. Eine ähnlich hohe Bedeutung kommt der Metallerzeugung und -bearbeitung zu.

Abbildung 4-1: Ökonomische Bedeutung der energieintensiven Wirtschaftszweige 2016-2020

Anteile der vier energieintensiven Wirtschaftszweige am Verarbeitenden Gewerbe (ausgewählte volkswirtschaftliche Kennziffern)



BWS: Bruttowertschöpfung; PW: Produktionswert; VL: Vorleistungen; BLGS: Bruttolohn- und -gehaltssumme; ET: Erwerbstätige

Quellen: Destatis (2023)³⁰, eigene Berechnungen IW Consult (2023)

²⁹ Dieser Wirtschaftszweig umfasst auch die Herstellung von Zement.

³⁰ Vgl. Destatis (2023): Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen. Inlandsproduktberechnung. Detaillierte Jahresergebnisse. Fachserie 18, Reihe 1.4.

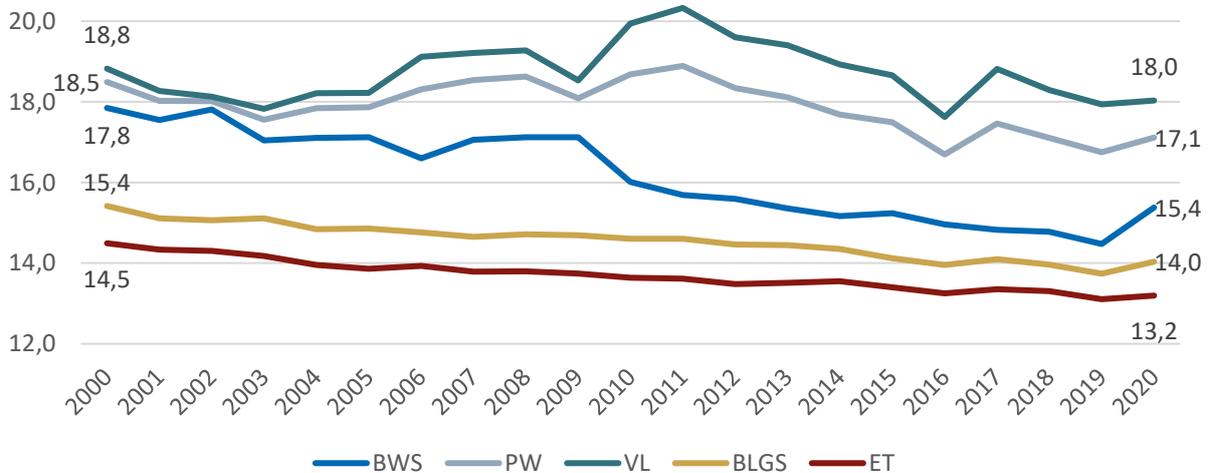
Entwicklung seit 2000

Die ökonomische Bedeutung der Grundstoffindustrien in Deutschland hat jedoch in der Zeitbetrachtung seit dem Jahr 2000 nachgelassen. So sind die Anteile am gesamten verarbeitenden Gewerbe über die Zeit stetig zurückgegangen, demgemäß haben sich also andere Wirtschaftszweige im Vergleich besser entwickelt.

So ist der Anteil am Produktionswert (PW) im Zeitraum der Jahre 2000 bis 2020 um 1,4 Prozentpunkte (und damit fast zehn Prozent) gesunken. In demselben Zeitraum fiel der Anteil an der Bruttowertschöpfung (BWS) um 2,4 Prozentpunkte (zum Jahr 2019 sogar um 3,3 Prozentpunkte). Zwar war das Jahr 2020 durch eine besonders schlechte Konjunktur in den anderen Industriebranchen gekennzeichnet, jedoch hängt die kontinuierlich wachsende Kluft zwischen dem Anteil am Produktionswert und dem Anteil an der Bruttowertschöpfung mit den höheren und weniger stark rückläufigen Anteilen an den Vorleistungen (VL) zusammen. Insgesamt ist der Anteil der energieintensiven Wirtschaftszweige von 3,9 Prozent (im Betrachtungszeitraum der Jahre 2000 bis 2004) auf 3,3 Prozent (im Betrachtungszeitraum der Jahre 2016 bis 2020) zurückgegangen. Die geringeren Anteile an der Bruttolohn- und Gehaltssumme (BLGS) sowie den Erwerbstätigen (ET) verdeutlichen die hohe Kapital- und Energieintensität der energieintensiven Industrien.

Abbildung 4-2: Ökonomische Bedeutung der energieintensiven Wirtschaftszweige im Zeitverlauf

Anteile der vier energieintensiven Wirtschaftszweige am Verarbeitenden Gewerbe 2000-2020 (in Prozent)



BWS: Bruttowertschöpfung; PW: Produktionswert; VL: Vorleistungen; BLGS: Bruttolohn- und -gehaltssumme; ET: Erwerbstätige

Quellen: Destatis (2023)³¹, eigene Berechnungen IW Consult (2023)

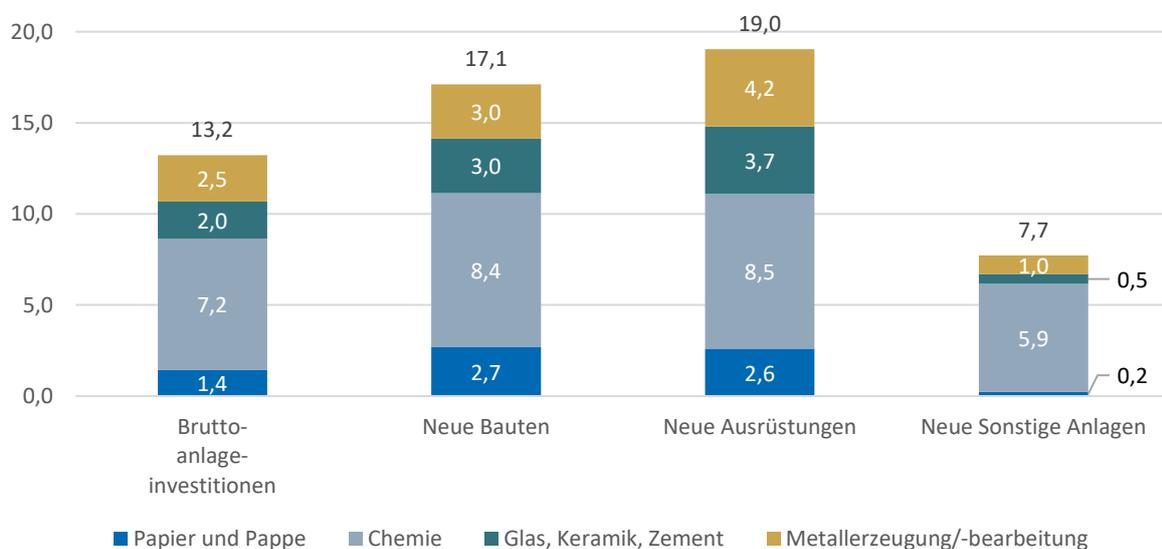
³¹ Vgl. Destatis (2023): Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen. Inlandsproduktberechnung. Detaillierte Jahresergebnisse. Fachserie 18, Reihe 1.4.

Chemie und Metallherzeugung sind besonders investitionsintensiv

Die hohe relative Bedeutung von Chemie und Metallherzeugung/-bearbeitung manifestiert sich auch bei Betrachtung der Investitionen, hier für den Zeitraum der Jahre 2016 bis 2020. So werden in der Chemie nicht nur die höchsten Bruttoanlageinvestitionen getätigt, sondern im Vergleich auch besonders viele neue Bauten errichtet sowie neue Ausrüstungen realisiert und insbesondere neue sonstige Anlagen aufgebaut. Die Branche der Metallherzeugung/-bearbeitung liegt bezüglich dieser vier Kriterien zur Messung der Investitionsintensität deutlich hinter der Chemieindustrie, aber wiederum klar vor den anderen Grundstoffindustrien Papier/Pappe und Glas/Keramik/Zement.

Abbildung 4-3: Bedeutung der energieintensiven Wirtschaftszweige für die Investitionen 2016-2020

Anteile der vier energieintensiven Wirtschaftszweige an den Investitionen des Verarbeitenden Gewerbes



Quellen: Destatis (2023)³², eigene Berechnungen IW Consult (2023)

Die geringere Entwicklungsdynamik der energieintensiven Wirtschaftszweige in Deutschland wird auch deutlich, wenn man den zeitlichen Verlauf der Investitionsneigung betrachtet (Abbildung 4-4). Die jährlichen Bruttoanlageinvestitionen sind gesamtwirtschaftlich und im Verarbeitenden Gewerbe seit dem Jahr 2000 deutlich schneller gewachsen als in den energieintensiven Wirtschaftszweigen. Sie lagen im Jahr 2020 rund 52 Prozent (alle Wirtschaftsbereiche) und 48 Prozent (Verarbeitendes Gewerbe) über dem Wert des Jahres 2000. Die energieintensiven Wirtschaftszweige – Papier/Pappe (-5 Prozent), Chemie (+18 Prozent), (Glas/Keramik/Zement (+10 Prozent), Metallherzeugung/-bearbeitung (-8 Prozent) – erreichen nur deutlich geringere Werte. Zwar ist der Investitionsrückgang im Jahr 2020 in drei der vier energieintensiven Branchen besonders ausgeprägt. Qualitativ zeigt sich für die Jahre davor ein ähnliches Bild.

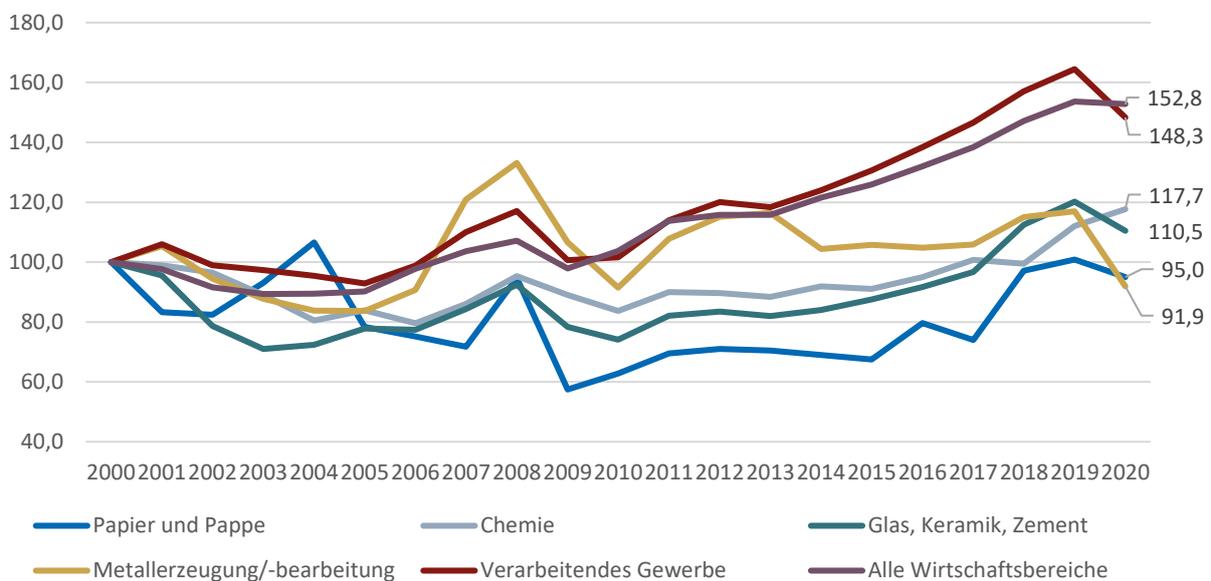
³²Vgl. Destatis (2023): Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen. Inlandsproduktberechnung. Detaillierte Jahresergebnisse. Fachserie 18, Reihe 1.4.

Der skizzierte zeitliche („zackige“) Verlauf der Bruttoanlageinvestitionen verdeutlicht darüber hinaus einige spezifische Besonderheiten der energieintensiven Grundstoffindustrien:

- ▶ Erstens basiert die Produktionstätigkeit auf Großanlagen. Neu- oder Erweiterungsinvestitionen in Großanlagen sind regelmäßig umfangreich, so dass sich Ausschläge im zeitlichen Verlauf auch darauf zurückführen lassen.
- ▶ Zweitens erfolgen Anlageinvestitionen in Zyklen, ein Zeitraum umfangreicher Investitionen zieht dann längere Nutzungs- bzw. Abschreibungszeiträume nach sich, in denen keine umfangreichen Investitionen getätigt werden.
- ▶ Drittens erfolgen mit den in vergleichsweise großen Zeitabständen durchgeführten Anlageinvestitionen nicht nur Anpassungen der Produktionskapazität, sondern auch technologische Modernisierungen und damit einhergehende Effizienz- und Produktivitätserhöhungen.

Abbildung 4-4: Investitionsentwicklung nach Wirtschaftszweigen

Entwicklung der Bruttoanlageinvestitionen in den vier energieintensiven Wirtschaftszweigen, dem Verarbeitenden Gewerbe und allen Wirtschaftsbereichen. Index (2000 = 100).



Quellen: Destatis (2023)³³, eigene Berechnungen IW Consult (2023)

Energieintensive Wirtschaftszweige mit Löwenanteil bei Treibhausgasemissionen

Die vier energieintensiven Wirtschaftszweige emittieren einen großen Anteil der THG-Emissionen des Verarbeitenden Gewerbes (Abbildung 4-5). In der Summe kamen die vier Wirtschaftszweige im Jahr 2020 auf einen Anteil von fast zwei Dritteln der THG-Emissionen des Verarbeitenden Gewerbes. Gegenüber dem Jahr 2000 (gemeinsamer Anteil: 70 Prozent) stellt dies allerdings einen Rückgang dar. Der Anteil des gesamten Verarbeitenden Gewerbes an den THG-Emissionen aller Wirtschaftsbereiche

³³ Vgl. Destatis (2023): Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen. Inlandsproduktberechnung. Detaillierte Jahresergebnisse. Fachserie 18, Reihe 1.4.

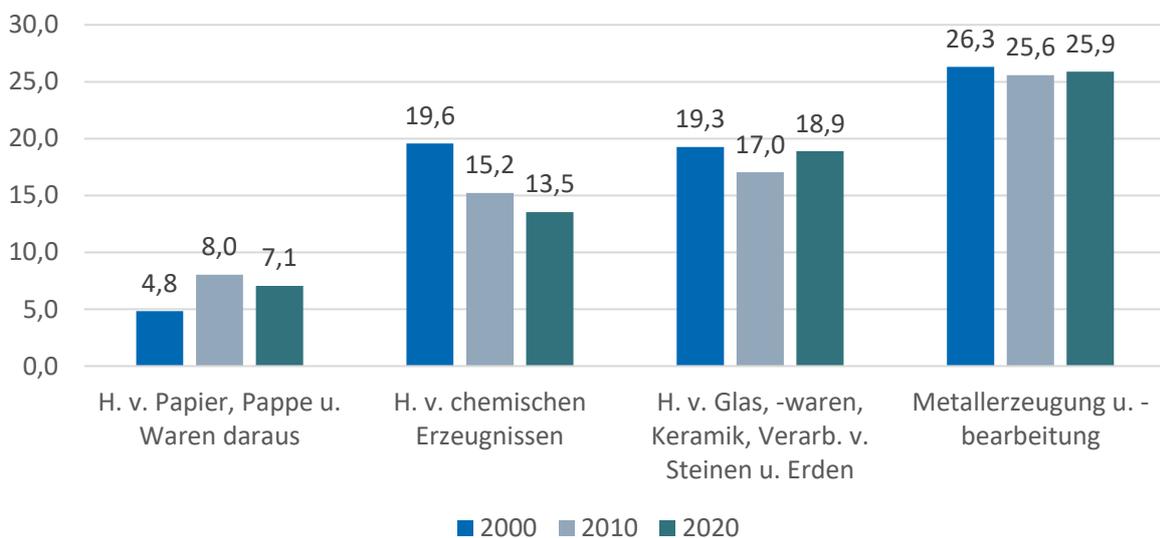
lag im Jahr 2020 bei rund 31 Prozent, rund 5 Prozentpunkte über seinem Anteil im Jahr 2010 und 3,6 Prozentpunkte über seinem Anteil im Jahr 2000.

Im Vergleich zum Jahr 2000 ging bis zum Jahr 2020 nur in der Chemieindustrie der Anteil der THG-Emission am Verarbeitenden Gewerbe deutlich zurück. Die hohe Konstanz der Anteile über den Vergleichszeitraum in den anderen Wirtschaftszweigen verdeckt die tatsächlichen Emissionsreduktionen, die in den Unternehmen geleistet wurden.

Gegenüber der Jahr 2000 nahmen die THG-Emissionen in der Metallerzeugung und -bearbeitung und in der Herstellung von Glas, -waren, Keramik sowie Verarbeitung von Steinen und Erden um jeweils rund 15 Prozent ab. Dieser Rückgang ist etwas größer als der im gesamten Verarbeitenden Gewerbe (-13 Prozent). In der Chemieindustrie war der Rückgang mit rund -40 Prozent aber deutlich ausgeprägter, während in der Herstellung von Papier, Pappe und Waren daraus die THG-Emissionen sogar um rund 27 Prozent zunahmen.

Abbildung 4-5: Anteil energieintensiver Wirtschaftszweige an den THG-Emissionen

Anteile der vier energieintensiven Wirtschaftszweige bezogen auf die THG-Emissionen des Verarbeitenden Gewerbes 2000, 2010, 2020 (in Prozent)



Nachrichtlich: Anteile des Verarbeitenden Gewerbes an den gesamtwirtschaftlichen THG-Emissionen: 27,3 Prozent (2000); 26,0 Prozent (2010); 30,9 Prozent (2020).

Quellen: Destatis (2022, 2023)³⁴, eigene Berechnungen IW Consult (2023)

Die Höhe der THG-Emissionen ist in diesen Industrien mit der wirtschaftlichen Leistung verbunden. Betrachtet man die Emissionsintensität (also das Verhältnis von THG-Emissionen zur Bruttowertschöpfung) der Grundstoffproduktion in Deutschland zeigt sich ein ähnliches Bild für die vier energieintensiven Wirtschaftszweige.

³⁴Vgl. Destatis (2023): Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen. Inlandsproduktberechnung. Detaillierte Jahresergebnisse. Fachserie 18, Reihe 1.4. Destatis (2022): Umweltökonomische Gesamtrechnungen. Anthropogene Luftemissionen – 2000 bis 2020.

Die Emissionsintensität

- ▶ nahm in der Herstellung von Papier, Pappe und Waren daraus um rund 8 Prozent zu,
- ▶ sank in der Chemieindustrie um rund 58 Prozent,
- ▶ sank in der Herstellung von Glas, -waren, Keramik sowie Verarbeitung von Steinen und Erden um rund 27 Prozent und
- ▶ nahm in der Metallerzeugung und -bearbeitung um rund 20 Prozent ab.

Es wurde also in drei der vier Wirtschaftszweigen eine höhere nominelle BWS mit weniger THG-Emissionen erbracht. Nur in der Chemieindustrie nahm aber die THG-Emissionsintensität stärker ab als im gesamten Verarbeitenden Gewerbe. Dort sank die Emissionsintensität im gleichen Zeitraum um rund 41 Prozent.

Für die Dekarbonisierung der Volkswirtschaft ist es zentral, auch eine treibhausgasneutrale Industrie zu etablieren. Die Betrachtung der THG-Emissionen der vier energieintensiven Grundstoff-Industrien untermauert die Bedeutung dieser Branchen – und hier insbesondere der Branchen Chemie und Metallerzeugung – für die Entwicklung hin zu einer THG-neutralen Industrie und Volkswirtschaft.

4.1.2 Roadmaps und Ziele auf dem Weg zur Klimaneutralität

Globales Klimaschutzabkommen als Rahmen für spezifische Roadmaps

Um die Folgen des Klimawandels abzumildern (d. h. insbesondere die Erderwärmung bis zum Jahr 2045 auf deutlich unter 2 Grad zu begrenzen) und die Fähigkeit zur Anpassung an den Klimawandel zu stärken, einigten sich im Rahmen der UN-Klimakonferenz 2015 in Paris 197 Staaten auf ein neues, globales Klimaschutzabkommen.³⁵ In Deutschland ratifiziert wurde das Abkommen dann im Jahr 2016, damit verpflichtete man sich zur Umsetzung des im Rahmen des Abkommens festgelegten anspruchsvollen Klimaregimes sowie der damit verbundenen völkerrechtlichen Pflichten. Insbesondere sieht das Klimaschutzabkommen vor, dass der weltweite Scheitelpunkt der Treibhausgasemissionen so schnell wie möglich erreicht sowie in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts ein Gleichgewicht zwischen Treibhausgasemissionen und Senken umgesetzt wird.

Zur Erreichung dieser Ziele sind die Unterzeichnerstaaten angehalten, die dazu notwendigen Maßnahmen individuell selbst festzulegen. Zur Umsetzung des Pariser Klimaschutzabkommens hat die Europäische Union im Jahr 2019 den sogenannten EU Green Deal beschlossen. Insbesondere verpflichten sich die EU-Mitgliedsländer, Europa bis zum Jahr 2050 klimaneutral zu machen und bis zum Jahr 2030 mindestens 55 Prozent der Emissionen gegenüber dem Referenzjahr 1990 einzusparen.³⁶

Exkurs: Klimaschutzziele in den USA und China

Die USA und China sind gemeinsam für mehr als 40 Prozent der weltweiten Treibhausgasemissionen verantwortlich.³⁷ Beiden Ländern kommt daher eine große Bedeutung beim Klimaschutz zu, da die dort getroffenen Maßnahmen hohe Hebeleffekte vermuten lassen.

³⁵ Mittlerweile haben 189 Staaten des Abkommen ratifiziert; vgl. BMWK (2023a).

³⁶ Vgl. Europäische Kommission (2023).

³⁷ Vgl. Süddeutsche Zeitung (2022).

Die USA wollen bis zum Jahr 2030 ihre Treibhausgasmissionen um 50 Prozent unter das Niveau von 2005 senken. Unter der aktuellen Biden-Administration wurden dort mit dem Infrastrukturgesetz und dem Gesetz zur Reduzierung der Inflation (Inflation Reduction Act, IRA) zwei Gesetzgebungen verabschiedet, die zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen beitragen sollen. Dabei liegt der Fokus darauf, die Entwicklung und Umsetzung umweltfreundlicher Technologien zu unterstützen. Insbesondere sollen im Rahmen des IRA knapp 370 Milliarden US-Dollar mobilisiert werden, um saubere Energietechnologien zu unterstützen. Im Vergleich zu den EU-Ländern, die insbesondere auf den marktwirtschaftlichen Steuerungsimpuls durch den Zertifikatehandel setzen, stehen in den USA hingegen Steuererleichterungen und Zuschüsse für solche Unternehmen im Vordergrund, die sich mit erneuerbaren Energien beschäftigen.

China ist der weltgrößte Emittent von klimaschädlichen Treibhausgasen. Auf der UN-Vollversammlung im September 2020 verkündete China, bis spätestens zum Jahr 2030 die Spitze der Treibhausgasemissionen erreichen und dann bis zum Jahr 2060 klimaneutral werden zu wollen.³⁸ Die Klimaschutzvorgaben werden in China weniger als Gesetzesvorgaben konkretisiert, sondern eher in Form von nationalen Strategien, Fünfjahres- und Aktionsplänen.³⁹ Innerhalb dieses Rahmens verfolgt man ein breites Spektrum verschiedener Maßnahmen, u.a. die schrittweise Anhebung industriespezifischer Energieeffizienzstandards vor allem für energieintensive Branchen sowie einen Subventionsplan für Kraftfahrzeuge mit alternativem Antrieb.

Verankerung in nationales Recht in Deutschland

In Deutschland wurde die gesetzliche Verankerung der Ziele in nationales Recht (Klimaschutzgesetz, im August 2021 in Kraft getreten) nach einem Urteil des Bundesverfassungsgerichtes noch einmal verschärft und auf eine Reduzierung der Treibhausgasemissionen von 65 Prozent (im Vergleich mit dem Referenzjahr 1990) bis zum Jahr 2030 sowie eine Treibhausgasneutralität bis zum Jahr 2045 festgelegt. Auf dem Weg dorthin sieht das Klimaschutzgesetz ein regelmäßiges Monitoring vor, in dem ein Expertenrat für Klimafragen alle zwei Jahre ein Gutachten über die bis dato erreichten Ziele, Maßnahmen und Trends vorliegt und damit eine Grundlage für Nachsteuerungsmaßnahmen legt.⁴⁰

Das Klimaschutzgesetz setzt somit den Rahmen zur darauf ausgerichteten Modernisierung der deutschen Volkswirtschaft und gibt grundlegende Leitlinien sowie konkrete Ziele vor. Diese ambitionierten gesetzlichen Vorgaben erfordern in der Umsetzung jedoch beträchtliche Anstrengungen in den einzelnen Wirtschaftssektoren und damit sowohl in der Energiewirtschaft (für ca. 34 Prozent der Treibhausgasemissionen verantwortlich), der Industrie (ca. 22 Prozent), dem Gebäudebereich (ca. 20 Prozent), dem Verkehr (ca. 15 Prozent) als auch der Landwirtschaft (ca. 8 Prozent).⁴¹

Im Industriesektor entstehen Treibhausgase sowohl direkt energiebedingt (d. h. aus der Verwendung fossiler Brennstoffe zur Energieerzeugung), indirekt energiebedingt (d. h. aus der Erzeugung des verwendeten Stroms) sowie prozessbedingt (d. h. durch verfahrensbedingte Nutzung fossiler Roh- und Brennstoffe).⁴²

³⁸ Vgl. GTAI (2023).

³⁹ Für eine Übersicht zu Programmen und Strategiepapieren Chinas zum Klimaschutz vgl. GTAI-Webseite, <https://www.gtai.de/de/trade/china/specials/china-will-klimaschutz-vorantreiben-829280>

⁴⁰ Vgl. Bundesregierung (2021).

⁴¹ Vgl. Kompetenzzentrum Klimaschutz in Energieintensiven Industrien (2023).

⁴² Vgl. Kompetenzzentrum Klimaschutz in Energieintensiven Industrien (2023).

Prozessbedingte Treibhausgasemissionen fallen insbesondere in der energieintensiven Grundstoffindustrie an (s. Kapitel 4.1).⁴³ Daher kommt der Transformation der industriellen Fertigungsprozesse in diesem Bereich eine hohe Bedeutung zu. Auf der Grundlage von neuen, klimafreundlichen Technologien und Produktionsverfahren werden branchenspezifische und -übergreifende Prozess- und Lieferketten tiefgreifend umgestaltet, um die durch das Klimaschutzgesetz geforderte Reduzierung der Treibhausgase zu realisieren.

Dabei stehen die Akteure vor der Herausforderung, auf der einen Seite die notwendigen Umstellungs- und Transformationsmaßnahmen mutig und konsequent umzusetzen, auf der anderen Seite jedoch die internationale Wettbewerbsfähigkeit der Branchenunternehmen nicht aus dem Auge zu verlieren. Die damit einhergehenden Herausforderungen sind nicht zu unterschätzen:

- ▶ Viele Industrieunternehmen müssen einen erheblichen Teil ihres Anlagenpools erneuern. Insbesondere in der Prozess- und Grundstoffindustrie müssen die aktuell verwendeten Aggregate der Wärmeerzeugung quasi innerhalb einer Anlagengeneration nun komplett ersetzt werden.
- ▶ Die im Zuge dieser Transformation erforderlichen Mehrinvestitionen werden erheblich ausfallen. So werden bis zum Jahr 2030 Mehrinvestitionen von etwa 100 Milliarden Euro und damit kumuliert etwa 860 Milliarden Euro prognostiziert.⁴⁴

Roadmaps zeigen konkrete Wege und Maßnahmen auf

Vor dem Hintergrund dieser Transformation und den damit verbundenen hohen Investitionen kommt verlässlichen, stabilen und transparenten Rahmenbedingungen eine hohe Bedeutung zu. Die skizzierten gesetzlichen Regelungen bilden dabei den Rahmen für weitere Spezifizierungen, die für eine wirkmächtige Inangriffnahme notwendig sind. Hier schlagen konkrete Roadmaps daher die Brücke und dienen insbesondere dazu, Ziele zu spezifizieren, passende Wege und Maßnahmen zur Zielerreichung zu definieren, miteinander zu verschneiden und in einen stimmigen Gesamtzusammenhang zu bringen. Vor allem bringen Roadmaps die Perspektiven verschiedener Stakeholder und Akteure zusammen, dienen als Grundlage zur Integration auch konfliktärer Sachverhalte und stellen einen Rahmen für die inhaltliche und zeitliche Synchronisierung von konkreten Maßnahmenplänen dar.

Im Zuge der avisierten Klimaneutralität und der dazu erforderlichen Transformationsanstrengungen wurden in der jüngeren Vergangenheit zahlreiche Roadmaps zur Beschreibung möglicher Routen in die Klimaneutralität entwickelt. Beispielhaft aufgeführt seien die folgenden drei Roadmaps mit starkem Industriefokus:

- ▶ Der Bundesverband der Deutschen Industrie (BDI) hat eine Studie „Klimapfade für Deutschland“ (Erstfassung 2018, Aktualisierung aufgrund der neuen Gesetzgebung im Jahr 2021) veröffentlicht, in der in verschiedenen Szenarien volkswirtschaftlich optimierte Pfade zur Reduktion von Treibhausgasemissionen für alle Sektoren beschreibt.⁴⁵ Gegenübergestellt werden ein Referenz- und ein Zielpfad. Unter der Maßgabe einer balancierten Berücksichtigung von Klimaschutzziele, Wettbewerbserhalt und sozial ausgewogener Lastenverteilung wurde auf der Basis ein klimapolitischer Instrumentenmix formuliert. Insbesondere wird in der Studie eine Emissionslücke zwischen Referenz- und Zielpfad aufgezeigt, die auf noch fehlende bzw. unzureichend konkretisierte industriepolitische Instrumente zurückzuführen ist. Daher wird ein breiter Instrumentenmix

⁴³ Vgl. Kompetenzzentrum Klimaschutz in Energieintensiven Industrien (2023).

⁴⁴ Vgl. BDI (2021).

⁴⁵ Vgl. BDI (2021).

vorgeschlagen, der sich von übergreifenden Instrumenten (z. B. nationales Infrastrukturprogramm) über sektorspezifische Instrumente (z. B. Klimaschutzverträge, grüne Leitmärkte) bis hin zu Instrumenten für die Bereiche Forschung, Finanzierung und politischer Prozess erstreckt.

- ▶ Im Rahmen einer VCI-Studie werden insbesondere diejenigen Produktionsprozesse in der Chemiebranche betrachtet, die besonders energieintensiv sind.⁴⁶ Für den Zeitraum bis zum Jahr 2050 wird der Weg zur Klimaneutralität anhand von drei alternativen Pfaden (d. h. Referenzpfad, Technologiepfad und Pfad Treibhausgasneutralität) beschrieben. Dabei wird prognostiziert, dass je nach zugrundeliegendem Pfad (bzw. dahinterliegendem Ambitionsniveau) etwa jeweils ein Drittel mehr an vollständiger Klimaneutralität erreicht werden kann.⁴⁷ Hervorgehoben wird, dass vor dem Hintergrund der für die Transformation von Anlagen und Prozessen notwendigen hohen Investitionen insbesondere möglichst zielgerichteten politischen Rahmenbedingungen eine hohe Bedeutung zukommt. Im Fokus stehen laut Studie geeignete Unterstützungsmaßnahmen sowohl für die Entwicklung und Markteinführung neuer Technologien und Verfahren als auch für die Sicherstellung des sehr hohen Bedarfes an grünem Strom zu wettbewerbsfähigen Preisen.
- ▶ Die im Rahmen des SCI4climate-Forschungsprojektes entwickelten Roadmaps skizzieren mögliche szenariobasierte Pfade und deren Auswirkungen hin zu einer klimaneutralen Industrie.⁴⁸ Zusammengebracht werden hier vor allem technologische, ökonomische, ökologische, institutionelle und infrastrukturelle Systemherausforderungen für Industrieunternehmen aus Nordrhein-Westfalen. So fokussieren sich die Untersuchungen, die im Rahmen des Teilprojektes zum Szenario S4C-KN durchgeführt wurden, vor allem auf die Herausforderungen der Grundstoffindustrie (Stahl, Zement, Grundstoffchemie) im Kontext der Umstellung des Energiesystems zur Klimaneutralität. Die Untersuchungen kommen zu dem Fazit, dass es technisch möglich ist, bis zum Jahr 2045 die Klimaneutralität der deutschen Industrie zu erreichen. Aufgrund des hohen Bedarfes an grünem Strom ist die zentrale Voraussetzung allerdings ein massiver Ausbau der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien. Einher geht dies mit der Feststellung, dass sowohl seitens der Politik als auch der Industrie entlang der beschriebenen Pfade Umsetzungsstrategien, Maßnahmen und Instrumente entwickelt und umgesetzt werden müssen.
- ▶ In einem integrierenden Modellvergleich wurden im Rahmen des Ariadne-Projektes verschiedene Gesamtsystem- und Sektormodelle kombiniert, um über diese Vielfalt sowohl sektorübergreifende energiewirtschaftliche Wechselwirkungen als auch sektorspezifische Branchenchancen und -herausforderungen berücksichtigen zu können.⁴⁹ Für spezifische Fragestellungen wurde jeweils eines der berücksichtigten Modelle als Leitmodell hervorgehoben. Über diese breite Methodik lassen sich modellübergreifend robuste Eckpunkte der Transformation hin zu einer klimaneutralen Wirtschaft herausarbeiten. Davon ausgehend wurden dann verschiedene Zielerreichungsszenarien modelliert und zu Szenariengruppen zusammengefasst. Die Analysen münden in Überlegungen, welche Aspekte besonders wichtig sind zur Erreichung der Klimaneutralität im Jahre 2045. Insbesondere hervorgehoben wird dabei, dass in den Endnutzungssektoren Industrie, Gebäude und Verkehr ein konsequenter Umstieg der Energieträger durch Elektrifizierung bereits bis zum Jahr 2030 stattfinden sollte. Insbesondere dem zügigen Hochlauf von Wasserstoff kommt dabei eine hohe Bedeutung zu.

⁴⁶ Vgl. VCI (2019).

⁴⁷ So gelangt die Studie zu den folgenden Prognosen: Im Referenzpfad (d. h. Kohleausstieg und Effizienzsteigerungen) werden bis zum Jahr 2050 etwa 27 Prozent weniger Treibhausgase als im Jahr 2020 emittiert, im Technologiepfad (d. h. höhere Investitionen in neue Verfahren mit einem rund vierfachen Strombedarf) sind dies 61 Prozent, im Pfad Treibhausgasneutralität (d. h. maximale Investitionen in alternative Verfahren mit einem rund elffachen Strombedarf) sind dies nahezu 100 Prozent; zu weiteren Informationen vgl. VCI (2019).

⁴⁸ Vgl. SCI4climate.NRW (2023).

⁴⁹ Vgl. Ariadne (2021); zu einem Vergleich mit anderen Szenarien außerdem auch Ariadne (2022).

Augenfällig dabei ist, dass in vielen Roadmaps grundsätzlich eine effektneutrale, relativ konstante Industriewertschöpfung bzw. Produktion als Betrachtungsrahmen unterstellt wird.

Solche Roadmaps wie die exemplarisch aufgeführten bilden gemeinsam mit den politisch-rechtlichen Verankerungen des globalen Klimaschutzabkommens einen Hintergrund für die weiteren Überlegungen.

4.2 Fokussierung auf vier Grundstoffe: Stahl, Aluminium, Ammoniak und hochwertige Chemikalien

Um ein gleichzeitig ausreichend breites (d. h. Untersuchung der standortrelevanten Industrien und Branchen, die auf Grundstoffen basieren) und tiefes (d. h. Berücksichtigung der spezifischen Unterschiede zwischen den einzelnen energieintensiven Branchen) Bild der mit den Transformationsanstrengungen in Richtung Klimaneutralität einhergehenden Effekte zu ermitteln, sollen sinnvolle und aussagekräftige Teilbereiche fokussiert werden. Für die Untersuchungen im weiteren Verlauf werden daher zwei Schnitte angesetzt:

- ▶ Zum einen (Schnitt 1) wird der Fokus auf eine Auswahl an relevanten Grundstoffen gelegt. So werden die Grundstoffe Stahl, Aluminium, Ammoniak und hochwertige Chemikalien (bzw. Alkene/ Olefine) im Zentrum der weiteren Betrachtungen stehen.
- ▶ Zum anderen (Schnitt 2) wird der Fokus auf bestimmte Branchen gelegt, die in besonderer Weise mit diesen vier Grundstoffen verwoben sind. Die Auswahl umfasst dazu die Fokusbranchen Chemie, Metallerzeugung, Metallerzeugnisse, Maschinenbau und Elektroindustrie, Kunststoffindustrie sowie Fahrzeugbau.

Dabei basiert die Auswahl der im Fokus stehenden Grundstoffe und Branchen auf einigen Vorüberlegungen, die im Folgenden kurz erläutert werden.

Vorüberlegungen zur Auswahl der vier betrachteten Grundstoffe

Für die weiteren Betrachtungen wird der Fokus auf die Grundstoffe Stahl, Aluminium, Ammoniak sowie hochwertige Chemikalien (Alkene/Olefine) gelegt.

Die folgenden Vorüberlegungen begründen diese Auswahl:

- ▶ So kommt diesen vier Grundstoffen eine hohe ökonomische Bedeutung zu (s. Kapitel 4.1.1). Gebündelt entfällt auf Metallerzeugung/-verarbeitung sowie Chemie ein Großteil der Anteile an Bruttowertschöpfung, Produktion und Beschäftigung der gesamten Grundstoffindustrie.
- ▶ Außerdem bilden diese vier Grundstoffe eine wichtige technische Grundlage für einen überwiegenden Teil des Kernproduktspektrums der deutschen Industrie. Stahl wird u. a. verwendet für Photovoltaikkonstruktionen, Windkraftanlagen, Sicherheitsgehäuse für Autobatterien oder Dampfturbinen;⁵⁰ Aluminium findet Eingang u. a. in Passivhaus-Rollläden, Kathodensubstratfolien oder Leichtbaukomponenten im Automobilbau; ohne Ammoniak sind moderne Düngemittel nicht

⁵⁰ Vgl. Energieintensive (2023).

denkbar, und hochwertige Chemikalien (Alkene bzw. Olefine) bilden einen wichtigen Bestandteil beispielsweise von Kunst- oder Klebstoffen für die unterschiedlichsten Anwendungsfelder.

Aufgrund der skizzierten technischen und ökonomischen Bedeutung spielen diese vier Grundstoffe daher im Rahmen der Transformation hin zu einer klimaneutralen Industriestruktur eine potenziell signifikante „Lokomotivrolle“. Gelingt die Transformation hier, kann dies eine nicht zu unterschätzende Signalwirkung auf andere Industrien und Bereiche ausüben.

Aktuell werden diese Grundstoffe in Deutschland noch vorwiegend unter Freigabe klimaschädlicher Treibhausgase produziert. Um jedoch eine Referenz für die komparative Energiekostenanalyse zu setzen, soll für jeden der vier ausgewählten Grundstoffe ein konkretes klimaneutrales Produktionsverfahren betrachtet werden.

Auf Basis der dargelegten Argumentation werden im weiteren Verlauf der Untersuchungen die energieintensiven Grundstoffe Stahl, Aluminium, Ammoniak sowie hochwertige Chemikalien (Alkene bzw. Olefine) betrachtet.

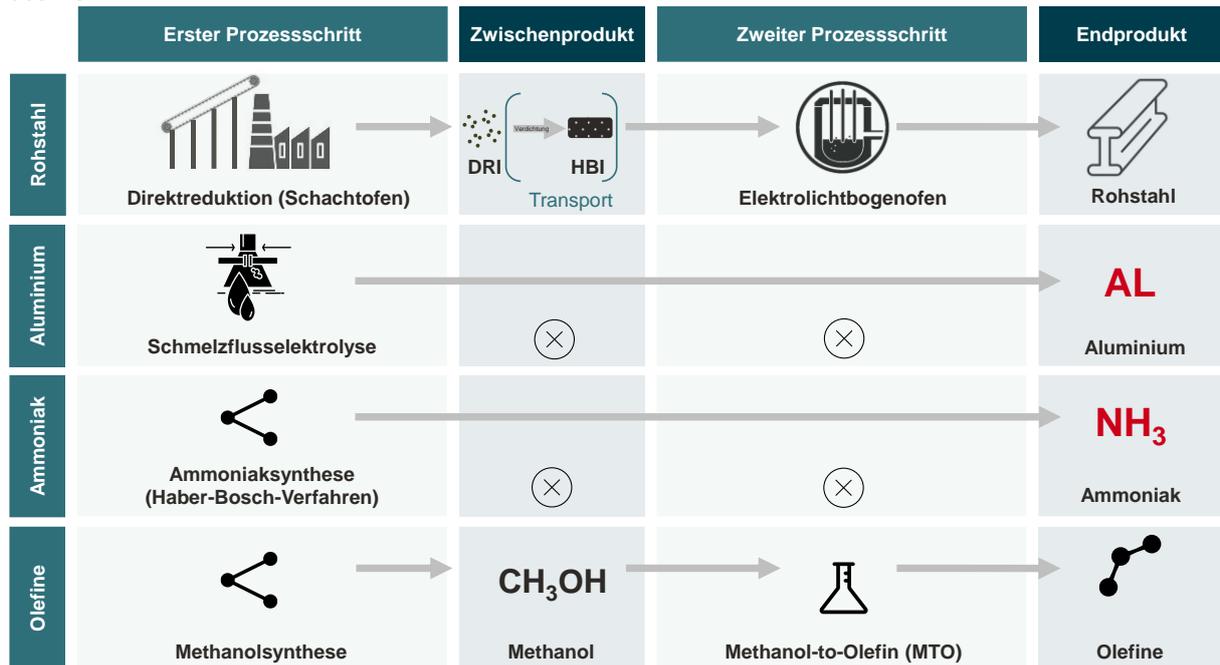
Grundstoff-spezifische klimaneutrale Produktionsverfahren als Referenz für die Energiekostenanalyse

Die komparative Energiekostenanalyse führen wir für folgende klimaneutrale Produktionsverfahren durch (siehe Abbildung 4-6):

- ▶ Für klimaneutralen **Stahl** betrachten wir einen zweistufigen Prozess:
 - ▷ Direktreduktion von Eisenerz zu Direct Reduced Iron (DRI), bzw. Hot Briquetted Iron (HBI). HBI ist DRI, das unter sehr hohem Druck und bei erhöhter Temperatur zu dichten Briquets gepresst wurde, die weniger porös als DRI und daher weniger reaktiv sind. Damit ist HBI langlebiger und besser über weite Strecken transportierbar als DRI. Der Prozess
 - ▷ Elektrolichtbogenofen (EAF), in dem aus DRI unter Stromeinsatz Rohstahl gewonnen wird.
- ▶ In der **Aluminiumproduktion** betrachten wir den einstufigen Herstellungsprozess der Schmelzflusselektrolyse. Unter Einsatz großer Mengen von Strom wird in diesem Prozess aus Bauxit Aluminium gewonnen.
- ▶ Zur klimaneutralen Herstellung von **Ammoniak** werden im Haber-Bosch-Verfahren Wasserstoff und Stickstoff eingesetzt. Unter Aufwendung von Energie (Strom und Wasserstoff)
- ▶ Für die klimaneutrale Produktion von **High Value Chemicals** fokussieren wir uns auf das Beispiel von Olefinen und betrachten einen zweistufigen, hauptsächlich wasserstoffbasierten Prozess:
 - ▷ In der Methanolsynthese wird aus Wasserstoff und einer Kohlenstoffquelle, sowie Strom als zusätzliche Energiequelle für den Prozess, Methanol gewonnen;
 - ▷ Im Methanol-to-Olefin Prozess (MTO) wird das Methanol unter Stromeinsatz in verschiedene Olefine umgewandelt.

Energiebedarfe der Prozesse, sowie die Auswahl des betrachteten Produktionsverfahrens aus alternativen Verfahren werden in Kapitel 9.1.1 ausführlich beschrieben.

Abbildung 4-6: Betrachtete zukünftige klimaneutrale Produktionsverfahren der Grundstoffe



Quelle: Frontier Economics, detaillierte Darstellung in Kapitel 9.1.1.

4.3 Verwendung der vier Grundstoffe in der Industrie

In einem nächsten Schritt sollen Wirtschaftsbereiche identifiziert werden, die potenziell von Preisänderungen der vier Grundstoffe betroffen sein könnten. Die Preissteigerungen werden Auswirkungen auf diejenigen Wirtschaftsbereiche haben, die die vier Grundstoffe verwenden. In Sonderauswertungen der Verwendungstabellen des Statistischen Bundesamts kann die direkte Verwendung der vier Grundstoffe untersucht werden. Von Interesse ist jedoch auch die Verwendung in der nachgelagerten Wertschöpfungskette in Form von weiterverarbeiteten Zwischenprodukten. Um die Verwendung der Grundstoffe entlang der gesamten Wertschöpfungskette berücksichtigen zu können, werden Stoffstromanalysen verwendet. Diese untersuchen auf kleinteiliger Ebene, in welchen Produktklassen die betrachteten Grundstoffe enthalten sind, und beachten damit auch die Verwendung der Grundstoffe in den Downstream-Bereichen der Industrie. Nicht berücksichtigt werden allerdings mengen- oder wertmäßige Anteile der Grundstoffe in den identifizierten Produkten. Es werden also Güterklassen identifiziert, die potenziell von höheren Preisen der Grundstoffe betroffen sein können, ohne Aussagen darüber zu treffen, wie hoch diese Betroffenheit sein wird.

Die Analyse verläuft in mehreren Schritten. Zunächst werden Güterklassen auf 9-Steller-Ebene des Güterverzeichnis für Produktionsstatistiken (GP) identifiziert, in denen Stahl, Aluminium, Ammoniak oder Olefine enthalten sind.⁵¹ Die Identifizierung findet dabei auf Grundlage einer umfassenden Literaturrecherche statt, teilweise kann auch auf in der Literatur bereits durchgeführte Stoffstromanalysen zurückgegriffen werden.⁵² Insgesamt werden 2.765 Güterklassen identifiziert, in denen mindestens einer der vier Grundstoffe enthalten ist.

In einem zweiten Schritt werden wirtschaftliche Kennzahlen der identifizierten Güterklassen ermittelt. Dafür werden den Güterklassen zunächst Produktionswerte aus der Vierteljährlichen Produktionserhebung im Verarbeitenden Gewerbe zugeordnet. Fehlende Werte werden anteilig anhand der Anzahl der Unternehmen im Verhältnis zur Sollsumme des jeweils übergeordneten Abschnitts berechnet. Da in der Produktionsstatistik nur der Wert der zum Absatz bestimmten Produktion und nicht der tatsächliche Produktionswert erfasst wird, werden die Produktionswerte der einzelnen Güter anhand der Gesamtwerte in der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung anteilig angepasst. Die hierfür nötige Zuordnung der einzelnen Produktklassen zum jeweils herstellenden Wirtschaftszweig kann aufgrund der Kompatibilität der beiden Systeme relativ einfach vorgenommen werden. Als Ergebnis liegt für jedes identifizierte Gut ein geschätzter Produktionswert im Jahr 2022 vor. Summiert man den auf diese Weise berechneten abhängigen Produktionswert je Wirtschaftszweig, kann die relative Abhängigkeit für jede Branche im Verarbeitenden Gewerbe ermittelt werden.

Die Ergebnisse dieser Berechnungen sind in Abbildung 4-7 dargestellt, wobei zunächst der abhängige Produktionswert von allen vier Grundstoffen gemeinsam betrachtet werden soll. Im Maschinenbau und der Kunststoffindustrie sind alle unter diesen Branchen zusammengefassten Güterklassen als abhängig definiert.⁵³ Auch im Wirtschaftszweig der Elektrischen Ausrüstungen, im Fahrzeugbau, in der Elektroindustrie und den Metallerzeugnissen liegt der Anteil des betroffenen Produktionswertes bei über 90 Prozent. Generell kann man sagen, dass der Anteil der Güter, die als betroffen identifiziert werden, mit der Komplexität der Produkte in einer Branche steigt. In Downstream-Branchen ist damit

⁵¹ Aufgrund der Datenverfügbarkeit können hierbei keine Produkte der Bauwirtschaft identifiziert werden. Die entsprechenden Informationen für die Bauwirtschaft werden daher im Nachgang im Zuge der Unternehmensbefragung erhoben.

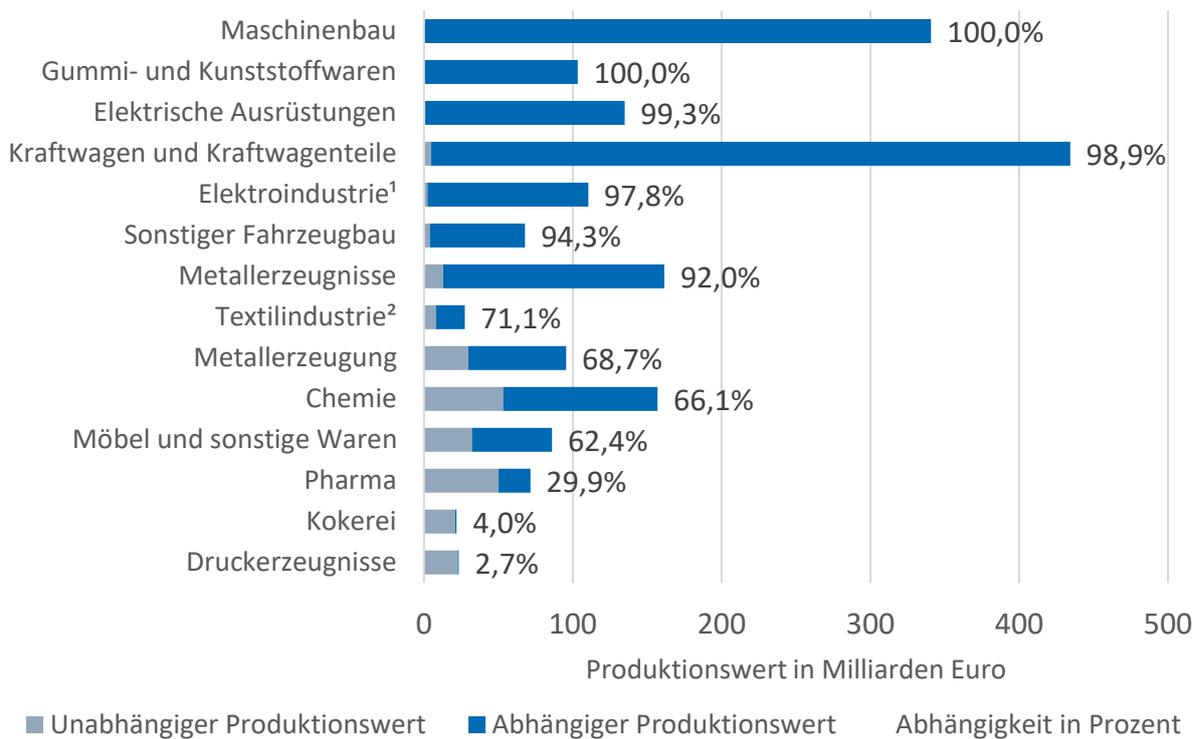
⁵² Vgl. Blengini, G. A. et al. (2020), außerdem Passarini, F. et al. (2018).

⁵³ Die Abhängigkeit der Gummiindustrie von High Value Chemicals kommt durch die stark verbreitete Nutzung von synthetischem Kautschuk zustande.

potenziell ein Großteil der Produkte von einem Preisanstieg der Grundstoffe betroffen, weil dort viele verschiedene Bauteile zum Einsatz kommen. Im Gegensatz dazu ist der Anteil des betroffenen Produktionswertes bei den Branchen, die in der Wertschöpfungskette unmittelbar auf die Herstellung der Grundstoffe folgen, etwas geringer. So beträgt der von den vier Grundstoffen abhängige Produktionswert in der Metallerzeugung 69 Prozent, in der Chemie liegt der Anteil bei 66 Prozent. Weniger stark betroffene Wirtschaftszweige sind die Textilindustrie, Möbel und sonstige Waren, die Pharmaindustrie, die Kokerei und die Druckerzeugnisse.

Abbildung 4-7: Zusammengefasste Ergebnisse der Stoffstromanalyse

Anteil des von den vier Grundstoffe abhängigen Produktionswertes in den Wirtschaftszweigen des Verarbeitenden Gewerbes



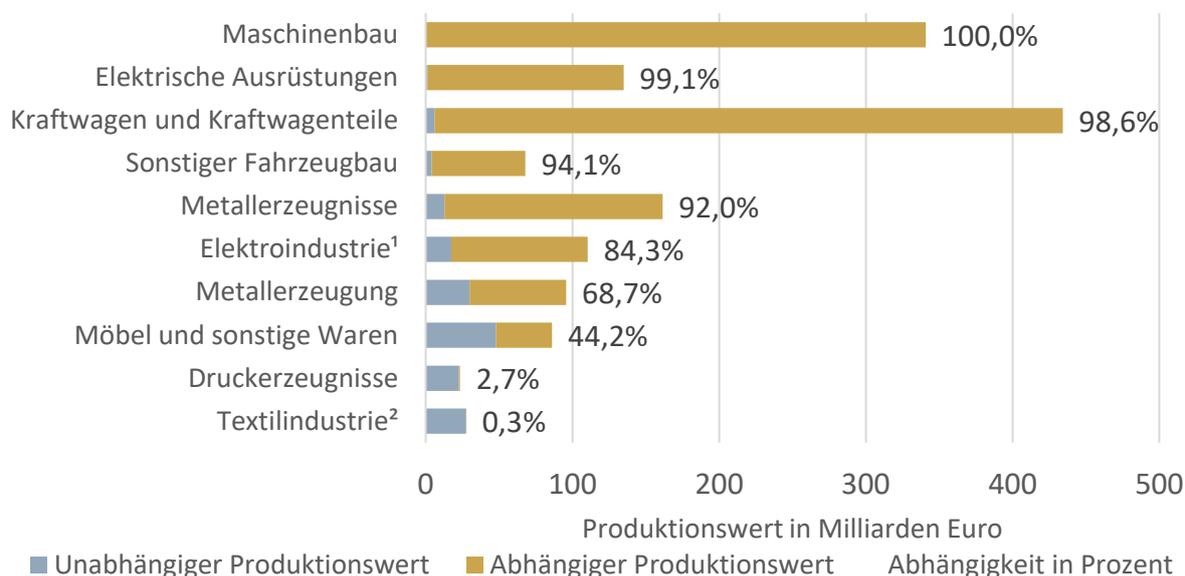
¹ Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen (WZ 26), ² Herstellung von Textilien, Bekleidung, Leder, Lederwaren und Schuhen (WZ 13-15)

Quellen: Statistisches Bundesamt (2023a), Statistisches Bundesamt (2023b), eigene Berechnung IW Consult

In den Abbildungen Abbildung 4-8 und Abbildung 4-9 werden die Ergebnisse der Stoffstromanalyse getrennt nach den beiden Bereichen „Metalle“ und „Chemie“ betrachtet. Es zeigt sich erneut, dass die meisten Downstream-Branchen sowohl von den metallischen als auch den chemischen Grundstoffen abhängig sind. In beiden Abbildungen liegen die Anteile des abhängigen Produktionswertes des Fahrzeugbaus, der Elektrischen Ausrüstungen und der Elektroindustrie bei über 80 Prozent. Im Maschinenbau werden die metallischen Grundstoffe (100 Prozent) tendenziell etwas stärker verwendet als die chemischen Grundstoffe (76 Prozent). Die Metallerzeugung sowie die Metallerzeugnisse hängen nur von den metallischen Grundstoffen ab, ausschließlich von den chemischen Grundstoffen abhängig sind die Kunststoff- sowie die Chemieindustrie.

Abbildung 4-8: Ergebnisse der Stoffstromanalyse für metallische Grundstoffe

Anteil des von Aluminium und Stahl abhängigen Produktionswertes in den Wirtschaftszweigen des Verarbeitenden Gewerbes

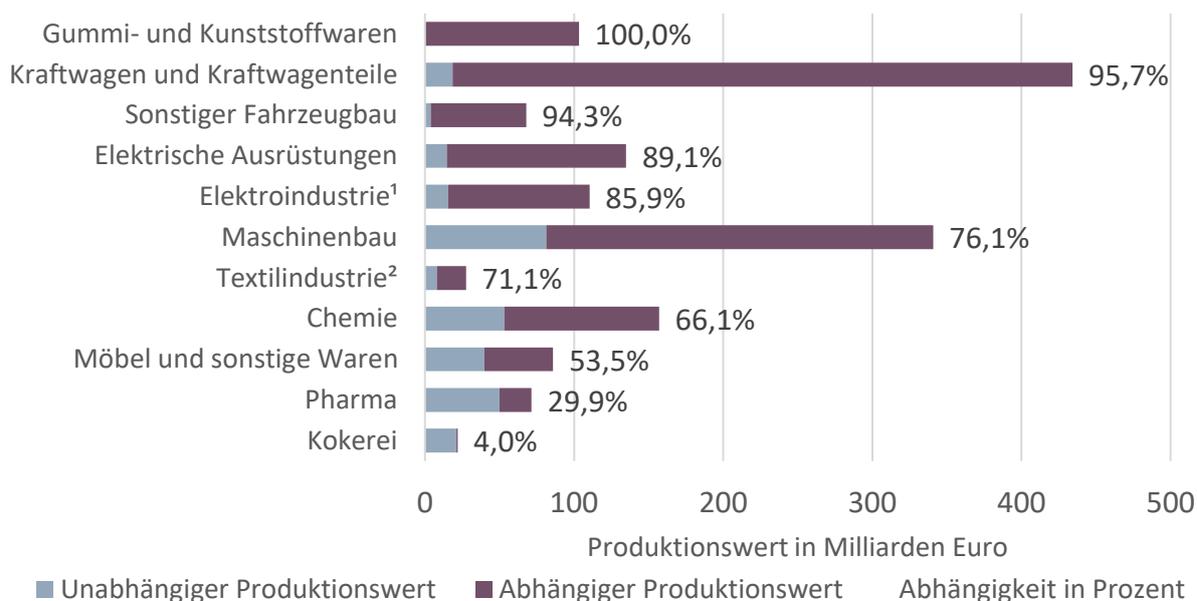


¹ Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen (WZ 26), ² Herstellung von Textilien, Bekleidung, Leder, Lederwaren und Schuhen (WZ 13-15)

Quellen: Statistisches Bundesamt (2023a), Statistisches Bundesamt (2023b), eigene Berechnung IW Consult

Abbildung 4-9: Ergebnisse der Stoffstromanalyse für chemische Grundstoffe

Anteil des von Ammoniak und Olefinen abhängigen Produktionswertes in den Wirtschaftszweigen des Verarbeitenden Gewerbes



¹ Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen (WZ 26), ² Herstellung von Textilien, Bekleidung, Leder, Lederwaren und Schuhen (WZ 13-15)

Quellen: Statistisches Bundesamt (2023a), Statistisches Bundesamt (2023b), eigene Berechnung IW Consult

4.4 Fokusbranchen im Überblick

Auswahl der sechs Fokusbranchen

Die sechs Fokusbranchen Metallerzeugung, Metallerzeugnisse, Chemie, Fahrzeugbau, Kunststoffe sowie Maschinenbau/Elektroindustrie wurden nach den folgenden Kriterien ausgewählt:

- ▶ Zunächst müssen sie in enger Weise verwoben sein mit mindestens einem der vier ausgewählten Grundstoffe (also Stahl, Aluminium, Ammoniak oder Olefine/Alkene). Für die Bewertung dieses Kriteriums können die Ergebnisse der Stoffstromanalyse (siehe Kapitel 4.3) verwendet werden.
- ▶ Damit müssen sie in besonderer Weise von der Dekarbonisierung betroffen sein.
- ▶ Demgemäß sollen solche Fokusbranchen ausgewählt werden, deren produzierte Kernprodukte und -komponenten zu einem hohen Anteil auf der Verwendung von mindestens einem der vier Grundstoffe basieren.
- ▶ Die ausgewählten Fokusbranchen sollen darüber hinaus qua technologischem Entwicklungsstand und internationaler Wettbewerbsfähigkeit eine hohe ökonomische Bedeutung für den Standort Deutschland aufweisen und damit einen erheblichen Anteil zur Bruttowertschöpfung, zur Produktion und zur Beschäftigung beitragen (s. Kapitel 4.1). Damit einhergehen soll auch eine hohe strategische Relevanz, d. h. die ausgewählten Fokusbranchen sollen zur Versorgungssicherheit in zentralen Feldern und damit auch zur Resilienz des Standortes beitragen.
- ▶ Schließlich sollen die ausgewählten Fokusbranchen das Potenzial für in andere Branchen hineinreichende Signalwirkungen haben. Bei erfolgreicher Transformation sollen sie aufgrund ihrer Bedeutung positive Sogwirkung entfachen können, bei nicht erfolgreicher Transformation und damit einhergehenden Strukturbrüchen sollen hingegen die negativen Auswirkungen aber auch über die Branchengrenzen hinaus spürbar sein.

In der folgenden Tabelle 4-1 sind die ausgewählten sechs Fokusbranchen hinsichtlich dieser Auswahlkriterien kurz zusammengefasst.

Tabelle 4-1: Die sechs Fokusbranchen in der Übersicht

Fokusbranche	Wichtige Grundstoffe	Typische Kernprodukte	Schwerpunkt in Wertschöpfungskette	Ökonomische Bedeutung (Bruttowertschöpfung, in Mrd. EUR)
Metallerzeugung	Stahl, Aluminium	Metallische Grundstoffe, Halbfertigerzeugnisse	Upstream Downstream	21
Metallerzeugnisse	Stahl, Aluminium	Schmiede- und Blechformteile, Rohre, Bänderzeugnisse	Downstream	60
Chemie	Ammoniak, Olefine	Chemische Grundstoffe, Spezialchemikalien	Upstream Downstream	53
Fahrzeugbau	Stahl, Aluminium, Olefine	Fahrzeuge, Komponenten	Downstream	151
Kunststoffe	Olefine	Produkte für Verpackungen, Bauprodukte und Fahrzeuge	Downstream	34
Maschinenbau- und Elektroindustrie	Stahl, Aluminium, Olefine	Maschinen, Werkzeuge, Hausgeräte, Elektronik, Lichttechnik	Downstream	201

Quelle: IW Consult (2023)

Auf Basis dieser Überlegungen werden in den folgenden Passagen die sechs Fokusbranchen anhand von Kurzprofilen vorgestellt. Eingang finden neben den statistischen Eckdaten auch im Rahmen von Interviews gewonnene Aussagen von Experten und Verbandsvertretern und damit sowohl quantitative als auch qualitative Informationen. Auf diese Weise soll ein erster inhaltlicher Referenzrahmen zur späteren Einordnung der avisierten Ergebnisse geschaffen werden.

Die sechs Fokusbranchen im Kurzprofil

Die Kurzprofilierung der sechs Fokusbranchen erfolgt entlang eines inhaltlichen Rasters, zu dem neben der WZ-Klassifizierung, einem Überblick über die Kernprodukte, dem Wertschöpfungskettenschwerpunkt und den ökonomischen Eckdaten (Bruttowertschöpfung, Produktionswert, Beschäftigtenzahl) auch eine qualitative Hervorhebung wichtiger Branchencharakteristika sowie eine daraus abgeleitete erste Reaktionsprognose auf hohe Preisunterschiede für energieintensive Vorprodukte gehört.

Kurzprofil Chemieindustrie

Die Chemieindustrie (nach WZ-Klassifizierung 20) ist bezüglich ihrer Binnenstruktur heterogen. Sie umfasst sowohl Unternehmen, die am Beginn der Wertschöpfungskette stehen und Grundstoffe herstellen, als auch Unternehmen in weiter nachgelagerten Wertschöpfungsstufen, die auf Basis dieser Grundstoffe dann Komponenten und Spezialchemikalien produzieren.

Hergestellt werden in der Chemieindustrie chemische Grundstoffe, Düngemittel, Kunststoffe in Primärformen, Mittel zur Schädlingsbekämpfung sowie zum Pflanzenschutz, außerdem Farben, Pflege- und Reinigungsmittel, Duftstoffe sowie sonstige chemische Erzeugnisse und Chemiefasern.

Die Unternehmen der Chemieindustrie erzielen in Deutschland damit insgesamt eine Bruttowertschöpfung von 53 Milliarden Euro sowie einen Produktionswert von 157 Milliarden Euro. Dazu tragen ca. 350.000 Beschäftigte bei.

Darüber hinaus ist die Chemieindustrie gekennzeichnet durch

- ▶ einen hohen Anteil preissensibler Commodity-Produkte,
- ▶ horizontal und vertikal hochintegrierte effiziente Produktionsstrukturen,
- ▶ eine vergleichsweise enge internationale Vernetzung (v. a. bei Großunternehmen),
- ▶ eine eher unwichtige regionale Nähe zu Kundenunternehmen,
- ▶ eine hohe Transportfähigkeit der hergestellten Produkte sowie
- ▶ eine gegenwärtig eher schwierige Lage, die hervorgerufen wird durch Umsatz- und Ergebnismrückgänge, selektive Anlagenschließungen und Infragestellen künftiger Investitionen in deutsche Standorte, nachlassende Innovationskraft und Lieferketten- bzw. Versorgungsrisiken,
- ▶ was insgesamt zu einer hohen Anfälligkeit gegenüber langfristigen Preisunterschieden für energieintensive Vorprodukte sowie zu einem hohen Druck zur Auslandsverlagerung von Produktionsstätten führen kann.

Kurzprofil Gummi- und Kunststoffverarbeitung

Die Fokusbranche der Kunststoffverarbeitung (nach WZ-Klassifizierung 22) umfasst die Herstellung von Gummi- sowie von Kunststoffwaren. Zu den relevanten Kundenbranchen gehören vor allem der Fahrzeugbau, die Verpackungsindustrie sowie die Bauwirtschaft.

Zum Spektrum der Hauptprodukte zählen Bereifungen, kunststoffbasierte Platten und Folien, Verpackungsmittel und Baubedarfsartikel, die Branche kann den Downstreamern zugeordnet werden.

Erwirtschaftet werden eine jährliche Bruttowertschöpfung von 34 Milliarden Euro sowie ein Produktionswert von 103 Milliarden Euro. Dazu tragen 435.000 Beschäftigte bei.

Darüber hinaus ist die Fokusbranche der Kunststoffindustrie gekennzeichnet durch

- ▶ eine stark mittelständisch geprägte Branchenstruktur,
- ▶ damit einhergehend eine hohe regionale Einbettung,
- ▶ eine aktuell vergleichsweise gesunde Ertragslage und
- ▶ jedoch gleichzeitig zunehmend auftretende Unsicherheiten wie beispielsweise Preissteigerungen bei Rohstoffen, Lieferkettenprobleme bzw. sich abzeichnende Nachfragerückgänge in Abnehmerbranchen,
- ▶ was insgesamt zu einer mittleren Anfälligkeit gegenüber langfristigen Preisunterschieden für energieintensive Vorprodukte sowie zu einem mittleren Druck zur Auslandsverlagerung von Produktionsstätten führen kann.

Kurzprofil Metallerzeugung

Die Branche der Metallerzeugung (nach WZ-Klassifizierung 24) umfasst sowohl die Herstellung von Stahl, von Aluminium als auch von Nichteisenmetallen.

Zu den Hauptprodukten bzw. Produktgruppen der Unternehmen dieser Fokusbranche zählen vor allem metallische Grundstoffe und Halbfertigerzeugnisse. Insbesondere gehören die Herstellung und sonstige erste Bearbeitung von Roheisen, Stahl und Ferrolegerungen dazu, die Herstellung von Rohrprodukten sowie die Herstellung und erste Bearbeitung von Nichteisenmetallen und schließlich Gießereien. Damit bewegen sich die Unternehmen der Metallerzeugung am Anfang der Wertschöpfungskette.

Die Branche der Metallerzeugung erwirtschaftet in Deutschland eine Bruttowertschöpfung in Höhe von 21 Milliarden Euro sowie einen Produktionswert von 96 Milliarden Euro und beschäftigt gut 260.000 Mitarbeitende.

Darüber hinaus ist die Branche der Metallerzeugung gekennzeichnet durch

- ▶ eine starke Position der jeweiligen Abnehmerbranchen (insbesondere Fahrzeugbau), verbunden mit einer hohen Preissensitivität,
- ▶ eine starke Konkurrenz ausländischer Metallerzeuger,
- ▶ einen starken Fokus auf den inländischen Absatzmarkt und eine enge Einbindung in vor allem regionale Absatzstrukturen (ein Großteil des produzierten Stahls und Aluminiums wird nach Expertenaussage in einem Umkreis von maximal 400 Kilometern vertrieben, Aluminium wird so gut wie gar nicht ins Ausland exportiert),
- ▶ eine hohe Energieintensität bei der Herstellung von Stahl und Aluminium,
- ▶ damit verbunden einen hohen Handlungsdruck hinsichtlich der Umstellung der Produktionsstrecken auf nichtfossile Technologien und Verfahren sowie
- ▶ die Überzeugung, dass Energie die Rolle als entscheidender „Rohstoff“ für die Produktion von Stahl und Aluminium zukommt,
- ▶ was insgesamt zu einer hohen Anfälligkeit gegenüber langfristigen Preisunterschieden für energieintensive Vorprodukte sowie zu einem hohen Druck zur Auslandsverlagerung von Produktionsstätten führen kann.

Kurzprofil Metallerzeugnisse

Die Branche der Metallerzeugnisse (nach WZ-Klassifizierung 25) umfasst neben Stahl- und Leichtmetallbau und der Herstellung von Tanks, Kesseln, Waffen und Schmiede-/Press-/Zieh-Stanzteilen auch die Oberflächenveredelung, Wärmebehandlung sowie die Herstellung von Schneidwaren, Schlössern, Werkzeugen und sonstigen Metallerzeugnissen. Damit können die Unternehmen dieser Fokusbranche den Downstreamern zugeordnet werden.

Die knapp 900.000 Beschäftigten der Metallerzeugnisse erwirtschaften in Deutschland eine Bruttowertschöpfung in Höhe von 60 Milliarden Euro sowie einen Produktionswert von 162 Milliarden Euro.

Darüber hinaus ist die Branche der Metallerzeugnisse gekennzeichnet durch

- ▶ eine starke mittelständisch geprägte Struktur,
- ▶ ein stark ausdifferenziertes Produktspektrum, damit einhergehend eine hohe Spezialisierung der Branchenunternehmen,
- ▶ ein wettbewerbsintensives Marktumfeld mit internationalen Kunden z. B. aus den Bereichen Automobilbau, Maschinenbau und Elektroindustrie sowie Bauindustrie und
- ▶ zugleich jedoch eine vergleichsweise enge Vernetzung mit regionalen Metallerzeugern,
- ▶ was insgesamt zu einer mittleren bis hohen Anfälligkeit gegenüber langfristigen Preisunterschieden für energieintensive Vorprodukte sowie zu einem mittleren Druck zur Auslandsverlagerung von Produktionsstätten führen kann.

Kurzprofil Maschinenbau und Elektroindustrie

Diese Fokusbranche Maschinenbau und Elektroindustrie (nach WZ-Klassifizierung 26, 27 und 28) setzt sich aus zwei für den Standort Deutschland zentralen Industrien zusammen und weist damit im Vergleich mit den fünf anderen ausgewählten Fokusbranchen die höchsten ökonomischen Eckdaten auf. Zum heterogenen Produktspektrum gehören u. a. elektronische Elemente und Leiterplatten, Geräte der Datenverarbeitung und Telekommunikation, Unterhaltungs-, Mess- und Medizingeräte, Elektromotoren und Generatoren, Batterien, Kabel, Haushaltsgeräte, Lampen, zudem Verbrennungsmotoren, Pumpen, Getriebe, Werkzeugmaschinen und Maschinen für sonstige bestimmte Wirtschaftszweige.

So erarbeiten mehr als 2.000.000 Beschäftigte eine jährliche Bruttowertschöpfung von 201 Milliarden Euro und einen Produktionswert von 586 Milliarden Euro. Die Unternehmen aus Maschinenbau und Elektroindustrie können dem Downstream-Bereich der Wertschöpfungsketten zugeordnet werden.

Darüber hinaus ist diese Fokusbranche gekennzeichnet durch

- ▶ eine ebenfalls stark mittelständische geprägte Struktur,
- ▶ ein hochdifferenziertes Produktportfolio,
- ▶ eine hohe FuE-Intensität,
- ▶ eine hohe internationale Wettbewerbsfähigkeit bei gleichzeitig regionaler Einbettung und
- ▶ zudem Sorgen hinsichtlich der ausreichenden Verfügbarkeit von Fachkräften und notwendigen Vorprodukten,
- ▶ was insgesamt zu einer mittleren Anfälligkeit gegenüber langfristigen Preisunterschieden für energieintensive Vorprodukte sowie zu einem mittleren Druck zur Auslandsverlagerung von Produktionsstätten führen kann.

Kurzprofil Fahrzeugbau

Die Fahrzeugbau-Branche (nach WZ-Klassifizierung 29 und 30) spielt eine bedeutende Rolle für den Industriestandort Deutschland und zählt zu den Kernbranchen. Zu den Produkten zählen Kraftwagen, Kraftwagenmotoren, Karosserien, Aufbauten und Anhänger, außerdem Kraftwagenzubehör sowie der Bau von Schiffen und Booten, Schienenfahrzeugen, militärischen Kampfflugzeugen und Luft- und Raumfahrzeugen.

Die mehr als 1.000.000 Beschäftigten erwirtschaften eine jährliche Wertschöpfung von 151 Milliarden Euro und einen Produktionswert von 502 Milliarden Euro. Die Unternehmen des Fahrzeugbaus sind im „Downstream“-Bereich der Wertschöpfungsketten verortet. Energieintensive Grundstoffe (v. a. Stahl, Aluminium, hochwertige Chemikalien bzw. Olefine/Alkene) werden in erheblichem Maße eingesetzt.

Die Fokusbranche des Fahrzeugbaus zeichnet sich aus durch

- ▶ eine grundsätzlich starke Marktmacht der OEMs,
- ▶ einen hohen Effizienz- und Kostendruck entlang der gesamten, international aufgestellten Wertschöpfungskette,
- ▶ die momentan alle anderen Trends überlagernde disruptive Transformation zur E-Mobilität und damit einhergehend neu entstehende Marktlogiken, Geschäftsmodelle und Umstellungsaufgaben,
- ▶ damit verbunden eine Neujustierung der Zuliefer- und Wertschöpfungsstrukturen,
- ▶ zudem aktuelle Lieferkettenprobleme (v. a. Versorgung mit Halbleitern, Rohstoffversorgung, Logistikkosten) sowie
- ▶ Aulastungsprobleme an deutschen Standorten,
- ▶ was insgesamt zu einer mittleren Anfälligkeit gegenüber langfristigen Preisunterschieden für energieintensive Vorprodukte sowie zu einem mittleren Druck zur Auslandsverlagerung von Produktionsstätten führen kann.

In der folgenden Tabelle 4-2 sind die ökonomischen Eckdaten zur Anzahl der Erwerbstätigen, zur Bruttowertschöpfung sowie zum Produktionswert der sechs Fokusbranchen (nach Reihenfolge der WZ-Klassifizierung) zusammenfassend aufgeführt.

Tabelle 4-2: Die ökonomischen Eckdaten der sechs Fokusbranchen

Fokusbranche	WZ-Code	Anzahl Erwerbstätige	Bruttowertschöpfung (in Mrd. EUR)	Produktionswert (in Mrd. EUR)
Chemie	20	350.000	53	157
Kunststoffe	22	435.000	34	103
Metallerzeugung	24	263.000	21	96
Metallerzeugnisse	25	897.000	60	162
Maschinenbau & Elektro	26, 27, 28	2.011.000	201	586
Fahrzeugbau	29, 30	1.054.000	151	502

Quelle: IW Consult (2023)

5 Komparative Energiekostenanalyse

Deutschland wird im internationalen Standortvergleich voraussichtlich höhere Gestehungskosten für fluktuierende und grundlastfähige Energie (Strom und Wasserstoff) haben. Für die Produktion industrieller Grundstoffe bedeutet dies, dass Energiekosten mit zunehmender Verlagerung ins Ausland abnehmen.

In diesem Kapitel analysieren wir die zukünftigen Energiekosten für die betrachteten energieintensiven Industrien im internationalen Vergleich (entsprechend dem in Kapitel 3.2 beschriebenen Vorgehen). Der Fokus liegt dabei auf den Kostenunterschieden bei einer Umstellung der Produktionsrouten auf klimaneutrale Produktionsprozesse, basierend auf Strom und Wasserstoff aus regenerativen Energiequellen. Im Vergleich der Energiekosten in den Produktionsprozessen berücksichtigen wir zudem Transportkosten für den Import von Energie bzw. Vor- oder Endprodukten.

Dieses Kapitel ist wie folgt strukturiert:

- ▶ In Kapitel 5.1 analysieren wir als ersten Schritt die **Kosten der Energieproduktion von Strom und Wasserstoff** für Deutschland und sieben Vergleichsländer.
- ▶ Auf Basis Energiekosten in den Ländern betrachten wir als zweiten Schritt in Kapitel 5.2 die **Energie- und Transportkosten in der Produktion** der vier Grundstoffe Stahl, Aluminium, Ammoniak und High Value Chemicals. Dabei vergleichen wir die vollständige heimische Produktion, verschiedene Verlagerungsstufen bis hin zum Import des Produktes.
- ▶ In Kapitel 5.3 diskutieren wir **Schlussfolgerungen aus dem Vergleich von Energie- und Industrieproduktion**, um daraus generelle Trends abzuleiten, die als Grundlage für die Betrachtung strategischer Unternehmensreaktionen im nachfolgenden Kapitel 6 dienen.

In diesem Kapitel beleuchten wir die Energie- und Transportkosten der Grundstoffe mit einem Fokus auf das Jahr 2045. Ergebnisse für 2030 stellen wir ausführlich im Anhang in Kapitel 9.3 dar.

5.1 Nationale und internationale Energiekosten

Ausgangsbasis für die komparative Analyse der Verlagerungsstufen der energieintensiven Industrien sind die Kosten der Energieträger zukünftiger Produktionsverfahren Strom und Wasserstoff. Wie in Kapitel 3.2 erläutert, gehen wir über die Betrachtung der reinen Gestehungskosten hinaus und analysieren die zusätzlichen Kosten der Zwischenspeicherung für eine grundlastfähige Energiezufuhr der Industrie. Zudem berücksichtigen wir die Möglichkeit von Energieimporten nach Deutschland (über den Transport von Wasserstoff und ggf. Wasserstoff-Derivate).

Die Darstellung der nationalen und internationalen Energiekosten ist wie folgt gegliedert:

- ▶ In Kapitel 5.1.1 betrachten wir die Kosten von Strom. Dabei zeigen wir neben den Kosten für die volatile Stromgestehung (LCOE⁵⁴) auch die Kosten für ein Grundlastprodukt (das beinhaltet die Kosten einer Strukturierung zu einem Grundlastprodukt mittels Strom- und Wasserstoffspeicherung sowie Wasserstoff-Rückverstromung).
- ▶ Kapitel 5.1.2 erläutert die Kosten von Wasserstoff. Wir unterscheiden dabei wieder zwischen den Kosten für die reine volatile Gestehung (LCOH), sowie den Kosten für ein Grundlastprodukt (über Überbau von EE-Kapazitäten, sowie Speicherung von Strom vor Elektrolyse in Batterien und Speicherung von Wasserstoff in Drucktanks oder Kavernen).
- ▶ In Kapitel 5.1.3 analysieren wir den Einfluss von Wasserstofftransport (per Pipeline und per Ammoniaktanker) auf die (Import-)Kosten von Wasserstoff in Deutschland.

5.1.1 Stromkosten

Eine wesentliche Grundlage für die Energiekosten sind zunächst die volatilen Gestehungskosten von Strom. Diese reflektieren Wind- und Sonnenvoraussetzungen, eingesetzte Technologien und deren Kapital- und Betriebskosten. Die im Folgenden diskutierten Ergebnisse basieren auf dem eingesetzten Optimierungsmodell (siehe Kapitel 3.2).

Chile, Australien und die VAE haben die geringsten Gestehungskosten für Strom und liegen alle unter 20 €/MWh (Abbildung 5-1, rote Linie). Die Gestehungskosten von Strom aus Offshore-Wind in Deutschland sind im Vergleich zu den bestehen internationalen Standorten bis zu doppelt so hoch. Das hat mehrere Gründe:

- ▶ Unter anderem sind die Investitionsausgaben für einen Offshore-Windanlagenpark im Vergleich zu anderen Erneuerbaren, z. B. Onshore-Wind oder PV, höher.
- ▶ Zudem ist der deutsche Standort im Vergleich zu internationalen Standorten weniger stark ausgelastet. Zwar ist die Nordsee der beste deutsche Standort in Bezug auf Volllaststunden, denn der Wind weht hier stärker und gleichmäßiger als an Land. Jedoch gibt es international noch Standorte mit höheren Volllaststunden (siehe Abbildung 3-4). PV ist aufgrund der recht geringen Sonneneinstrahlung in Deutschland deutlich weniger geeignet für eine konstante Bereitstellung von Strom.⁵⁵

Kosten von Strom steigen durch Veredelung auf ein Grundlastprodukt stark an – hybride Systeme gut geeignet

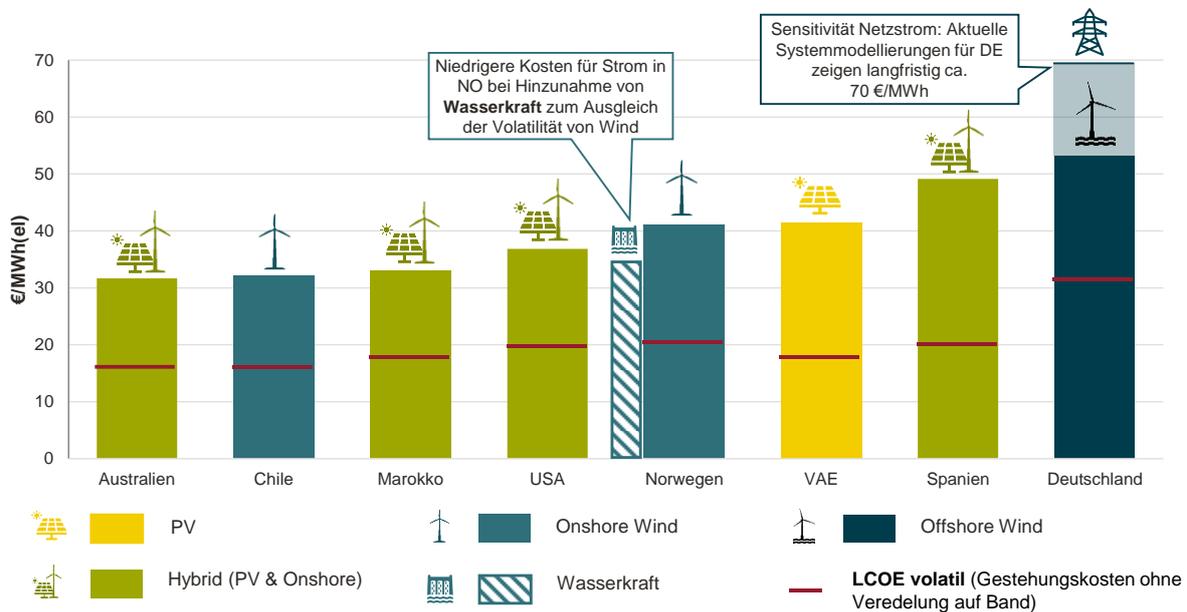
Da für die betrachteten energieintensiven Industrieprozesse eine weitestgehend grundlastfähige Stromversorgung benötigt wird, betrachten wir in den folgenden Analysen die Kosten für Strom als Grundlastprodukt (siehe Abbildung 5-1). Diese liegen deutlich über den reinen Gestehungskosten, denn die Veredelung führt zu einem Kostenanstieg von bis zu 150 Prozent. Zum Beispiel betragen die

⁵⁴ Stromgestehungskosten, auch Levelised Costs of Electricity (LCOE), bezeichnen das Verhältnis zwischen allen Kosten und allen Erträgen einer Anlage und sind damit die gemittelten Stromgestehungskosten. Die Kosten ergeben sich aus den CAPEX, den fixen und den variablen Betriebskosten, ggf. den Brennstoffkosten, im Fall von erneuerbaren Energien sind diese gleich null, sowie der angestrebten Kapitalverzinsung über den Betriebszeitraum. Siehe auch Kapitel 3.2 für eine ausführliche Erläuterung.

⁵⁵ Hybride Systeme aus Wind und PV spielen bei volatilen LCOE noch keine Rolle, denn für reine Gestehungskosten ist immer eine der beiden Energiequellen günstiger. Bei der Minimierung von Kosten zur volatilen Stromgestehung wird also im Optimum immer nur die günstigere Technologie gebaut. Das ändert sich jedoch bei grundlastfähiger Stromgestehung: Hier ist die Kombination aus Wind und PV meistens vorteilhaft, um höhere Volllaststunden und damit verbunden geringeren Speicherbedarf und niedrigere Kosten zu erreichen.

Gestehungskosten bei einem volatilen Profil in Deutschland etwa 31 €/MWh, während die Kosten einer grundlastfähigen Versorgung etwa 53 €/MWh betragen.

Abbildung 5-1: Gestehungskosten von Strom (Grundlastprodukt) im Jahr 2045



Quelle: Frontier Economics

Eine möglichst konstante Stromgestehung im Tages- und Jahresverlauf ist ein wesentlicher Treiber für geringe Kosten für Strom als Grundlastprodukt. Das heißt, hohe Volllaststunden und geringe saisonale Schwankungen sind von besonderem Vorteil und sorgen für geringeren Speicher-, beziehungsweise Rückverstromungsbedarf. Australien, Chile und Marokko haben hierbei die besten Voraussetzungen und liegen bei den niedrigsten Kosten für grundlastfähigen Strom von etwas über 30€/MWh in 2045. Deutschland hat im internationalen Vergleich mit 53€/MWh die höchsten Kosten. Diese liegen um bis zu 70 Prozent höher als die Kosten der günstigsten Standorte. Unter Berücksichtigung von Opportunitätskosten (höherer Knappheitswert von Strom angesichts begrenzter einheimischer Potentiale), wäre der Unterschied voraussichtlich noch größer. Aktuelle Marktmodellierungen prognostizieren zum Beispiel längerfristige Strompreise von rund 70€/MWh⁵⁶.

Der Vergleich der Kosten verschiedener EE-Quellen zeigt, dass hybride Systeme häufig am besten geeignet sind, um grundlastfähigen Strom zu produzieren (siehe Abbildung 5-1). Eine Ausnahme ist, aufgrund hervorragender Windbedingungen, Chile.⁵⁷ Norwegen ist das einzige betrachtete europäische Land, das international wettbewerbsfähige Stromkosten hat – vor allem dann, wenn Wasserkraft zum Ausgleich des volatilen Windprofils genutzt wird. Das spanische Hybridprofil hingegen schneidet schlechter ab als andere Vergleichsländer. Neben niedrigeren Volllaststunden für PV und Wind weist Spanien deutliche saisonale Schwankungen und somit auch einem höheren Speicherbedarf auf. Zusätzlich sind die Kapitalkosten höher als in Vergleichsländern wie Australien, USA, Norwegen und VAE, wobei dieser Effekt nicht allzu stark ins Gewicht fällt (siehe Exkurs Kapitalkosten am Ende von

⁵⁶ Basierend auf Frontier Investment- und Dispatch-Modell für 2040.

⁵⁷ Obwohl PV für Chile als Option zur Verfügung steht, beinhaltet die kostenoptimale Lösung des Modells keine PV-Kapazität. Das heißt hier bietet ein hybrides System aus PV und Wind keine Kostenvorteile gegenüber einer reinen Windlösung.

Kapitel 5.1.2). Insgesamt sind die Kosten für grundlastfähigen Strom in Spanien im Ländervergleich recht hoch.

5.1.2 Wasserstoffkosten

Neben Strom ist Wasserstoff ein zentraler Baustein auf dem Weg in die Klimaneutralität energieintensiver Industrien. In zukünftigen klimaneutralen Produktionsprozessen kann Wasserstoff sowohl als Energieträger, als auch als „Rohstoff“ für industrielle Grundprodukte (wie Ammoniak oder High Value Chemicals) eingesetzt werden.

Dieser Abschnitt vergleicht die Kosten nationaler und internationaler Wasserstoffproduktion. Für Industrieprozesse ist eine nahezu grundlastfähige Energiezufuhr relevant. Analog zu Strom unterscheiden wir für Wasserstoff daher ebenfalls zwischen Kosten für die reine dargebotsabhängige Gesteuerung (LCOH), sowie den Kosten für ein Grundlastprodukt (über Speicherung in Drucktanks oder Kavernen).

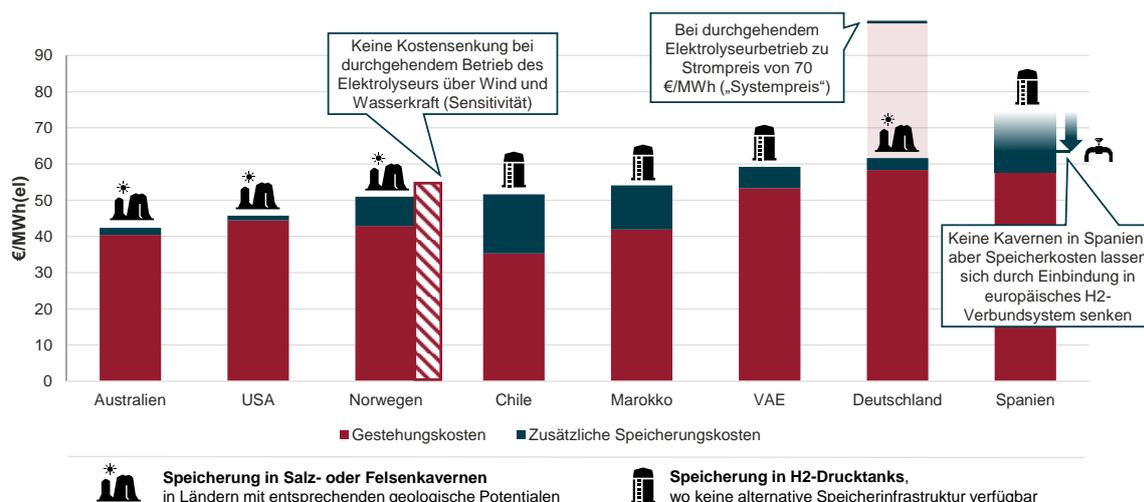
Chile mit den geringsten Gesteuerungskosten für Wasserstoff

Die volatilen Gesteuerungskosten für Wasserstoff sind, ähnlich wie die volatilen Stromgesteuerungskosten, in erster Linie von den Wind-/Sonnen-Voraussetzungen und der eingesetzten Stromerzeugungstechnologie abhängig. Chile hat aufgrund hervorragender Windbedingungen mit 35€/MWh die geringsten Gesteuerungskosten für Wasserstoff, gefolgt von Australien und Marokko (beides hybride Systeme), in 2045 (Abbildung 5-2). Deutschland hat unter allen Ländern die höchsten Wasserstoffgesteuerungskosten – diese liegen mit 58 €/MWh um bis zu 65 Prozent über den günstigsten Vergleichsländern. Dabei sind besonders geeignete Standorte mit hohen Auslastungen hinterlegt⁵⁸ und Opportunitätskosten auf Nachfrageseite⁵⁹ durch begrenzte Erzeugungspotenziale, die voraussichtlich im deutschen Markt besonders relevant sein könnten, nicht berücksichtigt.

⁵⁸ Für die Analyse wurden Standorte mit idealen Bedingungen zur Stromgesteuerung gewählt und theoretische Volllaststunden aus Wettermodellen angenommen. Die angenommene Lebenszeit der Anlagen liegt bei 25 Jahren. Im Ergebnis führt dies zu einem niedrigen Kostenniveau. Dieser optimistische Ansatz ist über alle Länder konsistent. (Vergleichbarkeit zwischen Ländern als entscheidendes Kriterium für die Energiekostenanalyse ist somit gegeben.)

⁵⁹ Die Sensitivität für Deutschland mit einem exemplarischen Systempreis von 70 €/MWh Netzstrom im Jahr 2045 zeigt, dass tatsächliche Kosten für Wasserstoff in Deutschland höher sein könnten. Offshore Wind stellt eine günstige und mit hohen Volllaststunden besonders gut geeignete Stromquelle für die Wasserstoffproduktion dar, jedoch sind die Potenziale hierfür begrenzt. Für andere Stromquellen bzw. Netzstrom wird die Wasserstoffproduktion voraussichtlich teurer sein.

Abbildung 5-2: Kosten für Wasserstoff im Jahr 2045



Quelle: Frontier Economics

Günstige Speichermöglichkeiten sind für Veredelung von Wasserstoff als Grundlastprodukt von Vorteil

Als relevanten Input für die Industrie betrachten wir eine annähernd konstante Bereitstellung von Wasserstoff, d. h. Wasserstoff als Grundlastprodukt. Damit kommen zu den reinen Wasserstoff-Gestehungskosten die Mehrkosten der Veredelung zu grundlastfähigem Wasserstoff, unter anderem durch Überbau von EE-Kapazität⁶⁰ und Speicherung (in Drucktanks oder Kavernen). Die Grundlastlieferung von Wasserstoff erfolgt dann, variierend je nach stündlicher Wind- und Sonneneinspeisung, aus dem Elektrolyseur und einem Speicher.⁶¹

In der Analyse differenzieren wir die lokalen Speichermöglichkeiten. Im Vergleich zu Wasserstoff-Drucktanks sind die Speicherkosten bei Nutzung von Salz- oder Felsenkavernen deutlich niedriger. Länder mit Plänen für Speicher, oder bereits bestehender Speicherinfrastruktur, haben hier einen klaren Vorteil: Australien und die USA weisen aufgrund geringer Speicherkosten auch insgesamt die niedrigsten Kosten für die Produktion von grundlastfähigem Wasserstoff auf (siehe Abbildung 5-3). Und auch Deutschland steht dank bestehender Speicherinfrastrukturen besser als bei den reinen Gestehungskosten da, doch die Nachteile niedriger Volllaststunden überwiegen – so sind in Deutschland die Kosten für Grundlast-Wasserstoff bis zu 45 Prozent höher als in Vergleichsländern. Ähnlich wie bei Strom ist auch bei Wasserstoff Norwegen der einzige wettbewerbsfähige Standort in Europa unter den betrachteten Vergleichsländern.

Die Kosten für grundlastfähigen Wasserstoff sind für Spanien in unserer Analyse höher als in anderen Ländern. Ausschlaggebend dafür sind die saisonalen Schwankungen im spanischen EE-Profil, die stärker ausfallen als in den Vergleichsländern. Aufgrund dieser Schwankungen erfolgt die

⁶⁰ Siehe auch Kapitel 3.2 für eine ausführliche Erläuterung hierzu.

⁶¹ Eine konstante Bereitstellung von Wasserstoff bedeutet nicht, dass der Elektrolyseur konstant Wasserstoff produziert wird. Zwar ist, im Vergleich zur volatilen Bereitstellung von Wasserstoff, das System aus EE und Elektrolyseur so optimiert, dass der Elektrolyseur stärker ausgelastet wird. Jedoch reagiert der Elektrolyseur auch hier flexibel auf das Einspeiseprofil der erneuerbaren Energiequellen. Die eigentliche Veredelung auf ein Grundlastprodukt funktioniert über Wasserstoffspeicher (Drucktanks oder Kavernen). Diese Speicher werden in wind- bzw. sonnenreichen Stunden befüllt (die Wasserstoffproduktion ist in diesem Fall größer als der Bedarf). In wind- bzw. sonnenarmen Stunden kann der Speicher hingegen ausbleibende Strom- und damit Wasserstoffproduktion ausgleichen und entleert sich.

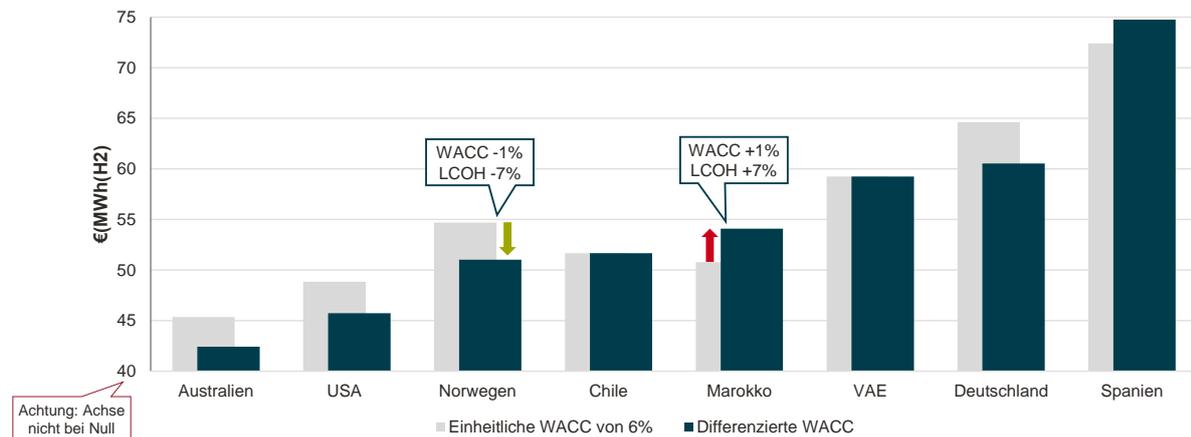
Wasserstoffproduktion ungleichmäßiger, sodass die Auslastung der Elektrolyseanlagen geringer ist und ein größerer Speicherbedarf für die Bereitstellung von grundlastfähigem Wasserstoff entsteht. Der Speicherbedarf wird über, im Vergleich zu Kavernen teurere, Wasserstoff-Drucktanks gedeckt, da es in Spanien keine bestehende oder geplante Kaverneninfrastruktur gibt. Eine Reduktion der Speicherkosten wäre, neben der Erschließung einer Kaverneninfrastruktur, auch über eine direkte Anbindung der Wasserstoffproduktion an ein europäisches Wasserstoffverbundsystem möglich: Die Einspeisung in das Pipelinenetz würde den lokalen Speicherbedarf senken. Zudem müsste dann die großskalige saisonale Speicherung von Wasserstoff nicht in Spanien stattfinden, sondern könnte z. B. in Kavernen in Deutschland verlagert werden (siehe auch Abbildung 5-4).

Exkurs: Gestehungskosten erneuerbarer Energien reagieren sensibel auf Änderungen in den Kapitalkosten

Wie in Kapitel 3.2 beschrieben, nehmen wir in dieser Studie differenzierte Kapitalkosten für die Finanzierung der Investitionen zur Strom- und Wasserstoffproduktion an.⁶² Abbildung 5-3 zeigt beispielhaft für Wasserstoff im Jahr 2045 die Auswirkung dieser Differenzierung und vergleicht Wasserstoffkosten bei einheitlichem WACC von 6 Prozent (in grau) mit den Kosten bei länderspezifischen Kapitalkosten (in blau). Niedrigere Finanzierungskosten verschaffen einen klaren Vorteil im Energiekostenvergleich.

Zum Beispiel hätte Marokko im Vergleich zu Norwegen bei einheitlichen WACC niedrigere Wasserstoffkosten. Durch die Differenzierung nehmen Kosten für Marokko jedoch zu und für Norwegen ab. So ist im Ergebnis Norwegen günstiger als Marokko aufgrund niedrigerer Finanzierungskosten. Auch Deutschland profitiert verglichen mit anderen Standorten von niedrigen Kapitalkosten, jedoch können diese die strukturellen Nachteile nicht ausgleichen. Standorte mit hohen Volllaststunden, günstigen Speicheroptionen und geringen Kapitalkosten, z. B. Australien oder die USA, stehen insgesamt am besten da.

Abbildung 5-3: Auswirkungen der Kapitalkostendifferenzierung auf Gestehungskosten von grundlastfähigem Wasserstoff im Jahr 2045



Quelle: Frontier Economics

⁶² Zur Differenzierung nehmen wir unterschiedliche durchschnittliche gewichtete Kapitalkosten (WACC) an. WACC bewerten die Risiken und die Wirtschaftlichkeit einer Unternehmung und dienen gleichzeitig als Referenzwert für die Mindestrendite von Investitionsprojekten. Siehe auch Kapitel 3.2 für eine ausführliche Erläuterung.

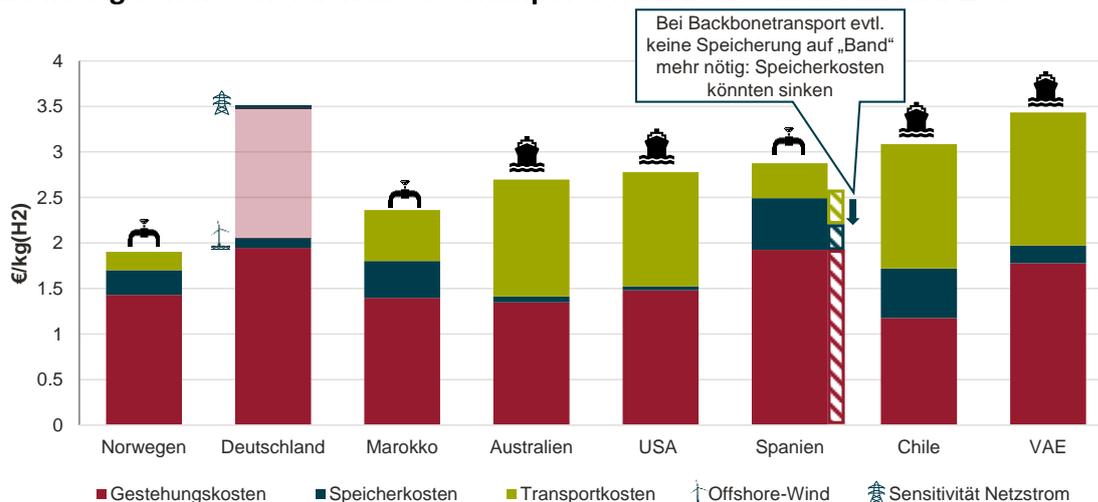
5.1.3 Transportkosten von Wasserstoff

Neben der lokalen Energieerzeugung kann Wasserstoff auch aus Ländern mit guten Voraussetzungen für die Erzeugung importiert werden. Neben den Gestehungskosten von Wasserstoff haben dabei auch die jeweiligen Transportkosten einen wesentlichen Einfluss auf die deutschen Wasserstoff-Importkosten (siehe Abbildung 5-4), sodass sich die Reihenfolge der Länder mit den niedrigsten Kosten für Wasserstoff – importiert nach Deutschland – ändert.

Wasserstoffimport vor allem per Pipeline lohnenswert, Schiffstransport deutlich teurer

Der Wasserstoff-Pipelinetransport nach Deutschland ist deutlich günstiger als Schiffstransport via Ammoniak. Norwegen und Marokko sind so dank möglicher Pipelineroute nach Deutschland die günstigsten Länder im Vergleich für Wasserstoffimporte. Auch Spanien verbessert sich im Vergleich zu den Gestehungskosten, vor allem wenn man davon ausgeht, dass die Speicherkosten bei der Anbindung der Wasserstoffproduktion an ein europäisches Verbundnetz sinken würden. In diesem Fall wären Importe aus Spanien günstiger als die kosteneffizienteste Schiffsimportroute aus Australien. Bei Berücksichtigung der Transportkosten zeigt sich, dass auch nationale Wasserstoffherzeugung konkurrenzfähig zu Wasserstoffimporten sein kann. Wie bereits erwähnt besteht aber besonders in Deutschland die Herausforderung mangelnder Verfügbarkeit günstiger Produktionsflächen.

Abbildung 5-4: Kosten für Wasserstoffimporte nach Deutschland im Jahr 2045



Quelle: Frontier Economics

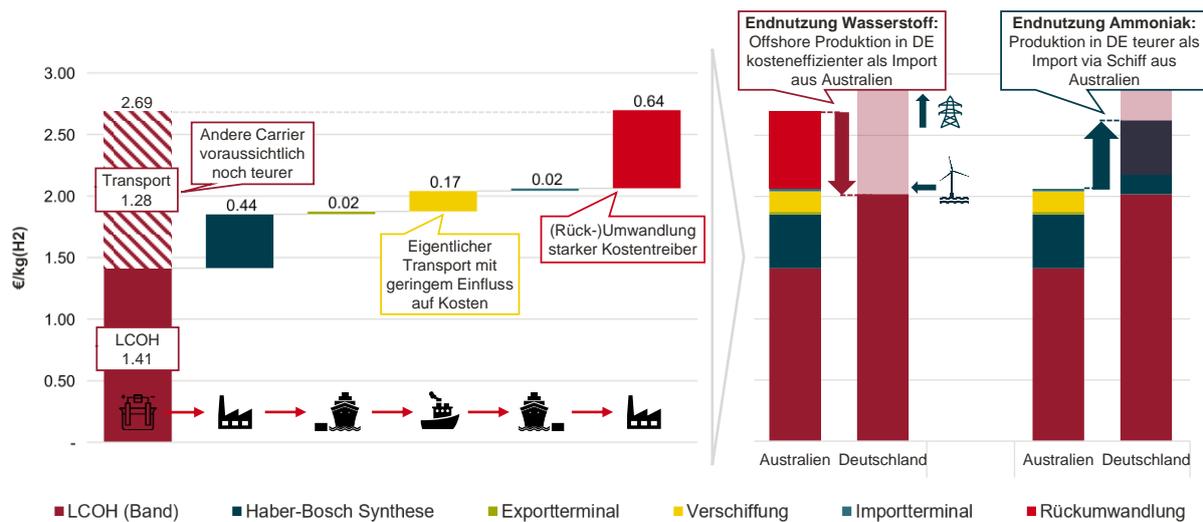
Die Gesamtbetrachtung (siehe Abbildung 5-4) unterstreicht, welchen Einfluss Systemeffekte für zukünftige Wahl von Wasserstoff-Importrouten haben: Die Nutzung von Pipelinenetzen oder Kavernenspeichern bietet deutliche Kostenvorteile und führt dazu, dass Länder mit den global niedrigsten Energiekosten (wie z. B. Chile) nicht immer am geeignetsten für kostengünstigen Wasserstoffbezug sind.

Die Wirtschaftlichkeit von Wasserstoffimporten nach Deutschland hängt von der Endnutzung ab

Die Analyse der Bestandteile von Schiffstransportkosten von Wasserstoff via Ammoniak (am Beispiel von Australien im Jahr 2045) zeigt, dass die Transportdistanz eine geringe Auswirkung auf die Transportkosten hat. Stattdessen entstehen Kosten vor allem durch energieintensive Umwandlung und Rückumwandlung, diese machen im Beispiel etwa 84 Prozent der gesamten Transportkosten aus.

Bei Nutzung von reinem Wasserstoff sind Schiffsimporte dadurch nicht wettbewerbsfähig. Das ändert sich allerdings bei direkter Nutzung von wasserstoffbasierten Energieträgern, wie z. B. Ammoniak oder Methanol. Zum Beispiel zeigt der Vergleich von deutscher Energieproduktion mit australischen Importen, dass bei der Endnutzung von Wasserstoff inländische Produktion mit Offshore-Wind um 25 Prozent günstiger ist (ohne Berücksichtigung von Opportunitätskosten aufgrund von Knappheiten) als der Import von Wasserstoff aus Australien. Wird jedoch Ammoniak anstatt Wasserstoff in Deutschland benötigt bzw. eingesetzt, so fällt für die australische Importroute die Rückumwandlung weg, während für inländische Produktion noch ein weiterer energieintensiver Schritt, nämlich die Haber-Bosch Synthese, hinzukommt. Damit dreht sich das Kostenverhältnis um: Inländische Produktion ist um 28 Prozent teurer als Ammoniakimport aus Australien.

Abbildung 5-5: Kostenbestandteile von Wasserstoffimport aus Australien im Jahr 2045



Quelle: Frontier Economics

Dieses Beispiel macht deutlich, dass es bei der „Optimierung“ der Importrouten keine einheitliche Lösung für alle Industrien und Anwendungsfälle gibt. Stattdessen hängt die Wirtschaftlichkeit von der Endnutzung und der Knappheit (bzw. den Opportunitätskosten) der Energie in den jeweiligen Ländern ab – in Deutschland werden Opportunitätskosten zukünftig dabei absehbar höher sein als in anderen (für einen Energieexport in Frage kommenden) Ländern.

5.2 Energie- und Transportkosten energieintensiver Grundstoffe

Wir betrachten die Wertschöpfungsketten der Primärherstellung von vier Grundstoffen (Stahl, Aluminium, Ammoniak und High Value Chemicals) und vergleichen Energie- und Transportkosten von bis zu vier Verlagerungsstufen pro Grundstoff:

- i) vollständig heimische Produktion
- ii) heimische Produktion mit importiertem Wasserstoff
- iii) heimische Produktion mit aus dem Ausland importierten Zwischenprodukten
- iv) vollständige Produktion im Ausland und anschließender Import des Grundstoffs

In der Analyse der industriellen Produktionsprozesse betrachten wir ausschließlich Energie- und Transportkosten (siehe Kapitel 3.2 für eine ausführliche Erläuterung). Die Energiekosten (siehe Kapitel 5.1) beruhen auf einer rein kostenseitigen Modellierung in einem geschlossenen System. Andere Faktoren, die in der Realität Strom- und Wasserstoffpreise beeinflussen, sind darin nicht abgebildet. Dazu zählen vor allem knappheitsbedingte Opportunitätskosten: Deutschland wird voraussichtlich höhere Opportunitätskosten für die Nutzung von Strom haben als andere Länder, sodass etwaige Kostennachteile in der Praxis noch höher ausfallen könnten.

5.2.1 Stahl

Für die dekarbonisierte⁶³ Stahlproduktion betrachten wir drei Prozessschritte: Zunächst wird in einem vorgelagerten Schritt Wasserstoff produziert. Dieser dient dann als Input für den ersten Schritt der Stahlproduktion, bei dem Eisenerz unter Einsatz von Wasserstoff zu DRI reduziert wird. Das DRI wird im finalen Schritt im Elektrolichtbogenofen zu Rohstahl verarbeitet. Wie in Kapitel 3.2 beschrieben, analysieren wir für jeden Prozessschritt die Kosten heimischer Produktion und vergleichen diese mit drei verschiedenen Verlagerungsstufen der Wertschöpfungskette – dies führt zu insgesamt vier Pfaden:

- ▶ Vollständig heimische Produktion von Rohstahl: Alle Prozesse, inklusive Energieerzeugung, finden in Deutschland statt;
- ▶ Heimische Produktion von DRI und Rohstahl mit importiertem Wasserstoff: Verlagerung der Energieproduktion;
- ▶ Heimische Produktion von Rohstahl mit DRI-Import: Verlagerung der Energie- und DRI-Produktion;
- ▶ Vollständiger Import von Rohstahl: Gesamte Verlagerung der Energie-, DRI- und Rohstahlproduktion.

Für diese vier Verlagerungsstufen betrachten wir Energie- und Transportkosten und vergleichen auf dieser Basis die Kosteneffizienz der Routen (siehe Abbildung 5-6). Die Ergebnisse zeigen, dass die Summe aus Energie- und Transportkosten der Produktion mit zunehmender Verlagerung abnimmt. Die zunehmende Verlagerung in Länder mit niedrigeren Energiekosten führt also mit jedem Schritt zu zusätzlichen Einsparungen, die größer sind als mögliche zusätzliche Transportkosten. In Summe sind die Kosten für die vollständige Produktion in Deutschland um ca. 25 Prozent teurer als für die günstigste betrachtete Route, den Rohstahlimport aus Australien. Generell fallen die relativen Kostennachteile der Stahlproduktion in Deutschland jedoch geringer aus als bei anderen Grundstoffen.

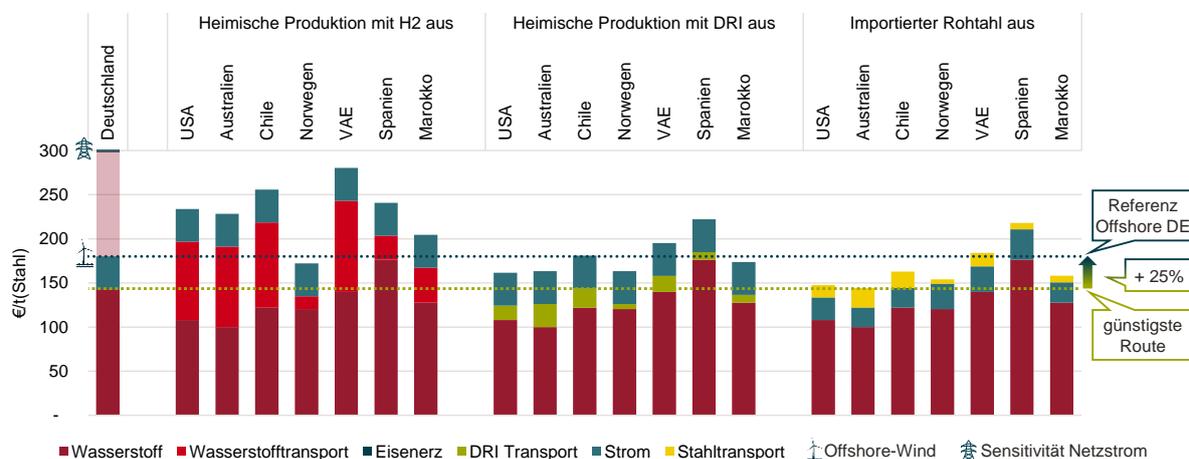
Für die einzelnen Verlagerungsstufen zeigen die Ergebnisse:

- ▶ Die Heimische Produktion in Deutschland hat gewisse Kostennachteile im Vergleich zu den günstigsten Routen, vor allem gegenüber dem Import von Rohstahl. Doch sind die Produktionsbedingungen für die Banderzeugung von Wasserstoff mit Offshore-Wind in Deutschland aufgrund günstiger Speichermöglichkeiten nur moderat höher als in anderen Ländern – die Energiekostenunterschiede fallen deshalb nicht allzu groß aus.

⁶³ Für Dekarbonisierung analysieren wir anstatt der konventionellen Stahlherstellung über Hochofen und Konverter die Herstellung über DRI und Elektrolichtbogenofen (siehe auch Abbildung 4.6). Emissionen werden hier unter anderem dadurch vermieden, dass mit Wasserstoff ein klimaneutraler Input für die Reduktion zu Eisenerz verwendet wird.

- ▶ Die Route über Wasserstoffimporte ist insgesamt nicht konkurrenzfähig und meistens sogar teurer als die “all domestic” Route. Für Routen mit Schiffsimporten (wie z. B. USA oder Australien) treiben Wasserstoff-Transportkosten die Energiekosten für die Rohstahlproduktion stark in die Höhe. Im Vergleich zur vollständig heimischen Produktion wäre nur der Pipelineimport von Wasserstoffimport aus Norwegen günstiger.
- ▶ Der Import von DRI statt Wasserstoff senkt die Gesamtkosten, vor allem getrieben durch geringere Transportkosten. DRI-Import aus den USA ist hierbei die günstigste Option.
- ▶ Die Vollständige Auslagerung der Rohstahlerzeugung ist in Bezug auf Energie- und Transportkosten am kosteneffizientesten. Australien hat hier mit günstigen Strom- und Wasserstoffkosten unter allen betrachteten Routen und Ländern die besten Bedingungen. Der lange Transportweg von Australien nach Deutschland macht in Form von Transportkosten nur einen geringen Teil der gesamten Kosten aus.

Abbildung 5-6: Energie- und transportbedingte Kosten für verschiedene Verlagerungsstufen der Rohstahlproduktion im Jahr 2025



Quelle: Frontier Economics

Durch den hohen Anteil der Wasserstoffkosten bei der Rohstahlproduktion (z. B. in Deutschland knapp 80 Prozent der Energiekosten) haben Länder mit besonders niedrigen Gestehungskosten für Wasserstoff (Grundlastprodukt), z. B. Australien und die USA, einen Standortvorteil bei den Energiekosten. Strom spielt mit ungefähr 20 Prozent Energiekostenanteil eine geringere Rolle.

Die Transportkosten sind ein weiterer wichtiger Kostenbestandteil für den internationalen Vergleich der Standorte. Transport- und Umwandelungskosten sind für Wasserstoff erheblich (vor allem bei Schiffstransport) und sorgen dafür, dass die Verlagerungsstufe des Wasserstoffimports hohe Kosten mit sich bringt. Für den Import von DRI und Stahl hingegen machen Transportkosten lediglich einen geringeren Anteil aus, da der Transport von Feststoffen günstiger als Transport von gasförmigen Stoffen ist. Bei Schiffstransport sind Distanzen an sich kein entscheidender Treiber hinter den Ergebnissen aufgrund des geringen Anteils variabler Transportkosten. Die Fixkosten bei Schiffstransport (wie Hafengebühren, sowie Be- und Entladezeit) fallen für alle Strecken nahezu gleich an.⁶⁴ Von Deutschland

⁶⁴ Siehe dazu auch Kapitel 5.1.3.

weiter entfernte Länder wie Australien haben im Vergleich zu näheren Ländern wie Norwegen in Punkto Schiffstransport kostenseitig damit keinen großen Nachteil.

Der DRI-Import könnte eine mögliche „Sollbruchstelle“ in der Wertschöpfungskette (d. h. potenziell geographische Verlagerung der vorgelagerten Wertschöpfungsstufen) darstellen. Das Einsparpotenzial durch den Import von DRI, d. h. für die Verlagerung des vorherigen Produktionsschritts, ist relativ am größten, die Verlagerung einer weiteren Prozessstufe würde allein unter Energie- und Transportkostengesichtspunkten nur noch geringere inkrementelle Vorteile bieten, die vermutlich durch andere Nachteile der Verlagerung – die nicht Gegenstand der Analyse sind – kompensiert würden. Bei Import von DRI würde der letzte Schritt der Rohstahlproduktion in Deutschland verbleiben. Insgesamt sind jedoch die Kostenunterschiede für Stahl relativ gering im Vergleich zu den anderen drei betrachteten Grundstoffen, die in den folgenden Abschnitten genauer beleuchtet werden.

5.2.2 Aluminium

Für die Herstellung von Primäraluminium betrachten wir den einstufigen Prozess der Schmelzflusselektrolyse, bei dem aus Bauxit unter Einsatz von Strom Aluminium gewonnen wird. Wir vergleichen zwei mögliche Szenarien⁶⁵:

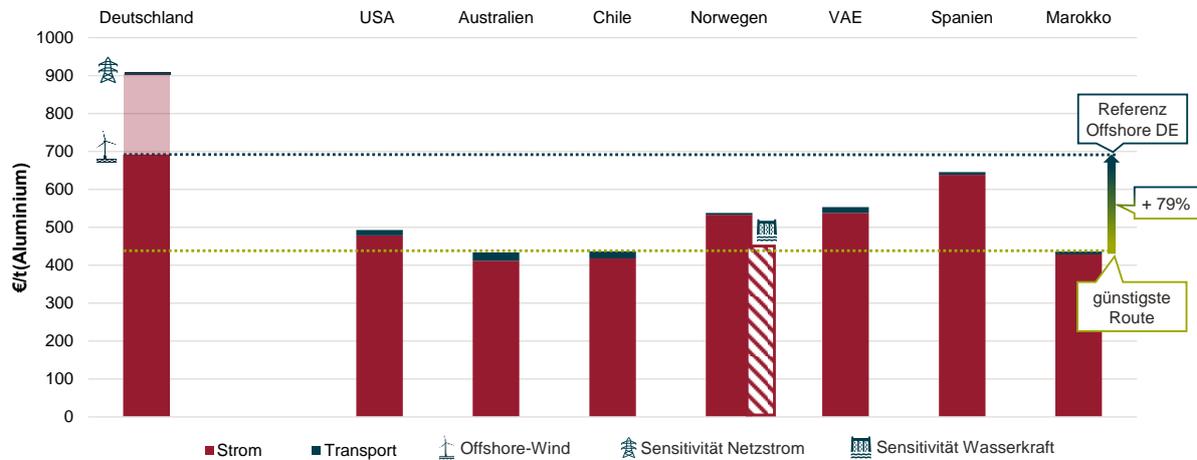
- ▶ Vollständig heimische Produktion von Primäraluminium und
- ▶ Import von Primäraluminium: Produktion im Ausland mit anschließendem Transport nach Deutschland.

Die Ergebnisse für das Jahr 2045 (siehe Abbildung 5-7) zeigen, dass Deutschland in der Aluminiumproduktion zukünftig potenziell hohe Kostennachteile hat:

- ▶ Der Kostenaufschlag der heimischen Produktion gegenüber der günstigsten Importroute (aus Australien) ist für Aluminium mit knapp 80 Prozent besonders hoch.
- ▶ Bei Auslagerung der Aluminiumproduktion sind Australien und Chile die Standorte mit den geringsten Produktionskosten. Da der Transport kaum ins Gewicht fällt sind beide Länder auch die günstigsten Routen für den Aluminiumimport nach Deutschland.

⁶⁵ Siehe Kapitel 3.2: Strom lässt sich nur über eine Netzanbindung sinnvoll importieren und ist zudem anders als Wasserstoff(-derivate) schlecht speicherbar – damit ist ein Vergleich von Importen im Rahmen unserer Methodik nicht sinnvoll.

Abbildung 5-7: Energie- und transportbedingte Kosten für verschiedene Verlagerungsstufen der Aluminiumproduktion im Jahr 2045



Quelle: Frontier Economics

Treiber hinter den Ergebnissen ist die hohe Stromintensität der Produktion, sodass die Stromkosten die Energiekostenunterschiede nahezu vollständig bestimmen. Die Aluminiumproduktion ist damit in Ländern mit günstigem erneuerbarem grundlastfähigem Strom (z. B. Chile, Marokko) besonders kosteneffizient. Transportkosten spielen keine signifikante Rolle (die Kosten für den Transport von Aluminium als Feststoff sind im Verhältnis zu den Energiekosten gering).

Deutschlands Wettbewerbsfähigkeit in der Aluminiumproduktion wird unter Energiekosten-Gesichtspunkten eher abnehmen, denn die Bedingungen für eine grundlastfähige Bereitstellung von Strom sind deutlich schlechter als in anderen Ländern. Zum einen liegen reine Stromgestehungskosten bereits deutlich über den anderen betrachteten Ländern, außerdem bestehen keine ausgeprägten Kapazitäten an flexibler „grüner“ Leistung zum Ausgleich volatiler Wind- und Sonnenenergie, wie dies zum Beispiel in Norwegen mit Wasserkraft der Fall ist.

5.2.3 Ammoniak

Wir betrachten die Produktion von Ammoniak mittels dem etablierten Haber-Bosch-Verfahren unter Einsatz von Wasserstoff, Stickstoff und Strom. Für eine zukünftige CO₂-neutrale Produktion von Ammoniak bedarf es somit, im Gegensatz zu anderen Grundstoffen wie Stahl, keiner grundlegenden Umstellung der Produktionsverfahrens, jedoch unterstellen wir eine vollständige Bereitstellung von Strom und Wasserstoff aus erneuerbaren Quellen.

Für die Ammoniakproduktion betrachten wir drei verschiedene mögliche Verlagerungsstufen:

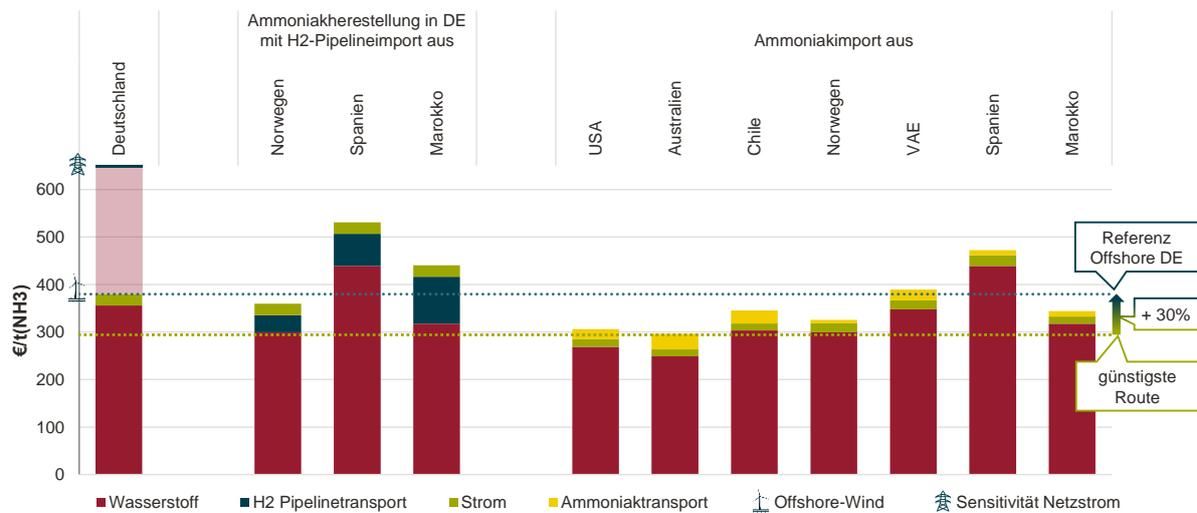
- ▶ Vollständig heimische Produktion von Ammoniak: Haber-Bosch und Wasserstoffproduktion in Deutschland;

- ▶ Heimische Produktion von Ammoniak mit per Pipeline importiertem Wasserstoff: Verlagerung der Energieproduktion;⁶⁶ und
- ▶ Import von Ammoniak: Vollständige Auslagerung von Wasserstoffproduktion und Haber-Bosch-Verfahren.

Im Vergleich der verschiedenen Verlagerungsstufen (siehe Abbildung 5-8 für das Jahr 2045) scheint die deutsche Produktion von Ammoniak in Bezug auf die Energiekosten global nicht konkurrenzfähig. Stattdessen sind die Kosten von Ammoniakimporten aus Ländern mit niedrigen Gestehungskosten für grundlastfähigen Wasserstoff günstiger:

- ▶ Die vollständig heimische Produktion von Ammoniak ist bis zu 30 Prozent teurer als alternative Produktionsrouten.
- ▶ Der Import von Wasserstoff via Pipeline zur Ammoniakproduktion in Deutschland bringt nur für die Route aus Norwegen Kostenvorteile. Insgesamt ist Wasserstoff-Pipelineimport aber nicht wirtschaftlich, vor allem verglichen mit der Alternative des direkten Ammoniakimports.
- ▶ Beim direkten Ammoniakimport schneiden Australien, die USA und Norwegen am besten ab – dies sind auch die Länder mit den geringsten Wasserstoffkosten (Grundlastprodukt). Die Auslagerung der Ammoniakproduktion führt zu den geringsten Kosten im Vergleich der verschiedenen Routen.

Abbildung 5-8: Energie- und transportbedingte Kosten für verschiedene Verlagerungsstufen der Ammoniakproduktion im Jahr 2045



Quelle: Frontier Economics

Die Ammoniakproduktion hat einen hohen Wasserstoffbedarf – in Deutschland machen die Wasserstoffkosten im Jahr 2045 beispielsweise mehr als 90 Prozent der gesamten Energiekosten aus. Die Wettbewerbsfähigkeit hängt also fast ausschließlich von Wasserstoffkosten ab, so dass Länder mit geringen LCOH (Grundlastprodukt) in der Produktion besonders konkurrenzfähig sind. Zudem ist der Ammoniaktransport nur mit geringen Kosten verbunden, denn im Gegensatz zu Wasserstoff sind für den

⁶⁶ Da Wasserstoff vor Schifftransport bereits zu Ammoniak umgewandelt wird, käme die Betrachtung von Wasserstoff-Schiffsimporten dem Ammoniak gleich. Aus diesem Grund betrachten wir bezüglich Wasserstoffimporten nur die Pipelinerouten.

Transport keine zusätzlichen energieaufwendigen Umwandlungsschritte nötig. Wie in Kapitel 5.1.3 erwähnt ist bei Endnutzung von Ammoniak daher auch Schiffsimport wirtschaftlich. Auch für Länder mit potenziell bestehender Pipelineverbindung nach Deutschland (Norwegen, Spanien, Marokko) sind Schiffsimporte von Ammoniak günstiger als Wasserstoffimport per Pipeline.⁶⁷

5.2.4 High Value Chemicals

High Value Chemicals sind Bestandteil der energieintensiven Grundstoffchemie. Als zukünftiges CO₂-neutrales Herstellungsverfahren betrachten wir beispielhaft für die Stoffgruppe der Olefine einen zweistufigen Prozess. Für die Olefin-Produktion wird zunächst (1) aus grünem Wasserstoff und abgetrenntem CO₂ Methanol produziert, aus welchem dann (2) im Methanol-to-Olefin (MTO)-Prozess Olefine gewonnen werden. Basierend auf diesen Prozessen betrachten wir folgende Verlagerungsstufen der Wertschöpfungskette von High Value Chemicals:

- ▶ Vollständig heimische Produktion von Olefinen: Alle Prozesse, inklusive Energieerzeugung, finden in Deutschland statt;
- ▶ Methanolsynthese und MTO in Deutschland mit importiertem Wasserstoff: Verlagerung der Energieproduktion;
- ▶ Heimische Produktion von Olefinen mit Import von Methanol: Verlagerung der Energie- und Methanolproduktion;
- ▶ Vollständiger Import von Olefinen: Gesamte Verlagerung von Wasserstoffproduktion, Methanolsynthese und MTO.

Allgemein zeigen die Ergebnisse (siehe Abbildung 5-9), dass die Kosten mit stärkerer Verlagerung der Wertschöpfungskette weiter sinken. Ausnahme ist, wie auch schon beim zuvor erläuterten Grundstoff Stahl, der Import von Wasserstoff – dieser bietet kaum Kostenvorteile. Der Import von High Value Chemicals ist im Vergleich aller möglichen Routen die günstigste Option, jedoch nur mit geringen Vorteilen gegenüber dem Methanolimport.

Insgesamt ist die Produktion von High Value Chemicals im Vergleich zu den anderen Grundstoffen am energieintensivsten und mit den höchsten Energiekosten verbunden. Auch die Kostenunterschiede zwischen den verschiedenen Verlagerungsstufen sind damit absolut gesehen am höchsten. Für die verschiedenen Stufen lässt sich Folgendes festhalten:

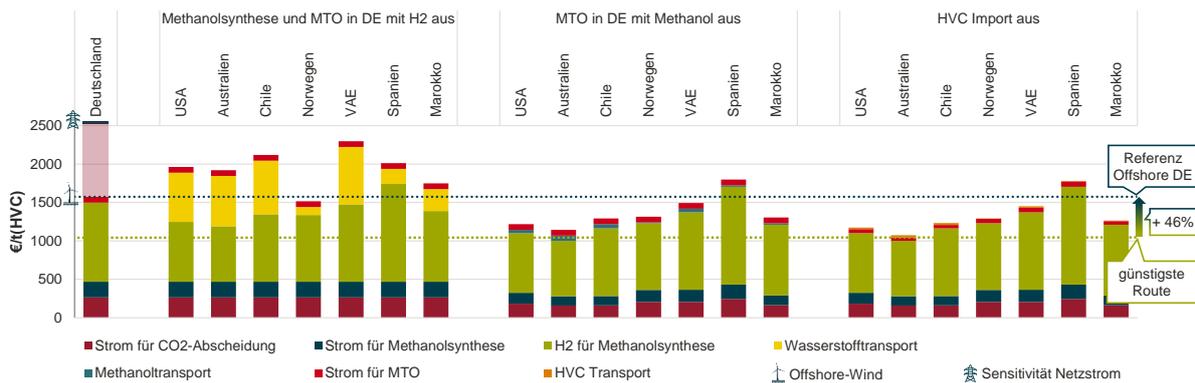
- ▶ Die heimische Produktion in Deutschland hat deutliche Kostennachteile und liegt im Vergleich bis zu 46 Prozent über den günstigsten Routen. Der absolute Nachteil bei den Energiekosten liegt für High Value Chemicals im Jahr 2045 bei ungefähr 500€ pro Tonne, bedingt durch einen hohen Wasserstoff- und Strombedarf.
- ▶ Die heimische Produktion mit Wasserstoffimporten ist, wie auch bei anderen Grundstoffen, rein in Bezug auf die Energiekosten nicht konkurrenzfähig – nur der Pipelineimport von Wasserstoff aus Norwegen kann Vorteile bieten.
- ▶ Der Import von Methanol bietet ein hohes Potenzial zur Kostenreduktion, denn die Methanolsynthese ist der energie- und damit kostenintensivste Schritt in der HVC-Produktion. Zudem ist Methanol als Flüssigkeit gut transportierbar. Lange Transportdistanzen via Schiff fallen kaum ins Gewicht, damit wird auch der Import aus entfernteren Standorten attraktiv: Methanol aus Chile

⁶⁷ Die Transportkosten pro Kilometer sind für Schiffstransport geringer als für Wasserstoffpipelines.

könnte Kosten im Vergleich zur vollständig heimischen Produktion von HVCs um knapp 20 Prozent senken, Methanolimport aus Australien sogar um über 25 Prozent.

- ▶ Die vollständige Auslagerung der Produktion von High Value Chemicals ist unter allen Routen zwar die kosteneffizienteste Option, bietet aber im Vergleich zum Import von Methanol nur noch geringe zusätzliche Einsparpotenziale (maximal zusätzlich fünf Prozent Energiekostensenkung). Der Import von High Value Chemicals aus Australien ist trotz großer Transportdistanz insgesamt am günstigsten, da Transportkosten nur einen äußerst geringen Teil der gesamten Energiekosten ausmachen.

Abbildung 5-9: Energie- und transportbedingte Kosten für verschiedene Verlagerungsstufen in der Produktion von High Value Chemicals im Jahr 2045



Quelle: Frontier Economics

Die CO₂-neutrale Herstellung von High Value Chemicals via Methanol und MTO benötigt große Mengen an Energie in Form von Strom und Wasserstoff: In Deutschland macht der direkte Einsatz von Strom etwa ein Drittel der Energiekosten aus, Wasserstoff etwa zwei Drittel. Während bei anderen Grundstoffen jeweils nur einer der beiden Energieträger die Kosten dominiert (Wasserstoff bei Stahl und Ammoniak, Strom bei Aluminium), sind für High Value Chemicals sowohl Strom als auch Wasserstoffkosten entscheidend für die Wettbewerbsfähigkeit eines Standortes. Australien, die USA, Chile und Marokko bieten für eine Kombination beider Energieinputs die besten Bedingungen. Transportdistanzen hingegen spielen fast keine Rolle: Aufgrund der hohen Energiekosten fällt der Anteil der Transportkosten noch geringer aus als bei anderen Grundstoffen.⁶⁸

Beim Vergleich der Kostensenkungen bei zunehmender Verlagerung könnte der Import von Methanol eine Art „Sollbruchstelle“ in der Wertschöpfungskette sein: Dieser Schritt bietet ein starkes Einsparungspotenzial im Vergleich zur vollständigen heimischen Produktion, dennoch verbleibt ein Teil der Wertschöpfung in Deutschland. Die vollständige Auslagerung der HVC-Produktion bringt nur noch eine geringe zusätzliche Kostensenkung. Zudem ist MTO ein Verbundprozess, bei dem verschiedene Kuppelprodukte entstehen. Solche Prozesse können zu Synergieeffekten führen, wenn die Produktion innerhalb eines Standortes mit anderen Prozessen integriert ist. Die Auslagerung einzelner HVCs, wie z. B. Ethylen, ist daher voraussichtlich aus produktionstechnischen Gründen nicht wirtschaftlich umsetzbar.

⁶⁸ Ausnahme ist der Schiffstransport von Wasserstoff. Hier entstehen die Kosten aber ebenfalls vorrangig nicht durch den eigentlichen Transport, sondern durch energieintensive Umwandlungsschritte (siehe Kapitel 5.1.3).

5.3 Schlussfolgerungen der komparativen Energiekostenanalyse

Energiekosten in Deutschland besonders hoch

Deutschland hat längerfristig unter den Vergleichsländern absehbar die höchsten Gestehungskosten für Strom (bis zu 100 Prozent höher als in den Vergleichsländern) und mit die höchsten Gestehungskosten für Wasserstoff (bis zu 65 Prozent höher). Der Nachteil fällt bei den Gestehungskosten für Bandlieferungen von Wasserstoff geringer aus, da gute Offshore Windprofile und Kavernenspeicher kosten-senkend wirken.

- ▶ Der Haupttreiber für die Kosten von Wasserstoff und Strom ist die Auslastung der Standorte (Volllaststunden). Saisonalität und Speicherkosten spielen für konstante Energiebereitstellung eine ebenfalls große Rolle.
- ▶ Kapitalmarktbedingungen sind ebenfalls ein signifikanter Einflussfaktor für Produktionskosten von Strom und Wasserstoff. Deutschland hat hier zwar gegenüber Marokko, Spanien und Chile einen Vorteil, jedoch reicht das nicht um Standortnachteile auszugleichen. Australien, Norwegen und die USA haben vergleichbare Kapitalkosten wie Deutschland.
- ▶ Zudem bestehen in Deutschland hohe Opportunitätskosten für Energie. Begrenzte erneuerbaren Erzeugungspotenziale und hoher Energiebedarf sorgen dafür, dass die Opportunitätskosten für die Verwendung der Energie in Deutschland zukünftig absehbar höher sein werden als in anderen (für einen Energieexport in Frage kommenden) Ländern. Dies bedeutet, dass die Kostennachteile der energieintensiven Industrie womöglich noch höher ausfallen können, als es die reinen Energiegestehungskosten implizieren.
- ▶ Wasserstoffimport (z. B. via Ammoniak) für die Industrieproduktion in Deutschland ist in der Regel teurer als der Einsatz von heimisch erzeugtem Wasserstoff. Es ist in vielen Fällen jedoch noch günstiger zumindest die erste Wertschöpfungsstufe der Grundstoffe „zum Wasserstoff zu bringen“, statt den Wasserstoff zu importieren.
- ▶ Der Nachteil bei Energiekosten aus heimischer Produktion wird über die Zeit absolut gesehen geringer durch eine Konvergenz der Energiekosten (z. B. durch Kapitalkostendegression der Elektrolyse).

Energiekosten sinken mit zunehmender Verlagerung

Während der Import von Wasserstoff zur Industriellen Nutzung in Deutschland fast immer die teuerste betrachtete Variante ist, sinken die gesamten Energiekosten mit zunehmendem Import von Zwischen- bzw. Endprodukten anstatt des Imports von Energie. Die gesamte Auslagerung der Wertschöpfung ist jeweils mit den größten Energiekostenvorteilen verbunden: Die Energiekosten bei vollständiger Produktion industrieller Grundstoffe in Deutschland sind längerfristig ungefähr 20 bis 80 Prozent höher als bei einer Auslagerung der Produktion, bei Berücksichtigung von Opportunitätskosten in Deutschland gegebenenfalls sogar bis zu 100 Prozent höher. Die inkrementellen Energiekosteneinsparungen sind jedoch bei einer Verlagerung der letzten Produktionsschritte geringer als bei einer Verlagerung der vorangegangenen Produktionsschritte bzw. Zwischenschritte. Die günstigsten Industrie-Produktionsstandorte sind:

- ▶ Australien (sehr gute EE-Bedingungen, niedrige Kapitalkosten)
- ▶ USA (gute Windbedingungen, niedrige Kapitalkosten)
- ▶ Chile (sehr gute Windbedingungen, höhere Kapitalkosten)
- ▶ Marokko (gute EE-Bedingungen, höhere Kapitalkosten, vsl. Pipeline-Anbindung)

Norwegen weist als europäischer Standort ähnlich geringe Energiekosten auf, vor allem wenn die Nutzung von Wasserkraft als Speicher bzw. Flexibilität für eine grundlastfähige Versorgung berücksichtigt wird – allerdings werden dabei Opportunitätskosten⁶⁹ für eine alternative Nutzung des Stroms bzw. der Flexibilität, zum Beispiel im nordischen Stromsystem, das auch an das kontinentaleuropäische Verbundnetz angebunden ist, nicht betrachtet.

Spanien weist bei den Energiekosten im Ländervergleich meist höhere Kosten auf. Dennoch gibt es für das Land Perspektiven als potenzieller Industriestandort oder als Exporteur von Wasserstoff für den europäischen bzw. deutschen Markt. Zum Beispiel könnte der Marktwert von Wasserstoff bzw. die Zahlungsbereitschaft in Deutschland ausreichend hoch für den Import von Wasserstoff oder industrieller Grundstoffe aus Spanien sein. Zudem könnte eine Wasserstoff-Pipelineverbindung nach Zentraleuropa (siehe z. B. Pläne für H2Med-Pipeline) die Kosten für grundlastfähigen Wasserstoff aus Spanien reduzieren, da die im Verhältnis teure Speicherung in Spanien in geringerem Umfang notwendig wäre.⁷⁰

Import eines gut transportierbaren Zwischenprodukts als mögliche „Sollbruchstelle“

Die zunehmende Verlagerung in Länder mit niedrigeren Energiekosten führt mit jedem Schritt zu zusätzlichen Einsparungen. Jedoch sind die Einsparungen für den ersten (energieintensivsten) Produktionsschritt relativ am größten – bei Stahl ist das die DRI-Produktion, bei HVCs die Methanolsynthese. Damit könnte der Import eines gut transportierbaren Zwischenprodukts eine Art „Sollbruchstelle“ in der Wertschöpfungskette werden:

- ▶ Bei Import eines Zwischenprodukts (z. B. Methanol) hätte Deutschland bezüglich Kosten des letzten Produktionsschritts nur noch einen geringeren Kostennachteil gegenüber dem Import eines „fertigen“ Grundstoffs (z. B. HVC).
- ▶ Der letzte (und meist technisch anspruchsvollste) Schritt der Produktion könnte in Deutschland verbleiben und somit die Wertschöpfung im Land erhalten werden.

Energiekosten nicht das einzige Kriterium: Deutschland war bei Produktionskosten auch in Vergangenheit nicht führend

Auf Basis der diskutierten Ergebnisse könnte man zu dem Schluss gelangen, dass die Herstellung energieintensiver Grundstoffe in Deutschland in einer zukünftig klimaneutralen Welt nicht wettbewerbsfähig sein wird. Doch dieser Schluss ist übereilt: Zum einen war Deutschland auch in der Vergangenheit bereits ein Land mit relativ hohen Energiekosten. Zum anderen führt eine Verlagerung von Wertschöpfungsstufen zwar zu einer Energiekostenreduktion, jedoch bedarf es einer Abwägung mit den Vorteilen lokaler Produktion, die in der Energiekostenanalyse nicht berücksichtigt sind.

⁶⁹ Bei einer Knappheit von Energieerzeugungskapazitäten oder Wasserkraft als Speicher bzw. Flexibilität entstehen Opportunitätskosten für deren Nutzung, sodass der Marktwert höher ausfallen kann als die reinen Erzeugungskosten. Dieser Aspekt trifft vsl. auch auf norwegische Erzeugungs- bzw. Wasserkraftkapazitäten zu und ist in der vorliegenden Analyse nicht berücksichtigt, sodass die tatsächlichen Kosten für die Speicherung bzw. Strukturierung von Energie für eine grundlastfähige Versorgung höher ausfallen können.

⁷⁰ Zudem gilt es weitere Faktoren bei der Struktur der deutschen Energie- bzw. industriellen Grundstoffversorgung abzuwägen, wie z. B. Diversifizierung von Importen, europäische Resilienz sowie die Vorteile eines gemeinsamen europäischen Binnenmarkts. Diese Faktoren können die Attraktivität von Spanien als Industrie- bzw. Energieproduktionsstandort steigern, wurden jedoch in der Analyse nicht quantifiziert (siehe übernächster Abschnitt für mehr Details zu nicht quantifizierten Faktoren).

- ▶ Dazu gehören beispielsweise Verbundeffekte industrieller Industrieverbundstandorte (vor allem in der Chemie), die sich nur schwer quantifizieren lassen. Einzelne Grundstoffherzeugungen vollständig auszugliedern, kann im schlimmsten Fall den ganzen Standort gefährden.
- ▶ Häufig sind für Downstream-Abnehmer energieintensiver Grundstoffe nicht nur die Kosten entscheidend, lokale Produktionsnetzwerke haben einen hohen Wert. Laut Experteninterviews gibt es in Deutschland eine starke lokale Vernetzung der Unternehmen und oft wird Qualitätsführerschaft angestrebt. Schon heute hat Deutschland nicht die niedrigsten Produktionskosten, dies wird jedoch durch Kundennähe und teils Qualitätsvorteile ausgeglichen. Lokale Produktionsnetzwerke sind zudem insbesondere für den tendenziell regional stärker verankerten Mittelstand von großer Bedeutung.

Die Analyse hat jedoch gezeigt, dass die Kostennachteile zukünftig eher zunehmen werden. Die Frage ist daher, ob und wie (lokale) Vorteile des Produktionsstandorts Deutschland dies auch zukünftig noch Nachteile ausgleichen können (siehe Kapitel 6). Die Analyse dieser Dynamiken wird in den weiteren Arbeitsschritten genauer beleuchtet.

Bei einer möglichen Verlagerung der Produktion bestehen ebenfalls weitere Faktoren, die in der quantitativen Analyse nicht abgebildet sind, wie zum Beispiel:

- ▶ Der Aufbau eines Standortes Greenfield benötigt Know-how, Planungssicherheit und Infrastruktur, die über den Bau von Energie- und Industrieanlagen hinausgeht. Hier sind Industrienationen wie die USA im Vorteil gegenüber Ländern, die zwar niedrige Energiekosten haben, aber weniger bestehende Industrieinfrastruktur an den entsprechenden Standorten (z. B. Chile, Marokko).
- ▶ Das politische Umfeld beeinflusst Standortentscheidungen: Steuervorteile oder Subventionen können zusätzliche Anreize für Unternehmen schaffen. Zum Beispiel subventioniert der Inflation Reduction Act Wasserstoff mit bis zu drei Dollar pro kg (siehe Jansen et al., 2023) – solche Vorteile lassen sich auch durch besonders gute EE-Standorte nicht ausgleichen.

Grenzen der Analyse: Keine marktbasierende Strom- oder Wasserstoffpreismodellierung

Die Kostenanalyse ist keine vollständige Systemmodellierung, sondern betrachtet Inselmodelle (d. h. in sich geschlossene Systeme) und vergleicht Gestehungskosten. In der Realität wird der Energiepreis aus dem Zusammenspiel mit weiteren wesentlichen Faktoren, wie zum Beispiel die Energienachfrage, gebildet.

Industrieabnehmer beziehen letztendlich Energie zu Marktpreisen. Da die Opportunitätskosten für die Verwendung in Deutschland aufgrund begrenzter Erzeugungspotenziale zumindest in der Transformationsphase der Energieversorgung auf grüne Ressourcen voraussichtlich hoch sein werden, werden die durchschnittlichen Marktpreise für erneuerbaren Strom und Wasserstoff in Deutschland vermutlich noch über den errechneten Gestehungskosten liegen. Dies könnte weitere Auswirkungen, über die bislang betrachteten Ergebnisse hinaus, auf die Wettbewerbsfähigkeit der energieintensiven Industrie in Deutschland haben.

6 Strategische Anpassungsreaktionen

Unternehmen reagieren auf langfristige Preisunterschiede primär mit Verlagerung von Vorleistungsbezügen ins Ausland und der Reduktion von Produktion in Deutschland.

In diesem Kapitel erfolgt eine Analyse dieses Bedrohungspotenzials. Dabei stehen drei Fragen im Mittelpunkt:

- ▶ In welchem Ausmaß erwarten Unternehmen Kostennachteile bei energieintensiven Vorprodukten⁷¹?
- ▶ Wie werden sie auf die komparativen Kostenentwicklungen wahrscheinlich reagieren?
- ▶ Welche Produktionspotenziale sind dann dadurch bedroht?

6.1 Betroffene Branchen und Analysekonzept

Dabei werden gemäß Auftrag und Studiendesign diejenigen Branchen betrachtet, die im wesentlichen Umfang mindestens einer der vier Grundstoffe (Stahl, Aluminium, Ammoniak, hochwertige Chemikalien) einsetzen. Dabei sind neben den Branchen, die diese Vorprodukte produzieren, insbesondere diejenigen Branchen interessant, die diese Vorprodukte einsetzen (Downstream-Teil der Wertschöpfungskette). Es werden drei Branchengruppen unterschieden:

- ▶ **Stark betroffene Branchen:** Dazu zählen die Fokusbranchen, die in Kapitel 4.4 identifiziert wurden: Chemie, Gummi- und Kunststoffindustrie, Metallerzeugung, Metallerzeugnisse, Elektroindustrie und Maschinenbau sowie Fahrzeugbau.
- ▶ **Betroffene Branchen:** Textil, Bekleidungs- und Lederindustrie, Kokerei und Mineralölerzeugnisse, Pharmaindustrie, Möbelindustrie, sowie die Bauwirtschaft. Die Gruppe der „betroffenen Branchen“ wird zu der Branchengruppe „Sonstige Industrie“ zusammengefasst.
- ▶ **Nicht betroffene Branchen:** Ernährungsindustrie, Holz- und Papierindustrie, Glas- und Glaswaren, Keramik sowie bearbeitete Steine und Erden sowie Reparatur und Instandhaltung.

In der Gruppe der „nicht betroffenen Branchen“ befinden sich die Branchen (nämlich Papier- und Glasindustrie sowie die Keramische Industrie), die ihrerseits sehr energieintensiv sind und insbesondere Strom oder Gas zur Erzeugung von Prozesswärme einsetzen. Diese energieintensiven Branchen bleiben in der Studie unberücksichtigt, weil dort die betrachteten vier Grundstoffe keine hohe Bedeutung haben. Das ist eines der zentralen Ergebnisse der Potenzialanalyse des Kapitels 4.3. In einem erweiterten Blick werden diese energieintensiven Branchen auch unter einen verstärkten Anpassungsdruck

⁷¹ Hier sind Energiekosten implizit eingeschlossen.

geraten. Die Branche der Energieerzeugung selbst wird in dieser Studie nicht berücksichtigt, weil diese Branche durch die Preiseffekte der Energiewende systemimmanent ist und daher als nicht gefährdet gelten soll. Erstens kommt der Stromerzeugung im Rahmen der avisierten Umstellung von konventionellen auf nachhaltige Energiequellen, vor allem der Sektorenkopplung, die Rolle eines wesentlichen Impulsgebers für den Transformationsprozess in den anderen Branchen zu. Zweitens soll davon ausgegangen werden, dass aufgrund der Immobilität der Branche (aufgrund der Nichtverlagerbarkeit von Kraftwerken, Anlagen zur Energieproduktion sowie Leitungen und Netzarchitektur) de facto keine strategischen Alternativoptionen zur Inlandsproduktion bestehen. Gleichwohl wird es innerhalb des Sektors einen Strukturwandel zugunsten dezentraler, erneuerbarer Energieerzeugungskapazitäten geben.

Der Fokus dieser Studie liegt in der Analyse der den Grundstoffen nachgelagerten Wertschöpfungskette (Downstream-Sicht). Daher konzentriert sich die Studie auf Preiseffekte, die den Vorleistungsbereich betreffen. In der nachgelagerten Wertschöpfung, insbesondere den hier betrachteten Fokusbranchen, sind die Effekte über den Vorleistungsverbund wesentlich ausgeprägter als die direkten Energiepreiseffekte. Deshalb liegt der Fokus auf der Analyse der energiekosteninduzierten Effekte auf Vorleistungspreise. Diese Auswirkungen sind umso höher, je mehr energieintensive Vorprodukte in den gesamten Vorleistungskäufen der Unternehmen enthalten sind (vgl. Methodenkapitel 3).

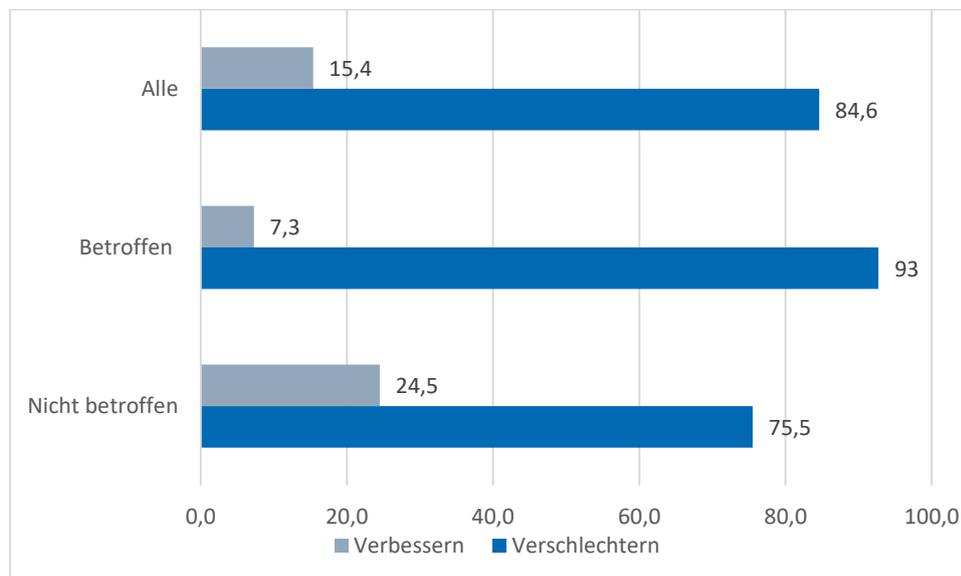
Vier Fünftel der Unternehmen befürchten Nachteile für den Standort Deutschland.

Die im internationalen Vergleich höheren Energiekosten in Deutschland und die damit verbundenen höheren Kosten bei der Produktion energieintensiver Vorprodukte am Standort Deutschland nehmen die Unternehmen als Belastung wahr. Die Ergebnisse von N=145 dazu durchgeführten Telefoninterviews sind eindeutig und werden zudem von den Einschätzungen der zusätzlich befragten Branchenexperten und Verbandsvertretern bestätigt:

- ▶ Fast 85 Prozent aller befragten Unternehmen erwartet durch die mittel- bis langfristigen Nachteile bei den Energiekosten und die damit verbundenen Kosten für energieintensive Vorprodukte eine Verschlechterung der Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Industrie.
- ▶ Bei den betroffenen Unternehmen, die im erheblichen Umfang energieintensive Vorprodukte einsetzen, liegt dieser Anteil sogar bei 93 Prozent.
- ▶ Auch die nicht betroffenen Unternehmen sehen die Entwicklung kritisch. Etwa drei Viertel dieser Unternehmen erwarten eine Verschlechterung der Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Wirtschaft.

Abbildung 6-1: Wirkungen auf die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Industrie durch Energiekostennachteile gegenüber wesentlichen Wettbewerbsländern

Ungewichtete Befragungsergebnisse; Angaben in Prozent



Legende: Betroffen: Unternehmen, die im erheblichen Ausmaß energieintensive Vorprodukte einsetzen; nicht betroffen: Unternehmen, die nicht oder kaum energieintensive Vorprodukte einsetzen; N = 104

Quelle: IW Consult (2023)

Bevor die möglichen Konsequenzen analysiert und die volkswirtschaftlichen Auswirkungen dimensioniert werden, soll kurz die verwendete Methodik erläutert werden. Die Abbildung 6-2 zeigt die einzelnen Schritte.

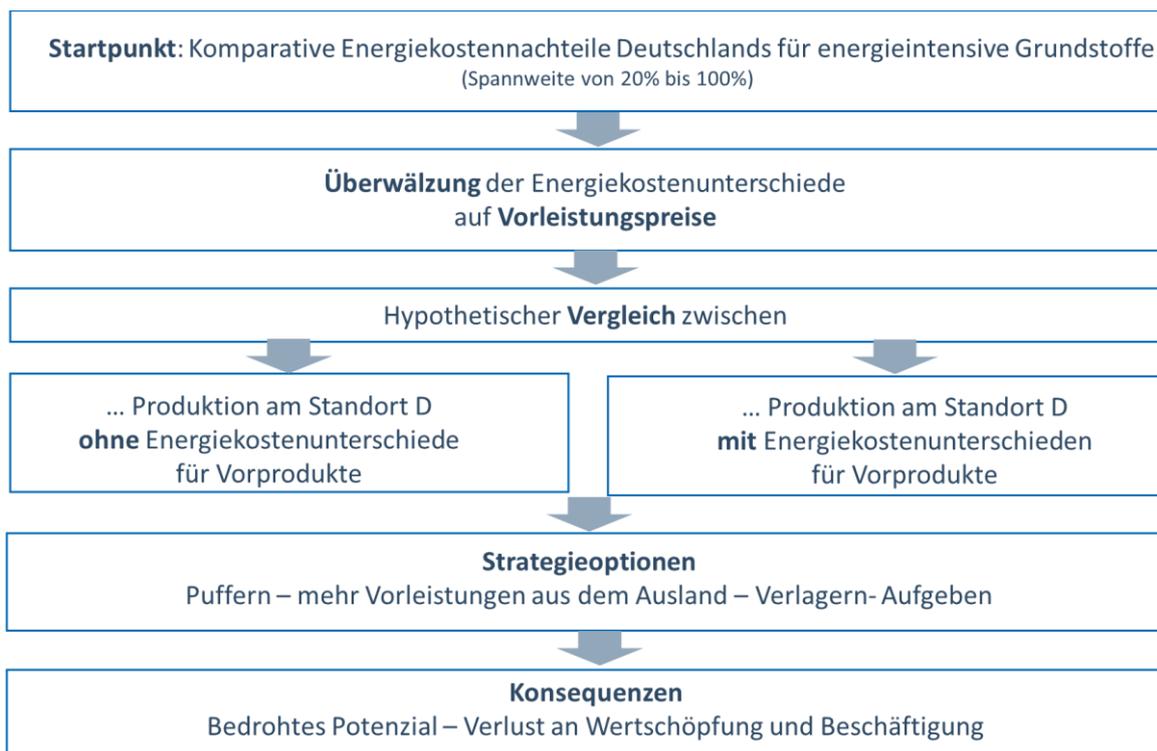
- ▶ Der Startpunkt dieser Berechnungen sind die Entwicklungen der Energiekostenunterschiede zwischen Deutschland und den wichtigsten Wettbewerbern, die in der komparativen Energiekostenanalyse (vgl. Kapitel 5) ermittelt wurden. Die Ergebnisse zeigen eine große Spannweite möglicher Entwicklungen, in Abhängigkeit der betrachteten Energieträger und des Profils der Energielieferung. Die Energiekostenunterschiede in der Produktion industrieller Grundstoffe zwischen Deutschland und anderen Ländern können im Intervall zwischen etwa 20 Prozent bis 100 Prozent liegen. Ein Preisunterschied von 100 Prozent würde bedeuten, dass die in Deutschland produzierte Energie doppelt so teuer wäre wie im Ausland.
- ▶ Im ersten Berechnungsschritt werden diese ermittelten Energiekostenunterschiede in Preisänderungen für energieintensive Vorprodukte übersetzt.⁷² Dabei wird eine vollständige Überwälzung der energiekosteninduzierten Preiserhöhungen unterstellt. Die Vorleistungspreise ändern sich dann in Abhängigkeit der Energiepreisdeltas sowie der Energieintensität der betrachteten Branchen und dort eingesetzten Vorprodukte. Unter bestimmten Annahmen werden mögliche Preiskorridore als Szenarien abgeleitet. In der Unternehmensbefragung geben die Unternehmen darüber Auskunft, mit welchen Preis-Szenarien im ermittelten Korridor sie dauerhaft rechnen.

⁷² Energieintensive Vorprodukte bestehen nach diesem Verständnis vor allem auf Komponenten, die auf einem oder mehreren der betrachteten Grundstoffe basieren. Damit lässt sich Energie als inkorporiertes Vorproduktelement interpretieren.

- ▶ Im nächsten Schritt erfolgt im Rahmen der Unternehmensbefragung ein hypothetischer Vergleich zwischen der Produktion von Vorleistungen am Standort Deutschland ohne Berücksichtigung dieser Energieeffekte sowie mit Berücksichtigung dieser Effekte. Die Unternehmen sollen ihre wahrscheinlichen strategischen Anpassungsreaktionen auf bestimmte Preispfade angeben. Dabei sind zwei Angaben relevant:
 - ▷ **Strategische Anpassungsoptionen:** Dabei wird unterschieden zwischen den Optionen des Preispufferns (Effekte können durch Weitergabe in Verkaufspreisen, Produktivitätsgewinne oder verbesserten Produkten ausgeglichen werden), der Erhöhung der Vorleistungskäufe im Ausland, der Standortverlagerung der Produktion ins Ausland und/oder der Aufgabe der Produktion am Standort Deutschland)
 - ▷ **Dimensionierung:** Hier wird das Ausmaß der durch die Preiserhöhungen für Vorprodukte bedrohten inländischen Produktion abgeschätzt.
- ▶ Berechnung der Konsequenzen für die Inlandsproduktion in Preis-Szenarien für die betrachteten Branche. Dies bildet gleichzeitig die Grundlage für die Dimensionierung der volkswirtschaftlichen Effekte in Kapitel 7.

Abbildung 6-2: Wirkungskette von Energiekostenänderungen auf Wertschöpfung

Schematischer Überblick



Quelle: IW Consult (2023)

6.2 Überwälzung der Energiekosten auf Preise für Vorprodukte

Der wesentliche Schritt der Analyse ist die Überwälzung von Kostendeltas für Energie (genauer: von Kostendifferenzialen zwischen Deutschland und wichtigen Wettbewerbern) auf die Preise von Vorprodukten (einschließlich Energie). Dabei werden mehrere Informationsquellen genutzt:

- ▶ Ableitung von Preiseffekten durch Verwendung der Kostenstrukturstatistik
- ▶ Befragung der Unternehmen zu erwartenden Preiseffekten
- ▶ Ergänzungen durch Tiefeninterviews mit Unternehmen und Verbände zur Validierung der Ergebnisse und insbesondere der abgeleiteten Bandbreiten

Überwälzung auf Grundlage der Kostenstrukturstatistik

Wie bereits oben ausgeführt, wird unterstellt, dass erhöhte Energiekosten vollständig auf die Preise für Vorprodukte überwälzt werden. Aus der Kostenstrukturstatistik sind bekannt:

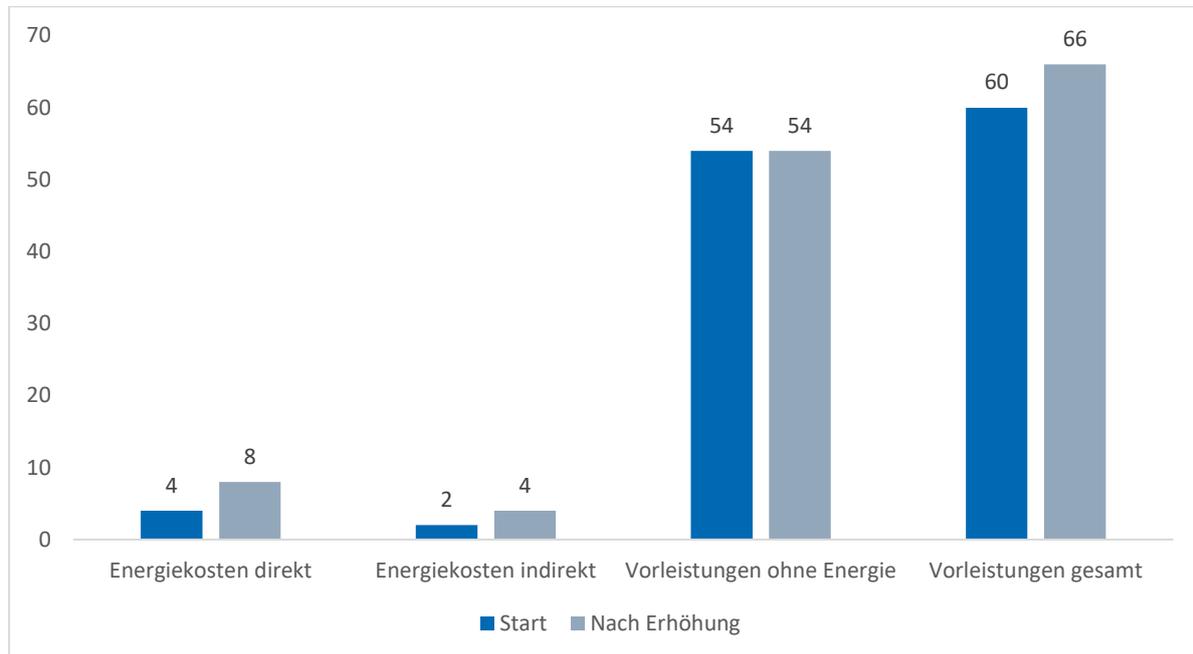
- ▶ der Anteil der Vorleistungen am Umsatz oder Bruttoproduktionswert,
- ▶ der Anteil der direkten Energiekosten und implizit
- ▶ der Anteil der Energiekosten, die in gelieferten Vorprodukten stecken.

Ein fiktives Zahlenbeispiel soll die Logik der Vorgehensweise erläutern (Abbildung 6-3):

- ▶ Eine Branche soll je Euro Umsatz direkte Energiekosten von 4 Cent haben.
- ▶ In den Lieferungen von Vorprodukten aus anderen Branchen soll 2 Cent Energiekosten je Euro Umsatz stecken.
- ▶ Je Einheit Umsatz werden Vorleistungen ohne Energie in Höhe von 54 Cent eingesetzt.
- ▶ Insgesamt bezieht die Branche Vorleistungen in Höhe von 60 Cent je Euro Umsatz.
- ▶ Bei einer Verdopplung der Energiekosten muss die Branche unter sonst gleichen Bedingungen bei voller Überwälzung 12 Cent je Einheit Umsatz aufbringen. Die gesamten Vorleistungen erhöhen sich auf 66 Cent je Einheit Umsatz.
- ▶ Der Anstieg von 60 und 66 Cent je Einheit Umsatz (10 Prozent) wird als energiepreisinduzierter Anstieg der Vorleistungspreise identifiziert.

Abbildung 6-3: Schematische Darstellung der Überwälzung von Energiepreiserhöhungen auf die Preise von Vorleistungen

Fiktives Zahlenbeispiel für eine Verdopplung der Energiekosten



Quelle: IW Consult (2023)

Die Kostenstrukturstatistik liefert für das Jahr 2020 die notwendigen Daten zur Berechnung der Überwälzung von Energiepreisänderungen auf Vorleistungspreise unter der Annahme der vollständigen Überwälzung. Für die stark betroffenen Branchen (Chemie, Gummi- und Kunststoffindustrie, Metallherzeugung, Metallerzeugnisse, Maschinenbau und Elektroindustrie sowie Fahrzeugbau) und die betroffenen Branchen (Textil, Bekleidungs- und Lederindustrie, Kokerei und Mineralölherzeugnisse, Pharmaindustrie, Möbelindustrie sowie die Bauwirtschaft) gibt es auf der 3-Steller-Ebene der Klassifikation der Wirtschaftszweige Angaben zu Vorleistungen, zu den direkten Energiekosten sowie bei Zugrundelegung bestimmter Annahmen zu den indirekten Energiekosten:

- ▶ Die Vorleistungen werden definiert als die Summe aller Einkäufe je Einheit Umsatz. Sie entsprechen der Differenz zwischen Bruttoproduktionswert und Bruttowertschöpfung.
- ▶ Die direkten Energiekosten der Branchen sind als Anteile am BPW direkt ausgewiesen. Die Spanne geht von 8,8 Prozent bis 0,3 Prozent (Herstellung von Bestrahlungs- und elektromedizinischen Geräten). Der Mittelwert beträgt rund 1,7 Prozent.
- ▶ Die Ermittlung der indirekten Energiekosten erfolgt auf Grundlage von Hebelwirkungen aus Input-Output-Tabellen. Für jede Branche wird berechnet, wieviel Energieinput (definiert als Kostenanteile) in ihren spezifischen Wertschöpfungsketten steckt.⁷³

Ein Rechenbeispiel soll die Vorgehensweise erläutern. Die Unternehmen der Branche Herstellung von Gummiwaren setzen Vorprodukte (ohne Energie) in Höhe von 25,8 Cent je Euro BPW ein. Die direkten Energiekosten betragen 2,1 Cent und indirekten Energiekosten können mit 6 Cent je Einheit BPW

⁷³ Diese Inputstrukturen liegen nur auf der 2-Steller-Ebene der Branchenklassifikation vor. Jede Branche wird auf der 3-Steller-Ebene via Daten der entsprechenden 2-Steller-Ebene approximiert.

geschätzt werden. Damit betragen die Kosten für Produkte mit Energie 33,9 Cent je Euro BPW. Bei einer Verdopplung der Energiekosten würden dieser Betrag auf 42 Cent absteigen. Das entspricht einem Zuwachs von 23,9 Prozent.

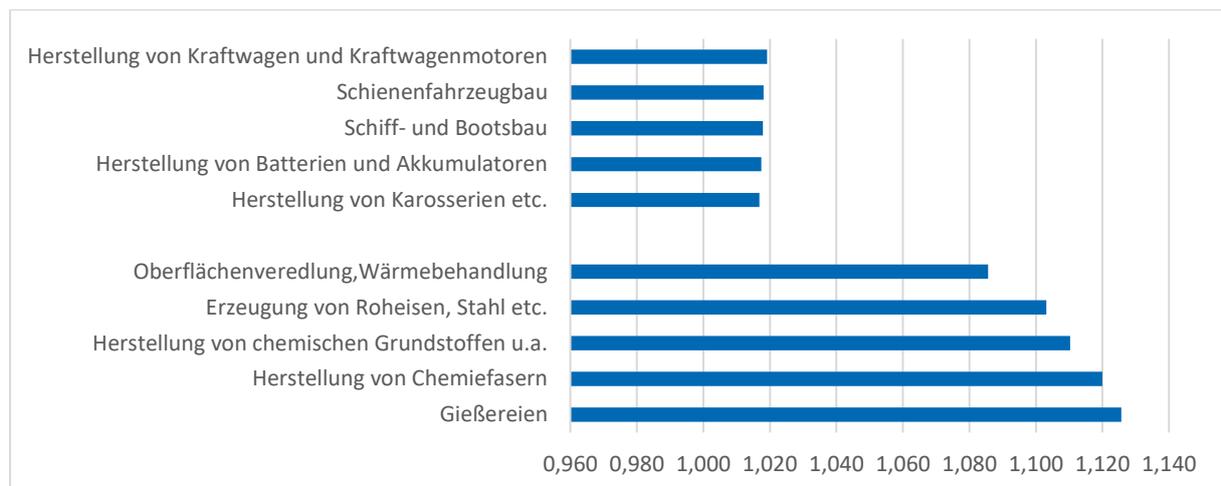
Diese Berechnung ist für alle betroffenen Branchen⁷⁴ auf der 3-Steller-Ebene für die drei alternativen Entwicklungen der Energiepreisunterschiede (+20 % / +50 % / +100 %) durchgeführt. Die Abbildung 6-6 zeigt die Spannweiten der Ergebnisse:

- ▶ Bei Energiepreisunterschieden von 20 Prozent reicht die Spannweite von knapp einem Prozent bis knapp fünf Prozent. Der Mittelwert liegt bei 2 Prozent.
- ▶ Steigen die Energiekosten um 50 Prozent, vergrößert sich die Spannweite von 2 bis 12 Prozent. Der Durchschnitt steigt auf gut 5 Prozent.
- ▶ Bei einer Verdopplung der Energiekosten vergrößert sich der Korridor nochmals und liegt dann zwischen 3 Prozent und knapp 25 Prozent. Im Durchschnitt sind es hier rund 10 Prozent.

An der Spitze liegen bei diesen Preiserhöhungen die Branchen aus den Bereichen Chemische Grundstoffe, Chemiefasern und Gießereien. Am unteren Ende stehen die Bereichen Elektroindustrie, Möbelindustrie und Teile des Fahrzeugbaus (vgl. Abbildung 6-4).

Abbildung 6-4: Überwälzung der Energiekosten in Vorleistungspreise

Mittleres Preis-Szenario, LOW-5 und TOP-5-Branchen; WZ-Drei-Steller-Ebene



Quelle: IW Consult (2023)

Diese Preiserhöhungskorridore sind Durchschnitte und können im Einzelfall höher sein. Das kommt darauf an, wie hoch der Anteil der energieintensiven Vorprodukte an allen Vorprodukten ist. Nach Experteneinschätzungen können für einige Branchen auf der Vier-Steller-Ebene Preiseffekte von mehr als 25 Prozent möglich werden. Auch ist zu beachten, dass die in den Vorprodukten steckenden indirekten Energiekosten nur den Erstrundeneffekt berücksichtigen. Die Produkte werden über mehrere Veredelungsstufen gehandelt. Dabei kommen jedes Mal zusätzlich Energiekosten hinzu, die nicht einbezogen sind.

⁷⁴ Zur Abgrenzung der betroffenen Branchen vgl. Kapitel 6.1.

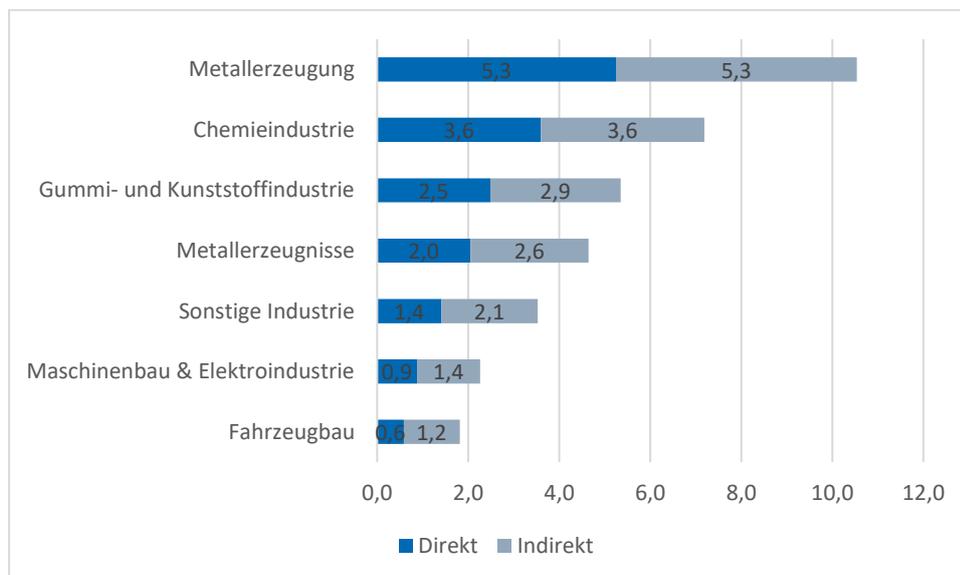
Die Energiekosten (Anteil der Energiekosten am Bruttoproduktionswert) unterscheiden nicht nur zwischen den Fokusbranchen, sondern auch mit Blick auf die Verteilung von direkten und indirekten Kosten (Abbildung 6-5):

- ▶ Die Metallherzeugung und die Chemieindustrie haben die höchsten Energiekostenanteile. Das gilt sowohl für die direkten als auch die indirekten Kosten.
- ▶ Am unteren Ende der Skala liegen der Fahrzeugbau, der Maschinenbau und die Elektroindustrie sowie die Sonstige Industrie.
- ▶ In der der Metallherzeugung und der Chemieindustrie kommen einen Cent direkte Energiekosten ein weiterer Cent indirekte Kosten hinzu. Im Fahrzeugbau beträgt dieser Faktor 2,1. Je Cent direkter Energiekosten kommt ein Cent indirekte Kosten hinzu. Im Maschinenbau und der Elektroindustrie beträgt dieser Faktor 1,6, in der Sonstigen Industrie 1,5, bei den Metallherzeugnissen 1,3 und in der Gummi- und Kunststoffindustrie 1,15.

Insgesamt zeigen diese Daten, dass die Branchen mit relativ geringen direkten Energiekosten durch überdurchschnittliche hohe Anteile bei den indirekten Energiekosten belastet. Bei der Bewertung hoher und steigender Energiekosten sollte deshalb nicht der Blick einseitig auf die direkten Kosten verengt werden. Die Einbeziehung der Effekte in der Wertschöpfungskette ist nötig.

Abbildung 6-5: Direkte und indirekte Energiekosten nach Fokusbranchen

Angaben in Prozent des Produktionswertes



Quelle: Statistisches Bundesamt (2023), IW Consult (2023)

Daraus lassen sich drei mögliche Preisszenarien für den inländischen Kostenaufschlag energieintensiver Vorleistungen gegenüber dem Ausland ableiten:

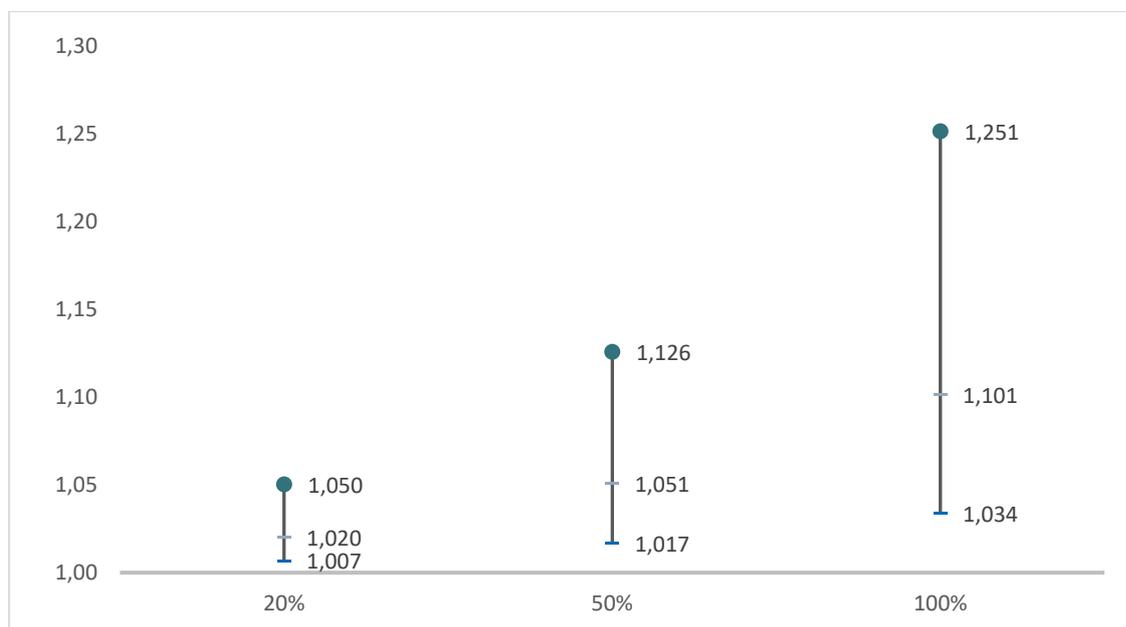
- ▶ Ein mittleres Preis-Szenario mit einem inländischen Kostenaufschlag energieintensiver Vorleistungen zwischen 5 und 25 Prozent. Das sind die Obergrenzen der beiden Energiepreispfade 20 Prozent und 100 Prozent.
- ▶ Ein moderates Preis-Szenario unterhalb der Obergrenze des 20-Prozent-Energiepreisunterschieds, d.h. bis zu 5 Prozent Preisaufschlag.

- Ein extremes Preis-Szenario außerhalb des abgeschätzten Korridors, d.h. über 25 Prozent Preisaufschlag.

Die extremen Kostennachteile von 25 Prozent oder mehr decken auch das Szenario einer Nicht-Verfügbarkeit dieser Vorprodukte aus Inlandsproduktion in Deutschland ab. Es ist davon auszugehen, dass Preisdifferenzen von 25 Prozent und mehr bei relativ homogenen Produkten kaum durch andere produktbegleitende Vorteile wie die räumliche Nähe zum Produzenten oder ein geringeres Ausfallrisiko durch Transportprobleme ausgeglichen werden können. Für die überwiegende Masse der Produktion ist es daher plausibel, Preisdifferenzen von 25 Prozent und mehr als gleichbedeutend mit einer Nicht-Verfügbarkeit der Produkte gleichzusetzen.

Abbildung 6-6: Spannweiten für Preisunterschiede für Vorprodukte in Abhängigkeit von drei alternativen Energiepreisentwicklungen für betroffene Branchen

Daten für betroffene Branchen auf der 3-Steller-Ebene der Klassifikation der Wirtschaftszweige



Quelle: IW Consult (2023)

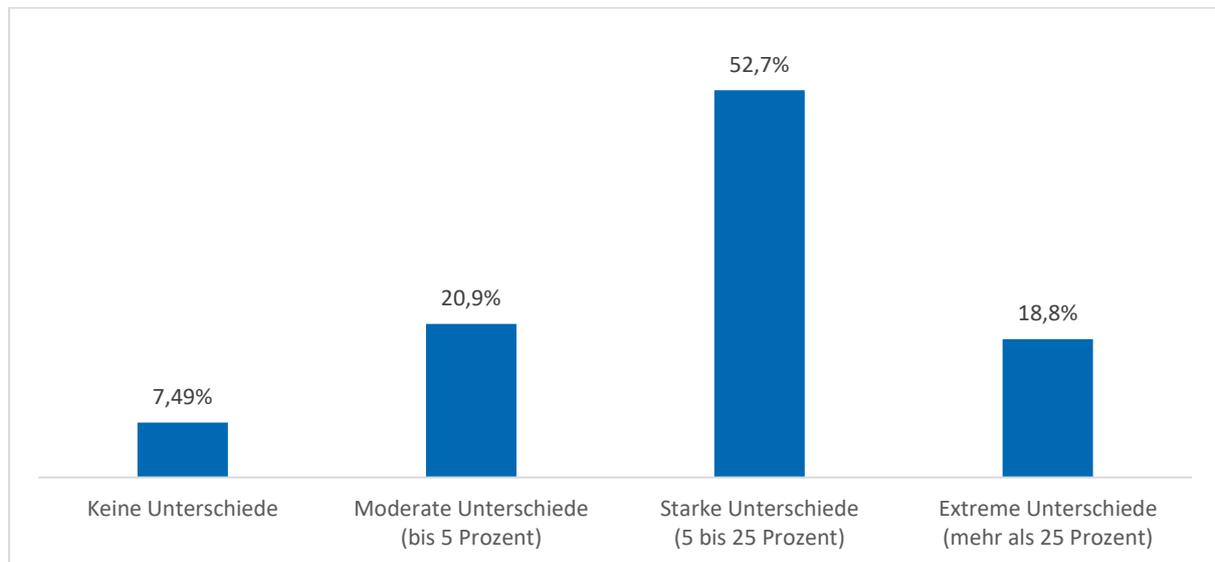
Validierung durch Unternehmensbefragung

Allein aus den Spannweiten möglicher Entwicklungen von Preisen von Vorprodukten kann noch keine Relevanz für die Praxis abgeleitet werden. Es sagt nichts darüber aus, mit welchen Preisunterschieden die Unternehmen tatsächlich dauerhaft bei ihren Entscheidungen rechnen. Deshalb wurde diese Erwartung im Rahmen der Telefonbefragung ebenfalls erhoben (Abbildung 6-7). Konkret wurde nach dem erwarteten langfristigen Preisunterschied (nach 2030) zwischen gleichwertigen klimaneutral produzierten energieintensiven Grundstoffen im In- und Ausland gefragt. Die Antworten der befragten Fokusbranchen spiegeln dabei die unterschiedliche Zusammensetzung energieintensiver Grundstoffe in den jeweiligen Fokusbranchen wieder. Gleichzeitig schließt die Umfrage inländische Preisaufschläge eines „grünen Premiums“ aus, da nach gleichwertigen klimaneutral produzierten Produkten gefragt wurde.

- ▶ Nur etwa 7,5 Prozent der Unternehmen gehen davon aus, dass langfristig keine Preisunterschiede der im Inland hergestellten energieintensiven Vorprodukten gegenüber dem Ausland zu erwarten ist.
- ▶ Gut ein Fünftel der Unternehmen erwartet einen moderaten Preisunterschied von bis zu fünf Prozentpunkten.
- ▶ Die Mehrheit der Unternehmen (53 Prozent) hält einen substantziellen langfristigen Unterschied von (5 bis 25 Prozent) für die wahrscheinlichste Entwicklung.
- ▶ Rund 19 Prozent der befragten Unternehmen sind sehr skeptisch und halten mittelfristig eine Zunahme der Preisdifferenzen von 25 Prozent und mehr für wahrscheinlich.

Abbildung 6-7: Einschätzung der Unternehmen zu langfristigen Preisunterschieden energieintensiver Vorprodukte im In- und Ausland

Anteile in Prozent, branchengewichtete Durchschnitte der befragten Unternehmen



N = 96

Quelle: IW Consult (2023)

6.3 Strategische Anpassungsoptionen

Eine Kernaufgabe der Studie ist die Ermittlung der wahrscheinlichen Reaktionen auf Energiepreisverschiebungen von Unternehmen, die Vorprodukte einsetzen, die in maßgeblichem Umfang die betrachteten Fokusgrundstoffe enthalten. Die Analyse konzentriert sich damit auf den Downstream-Teil der Wertschöpfungskette. Die Upstream-Bereiche werden dann vor allem im Rahmen der Übertragung der Umfrageergebnisse auf die Gesamtwirtschaft berücksichtigt.

Die Unternehmen haben verschiedene strategische Optionen, um mittelfristig auf unterschiedliche Preis-Szenarien für energieintensive Vorprodukte zu reagieren. In der Studie werden vier Optionen unterschieden:

- ▶ **Puffern:** Die Unternehmen können steigende oder höhere Preiseffekte an ihre Kunden weitergeben oder durch andere Maßnahmen (Produktivität, Produktverbesserung) kompensieren.
- ▶ **Erhöhung der Vorleistungsbezüge aus dem Ausland:** Die Unternehmen können ihr Sourcing-Verhalten optimieren und mehr energieintensive Vorprodukte als bisher aus dem Ausland beziehen (Importsubstitution).
- ▶ **Erhöhung der Auslandsproduktion:** Die Unternehmen können ihre Produktion vollständig oder in Teilen stärker als bisher ins Ausland verlagern.
- ▶ **Aufgabe der Produktion:** Als Ultima Ratio bleibt die Aufgabe der Produktion von Gütern, weil die Preiseffekte durch keine der genannten Anpassungsoptionen gepuffert werden können.

Die Unternehmen haben in der Befragung für die drei unterschiedenen Preis-Szenarien (moderate Unterschiede, starke Unterschiede; extreme Unterschiede) angegeben, wie sie darauf voraussichtlich reagieren würden.

Szenario der moderaten Preisunterschiede

Rund 20 Prozent der Unternehmen geht von dem moderaten Preis-Szenario mit Preisunterschieden für energieintensive Vorleistungen von bis zu fünf Prozent aus. Das Szenario hat damit eine mittelhohe Eintrittswahrscheinlichkeit.

Bei moderaten Preisunterschieden geben knapp 47 Prozent der Unternehmen an, dass sie diese Effekte puffern könnten. Die Spannweite reicht von 57 Prozent bei den Metallerzeugnissen bis 38 Prozent im Fahrzeugbau. Die Autoindustrie scheint schon bei kleinen Preisänderungen stärker als andere mit Optionen höherer Auslandseinkäufe oder Aufgabe von Inlandsproduktion zu reagieren. Ähnlich wird die Chemieindustrie reagieren. 41 Prozent der Unternehmen geben an, moderate Preisunterschiede puffern zu können. In allen anderen betrachteten Branchengruppen geht etwa die Hälfte der Unternehmen (die Spanne liegt zwischen 45 und 51 Prozent) davon aus, moderate Preiseffekte puffern zu können.

Insgesamt ist in allen Branchen ein ähnliches Profil bei den Anpassungsreaktionen zu beobachten:

- ▶ In allen betrachteten Branchen können zumindest zwei Fünftel der Unternehmen moderate Preisunterschiede puffern – im Durchschnitt gilt das sogar für knapp jedes zweite Unternehmen.
- ▶ Als wichtigste Anpassungsreaktion erfolgt dann die Erhöhung der Vorleistungen aus dem Ausland. Rund 44 Prozent der Unternehmen wollen auf moderate Preisunterschiede mit dieser Anpassungsoption reagieren. Allerdings ist auch hier die Spannweite hoch. Sie liegt zwischen 26 Prozent in der Metallerzeugung bis 49 Prozent in der Sonstigen Industrie.
- ▶ Mit Produktionseinschränkungen im Inland (Aufgabe oder Verlagerung) will in dem moderaten Preis-Szenario nur eine Minderheit der Unternehmen reagieren. Lediglich 10 Prozent ziehen diese Strategieoption in Betracht.
- ▶ Die Branche, bei der die meisten Unternehmen mit Produktionsrückgängen im Inland rechnen, ist die Metallerzeugung. Der Anteil beträgt hier 23 Prozent. Das ist zugleich diejenige Branche, in der ein eher geringer Anteil der Unternehmen mit verstärktem Auslandsbezug reagieren will. Hier scheint vor allem die räumliche Zerlegbarkeit der Produktion im Vergleich zu den anderen Branchen eingeschränkt zu sein. Auch in Chemieindustrie und Fahrzeugbau will man bereits auf moderate Preisunterschiede mit einem Rückgang der Inlandsproduktion antworten. Die entsprechenden Anteile liegen bei etwa 18 Prozent und damit über dem Durchschnitt aller Unternehmen.
- ▶ Insbesondere im Bereich Maschinenbau und der Elektroindustrie sowie in der Sonstigen Industrie führen moderate Preisanpassungen zu keinem hohen Abbau der Produktion im Inland.

Tabelle 6-1: Anpassungsreaktionen im Szenario der moderaten Preisunterschiede

Angaben in Prozent; mittelfristige Perspektive

Branchengruppen	Puffern	Mehr Aus- lands- bezug	Mehr Aus- landspro- duktion	Aufgabe	Nachrichtl.: Rückgang Produktion
Chemie	41,2	40,5	8,6	9,6	18,2
Gummi- und Kunststoff	44,7	44,8	4,2	6,3	10,5
Metallerzeugung	50,8	26,2	9,2	13,8	23,1
Metallerzeugnisse	57,4	33,0	6,1	3,5	9,6
Maschinenbau / Elektro- industrie	51,2	43,5	5,2	0,0	5,2
Fahrzeugbau	38,2	44,0	10,5	7,2	17,8
Sonstige Industrie	46,8	49,0	2,5	1,6	4,1
Energieerzeugung ¹⁾	100	0	0	0	0,0
Durchschnitt²⁾	46,5	43,7	6,0	3,8	9,8

¹⁾ Setzung nach Studiendesign; ²⁾ Gewichtet mit Anteilen an dem Produktionswert der einbezogenen Branche; N = 96

Quelle: IW Consult (2023)

Die möglichen Antworten der Unternehmen auf Veränderungen der Energiepreise können unter Verwendung der Daten aus Tabelle 6-1 nochmals verdichtet und die Strategioptionen typisiert werden:

- ▶ Die Pufferfähigkeit ist bei moderaten Preisunterschieden am stärksten in den Branchen Metallerzeugnisse, Metallerzeugung und Maschinenbau/Elektroindustrie ausgeprägt. Sie kommen überdurchschnittlich mit moderaten Preisunterschieden zurecht. Am schwächsten entwickelt ist diese Pufferfähigkeit in der Chemie und in der Automobilindustrie.
- ▶ Wichtig für den Industriestandort ist, ob die Unternehmen bei ihren strategischen Antworten jenseits der Pufferfähigkeit eher mit erhöhtem Bezug von Vorleistungen aus dem Ausland oder stärker mit einer Reduzierung der Produktion im Inland reagieren. In diesem moderaten Szenario gibt es ein durchgängiges Bild. Alle Branchen setzen stärker auf die Option „mehr Vorleistungen aus dem Ausland“ als auf „Reduktion der Inlandsproduktion“. Diese Anpassung soll als „strategische Dehnung“ bezeichnet werden. Die Unternehmen versuchen auf diese Weise, die Produktionsstandorte soweit es geht zu sichern und setzen auf eine stärkere Zerlegung der Produktion durch höhere Auslandsanteile. Der umgekehrte Fall (höhere Anteile an Unternehmen, die im Vergleich zu mehr Auslandsbezügen auf Reduktion der Inlandsproduktion setzen) wird als „strategischer Bruch“ bezeichnet. In einer relativen Betrachtung wird deutlich, dass die Anpassungsoption der „strategischen Dehnung“ in der Metallerzeugung, der Chemieindustrie und im Fahrzeugbau am schwächsten ausgeprägt ist.

Tabelle 6-2: Typisierung der Strategieoptionen im moderaten Preis-Szenario

Unterscheidung zwischen „strategischer Dehnung“ und „strategischem Bruch“

Branchen und strategische Optionen	Pufferfähigkeit	Relation „Reduktion der „Produktion im Inland“ zu „mehr Vorleistungen aus dem Ausland“	
		Relativ (Durchschnitt = 100)	Absolut ¹⁾
Chemie	88,7	0,45	2,0
Gummi- und Kunststoff	96,1	0,23	1,0
Metallerzeugung	109,2	0,88	3,9
Metallerzeugnisse	123,5	0,29	1,3
Maschinenbau / Elektroindustrie	110,2	0,12	0,5
Fahrzeugbau	82,2	0,40	1,8
Sonstige Industrie	100,7	0,08	0,4
Durchschnitt	100,0	0,22	1,0

¹⁾ Interpretation: Werte kleiner 1 bedeuten „strategische Dehnung“ (Anteil der Unternehmen mit Produktionsrückgang im Inland ist kleiner als der Anteil, der mit Erhöhung des Auslandsbezug von Vorleistungen reagiert); Werte größer 1 bedeutet „strategischer Bruch“ (Anteil der Unternehmen mit Produktionsrückgang im Inland ist größer als der Anteil, der mit Erhöhung des Auslandsbezug von Vorleistungen reagieren); N = 96

Quelle: IW Consult (2023)

Szenario der starken Preisunterschiede

Gut die Hälfte der Unternehmen rechnet mit dem mittleren Preis-Szenario, das von Preisunterschieden zwischen fünf und 25 Prozent für energieintensive Vorprodukte ausgeht. Dies ist das Preis-Szenario mit der höchsten Eintrittswahrscheinlichkeit.

In diesem Szenario geht die Fähigkeit, diese Effekte puffern zu können, in allen Branchen zurück. Im Durchschnitt ist ein Rückgang um rund 24 Prozentpunkte von 47 Prozent (Szenario der moderaten Preisunterschiede) auf 23 Prozent festzustellen. Am stärksten ist der Rückgang im Bereich Metallerzeugung sowie Maschinenbau und Elektroindustrie mit jeweils rund 35 Prozentpunkten. Das sind die Branchen mit der höchsten Pufferfähigkeit im moderaten Szenario. Am schwächsten ist der Rückgang im Fahrzeugbau (minus 9 Prozentpunkte). Auch hier liegt ein Basiseffekt vor, denn das ist die Branche mit der geringsten Pufferfähigkeit im moderaten Szenario. Insgesamt ist folgendes Ergebnis festzuhalten:

- ▶ Da in allen Branchen bei einem Übergang vom moderaten Preis-Szenario zum Szenario der starken Preisunterschiede die Strategieoption „Puffern“ an Bedeutung verliert, nehmen die beiden anderen Optionen dementsprechend an Relevanz zu. In allen Branchen will man den Bezug von Vorleistungen aus dem Ausland erhöhen (Ausnahme Sonstige Industrie) und die Inlandsproduktionsanteile durch Verlagerung oder Aufgabe reduzieren.
- ▶ Der Anteil der Unternehmen, der mit mehr Vorleistungen aus dem Ausland rechnet, steigt von 44 Prozent (moderates Szenario) auf nun 52 Prozent im Szenario „starke Preisunterschiede“. Der Anteil der Unternehmen, die eine Verringerung der Inlandsproduktionsanteile erwägen, nimmt von 10 Prozent auf gut 25 Prozent sehr deutlich zu.
- ▶ Die höchsten Anteile bei der Option „mehr Vorleistungen aus dem Ausland“ entfallen auf Maschinenbau und Elektroindustrie (68 Prozent). Dahinter kommen die Gummi- und Kunststoffindustrie

(58 Prozent) sowie die Metallerzeugnisse (53 Prozent). Unterdurchschnittlich ausgeprägt ist diese Strategieoption in der Chemieindustrie. Nur rund zwei Fünftel wollen hier auf einen starken Preisanstieg mit einer Ausweitung der Auslandsbezüge von Vorleistungen reagieren.

- ▶ Rund 25 Prozent der Unternehmen erwägen in diesem mittleren Preis-Szenario einen Rückgang der Inlandsproduktion. Im moderaten Szenario waren es im Vergleich nur 10 Prozent.
- ▶ Die Strategieoption „Rückgang der Produktion“ im Inland durch Verlagerung oder Aufgaben ist in der Chemieindustrie (43 Prozent) und in der Metallerzeugung (35 Prozent) besonders stark ausgeprägt. Das sind die beiden Branchen, bei denen der Einsatz der betrachteten Grundstoffe besonders intensiv ist.

Tabelle 6-3: Anpassungsreaktionen im Szenario der starken Preisunterschiede

Angaben in Prozent; mittelfristige Perspektive

Branchengruppen	Puffern	Mehr Auslandsbezug	Mehr Auslandsproduktion	Aufgabe	Nachrichtl.: Rückgang Produktion
Chemie	15,8	41,4	19,6	23,2	42,9
Gummi- und Kunststoff	18,1	58,4	12,7	10,8	23,5
Metallerzeugung	20,9	43,9	13,9	21,3	35,2
Metallerzeugnisse	23,1	52,9	12,7	11,3	24,0
Maschinen / Elektroindustrie	16,2	67,8	9,3	6,6	15,9
Fahrzeugbau	29,7	44,6	15,6	10,1	25,8
Sonstige Industrie	26,6	46,0	5,2	22,2	27,4
Energieerzeugung	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Durchschnitt¹⁾	23,0	51,9	10,7	14,4	25,1

¹⁾ Setzung nach Studiendesign; 2) Gewichtet mit Anteilen an dem Produktionswert der einbezogenen Branche; N = 96

Quelle: IW Consult (2023)

Die Tabelle 6-4 zeigt in der Zusammenfassung die Typisierung der Strategieoptionen im mittleren Preis-Szenario:

- ▶ Etwas stärker als im Durchschnitt aller Branchen ist die Pufferfähigkeit in den Bereichen Fahrzeugbau, Sonstige Industrie und Metallerzeugnisse ausgeprägt. Deutlich unterdurchschnittliche Werte geben die Unternehmen aus den Bereichen Chemie und Maschinenbau/Elektroindustrie an.
- ▶ Viel wichtiger sind aber die Reaktionen, die auf eine stärkere Einbeziehung des Auslands bei Beschaffungen oder Produktion zielen. In der Chemieindustrie ist der Quotient „Reduktion Produktion im Inland“ zu „mehr Auslandsbezug von Vorleistungen“ größer als eins. Hier findet der Übergang von der Option „strategische Dehnung“ zur Option des „strategischen Bruchs“ statt. Überdurchschnittlich stark ausgeprägt ist diese Richtung der Anpassungen bei der Metallerzeugung, dem Fahrzeugbau und der Sonstigen Industrie.
- ▶ Insgesamt ist bei fast allen Branchen eine Änderung der Anpassungen in Richtung „strategischer Bruch“ feststellbar. Der entsprechende Quotient „Reduktion Produktion im Inland“ zu „mehr Auslandsbezug von Vorleistungen“ ist in dem mittleren Szenario mit der Ausnahme der Metallerzeugung in allen Bereichen höher als im moderaten Szenario. In der Metallerzeugung verharren die Werte auf hohem Niveau.

Tabelle 6-4: Typisierung der Strategieoptionen im mittleren Preis-Szenario

Unterscheidung zwischen „strategischer Dehnung“ und „strategischem Bruch“

Branchen und strategische Optionen	Pufferfähigkeit Relativ (Durchschnitt = 100)	Relation „Reduktion der „Produktion im Inland“ zu „mehr Vorleistungen aus dem Ausland“	
		Absolut ¹⁾	Relativ (Durchschnitt = 100)
Chemie	68,5	1,04	2,1
Gummi- und Kunststoff	78,4	0,40	0,8
Metallerzeugung	90,6	0,80	1,7
Metallerzeugnisse	100,3	0,45	0,9
Maschinenbau / Elektroindustrie	70,6	0,23	0,5
Fahrzeugbau	128,8	0,58	1,2
Sonstige Industrie	115,4	0,60	1,2
Durchschnitt	100,0	0,48	1,0

¹⁾ Interpretation: Werte kleiner 1 bedeuten „strategische Dehnung“ (Anteil der Unternehmen mit Produktionsrückgang im Inland ist kleiner als der Anteil, der mit Erhöhung des Auslandsbezug von Vorleistungen reagiert); Werte größer 1 bedeutet „strategischer Bruch“ (Anteil der Unternehmen mit Produktionsrückgang im Inland ist größer als der Anteil, der mit Erhöhung des Auslandsbezug von Vorleistungen reagieren); N = 96

Quelle: IW Consult (2023)

Szenario der extremen Preisunterschiede

Mit einem Szenario, das extreme Preisunterschiede von mindestens 25 Prozent für energieintensive Vorprodukte umfasst, rechnet nur eine Minderheit der Unternehmen, nämlich nur knapp jedes fünfte Unternehmen. Sollte eine solche extreme Preisentwicklung tatsächlich eintreten, wären die Konsequenzen aber erheblich, weil ein wesentlich höherer Anteil der Unternehmen diese Effekte weder puffern noch durch höhere Auslandsbezugsanteile ausgleichen könnte. Der Anteil der Unternehmen, die via verringerter Inlandsproduktion reagieren, würde dagegen sehr stark ansteigen.

Im Szenario der extremen Preisunterschiede geben die Unternehmen aus allen Branchen an, dass im Vergleich zum Szenario von starken Preisunterschieden die Pufferfähigkeit fällt. Im Durchschnitt ist ein Rückgang von 23 Prozent auf 20 Prozent feststellbar. Rückgänge dieser Anteile sind allen betrachteten Branchengruppen zu beobachten. Selbst in diesem extremen Preis-Szenario gibt knapp ein Fünftel der Unternehmen an, diese puffern zu können. Der Grund dafür ist, dass ein Teil der Unternehmen sehr geringe Anteile energieintensiver Vorprodukte einsetzt und deshalb auch extreme Preiserhöhungen abfedern kann.

Die Anteile der Unternehmen, die in diesem Szenario im Vergleich zu dem vorhergehenden mit einer Ausweitung des Auslandsbezugs rechnen, fallen in allen Branchengruppen. Demgegenüber steigen die Anteile der Handlungsoption „weniger Inlandsproduktion durch Verlagerung oder Aufgabe“ massiv an. Bei diesen extremen Preisunterschieden reicht die Option „verstärkter Auslandsbezug“ nicht mehr aus. Sie tritt im Vergleich zu der Reduzierung der Inlandsproduktion in den Hintergrund. Die Handlungsoptionen verschieben sich von „strategischer Dehnung“ hin zu „strategischem Bruch“.

Zu den Branchen mit den höchsten Anteilen, die mit einem Rückgang der Inlandsproduktion rechnen, zählen die Chemie (55 Prozent), die Metallerzeugung (47 Prozent) und der Fahrzeugbau (36 Prozent).

Die Branchen mit den geringsten Anteilen sind die Sonstige Industrie und der Bereich Maschinenbau/Elektrotechnik. Selbst in diesen Branchen liegen die Anteile bei 30 Prozent und mehr.

Tabelle 6-5: Anpassungsreaktionen im Szenario der extremen Preisunterschiede

Angaben in Prozent; mittelfristige Perspektive

Branchengruppen	Puffern	Mehr Auslandsbezug	Mehr Auslandsproduktion	Aufgabe	Nachrichtl.: Rückgang Produktion
Chemie	12,5	32,8	21,7	33,0	54,7
Gummi- und Kunststoff	15,4	49,9	16,8	17,9	34,7
Metallerzeugung	17,1	35,9	21,4	25,6	47,0
Metallerzeugnisse	19,2	44,0	17,2	19,6	36,8
Maschinen	12,9	53,9	23,7	9,5	33,2
Fahrzeug	26,0	39,1	19,4	15,5	34,9
Sonstige Industrie	25,5	43,1	6,2	25,3	31,4
Energieerzeugung	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Durchschnitt¹⁾	20,3	44,3	16,4	18,9	35,4

¹⁾ Gewichtet mit Anteilen an dem Produktionswert der einbezogenen Branche; N = 96

Quelle: IW Consult (2023)

Diese Verschiebung von strategischer Dehnung zu strategischem Bruch zeigt die Tabelle 6-6 sehr deutlich:

- ▶ In allen Branchen ist der Quotient „Reduktion Produktion im Inland“ zu „mehr Auslandsbezug von Vorleistungen“ im extremen Szenario im Vergleich zum (mittleren) Szenario der starken Preisunterschiede gestiegen.
- ▶ Mit der Chemieindustrie und Metallerzeugung gibt es zwei Branchen, bei denen dieser Quotient größer als eins ist, d. h. der Anteil der Unternehmen ist größer, die die Inlandsproduktion reduzieren wollen als der Anteil, der mit einer Erhöhung der Auslandsbezüge auf die Preiserhöhungen antworten will. In diesen beiden Branchen sind auch bei relativer Betrachtung die Anpassungen in Richtung strategischer Bruch am stärksten ausgeprägt.

Tabelle 6-6: Typisierung der Strategieoptionen im extremen Preis-Szenario

Unterscheidung zwischen „strategischer Dehnung“ und „strategischem Bruch“

Branchen und strategische Optionen	Pufferfähigkeit Relativ (Durchschnitt = 100)	Relation „Reduktion der „Produktion im Inland“ zu „mehr Vorleistungen aus dem Ausland)“	
		Absolut ¹⁾	Relativ (Durchschnitt = 100)
Chemie	61,6	1,67	2,1
Gummi- und Kunststoff	75,9	0,70	0,9
Metallerzeugung	84,2	1,31	1,6
Metallerzeugnisse	94,7	0,84	1,0
Maschinenbau / Elektroindustrie	63,6	0,62	0,8
Fahrzeugbau	128,2	0,89	1,1
Sonstige Industrie	125,8	0,73	0,9
Durchschnitt	100,0	0,80	1,0

¹⁾ Interpretation: Werte kleiner 1 bedeuten „strategische Dehnung“ (Anteil der Unternehmen mit Produktionsrückgang im Inland ist kleiner als der Anteil, der mit Erhöhung des Auslandsbezug von Vorleistungen reagiert); Werte größer 1 bedeutet „strategischer Bruch“ (Anteil der Unternehmen mit Produktionsrückgang im Inland ist größer als der Anteil, der mit Erhöhung des Auslandsbezug von Vorleistungen reagieren); N = 96

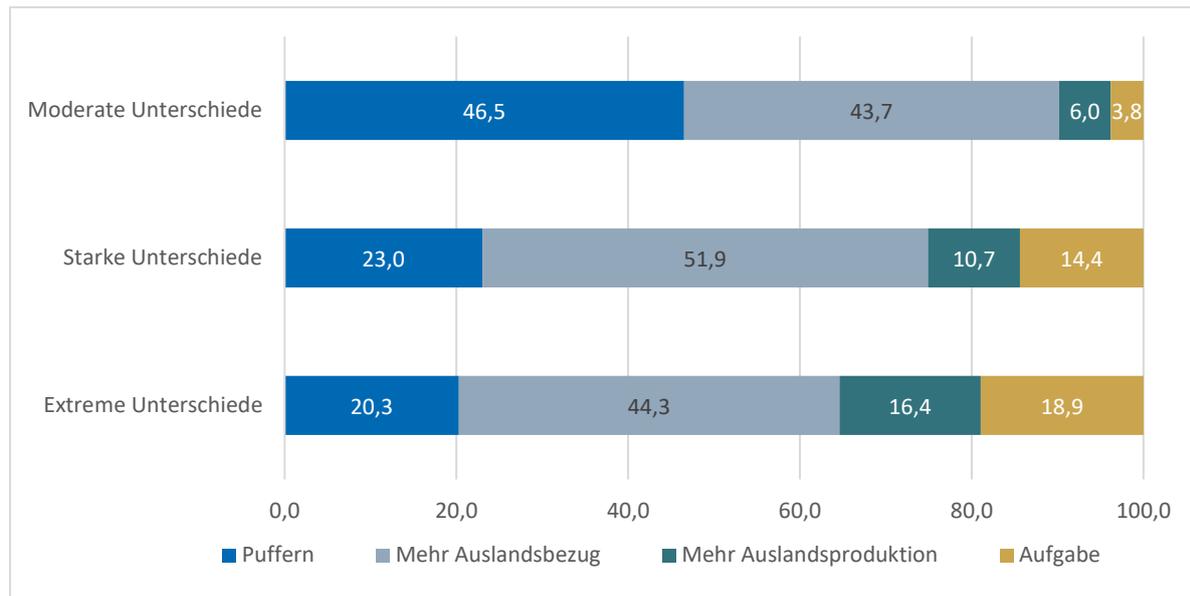
Quelle: IW Consult (2023)

Die wesentlichen bisherigen Ergebnisse der Analyse der Anpassungsreaktionen sind (Abbildung 6-8):

- ▶ Die Fähigkeit, Preisdifferenzen für energieintensive Vorprodukte zu puffern, nimmt mit höheren Preisunterschieden ab. Im Szenario der moderaten Preisunterschiede gibt knapp die Hälfte der Unternehmen noch an, diese Preiseffekte puffern zu können. Dieser Anteil halbiert sich im Szenario der starken Preisunterschiede. Nur noch 23 Prozent der Unternehmen glauben dort, solche Preiseffekte in der mittleren Frist puffern zu können. In dem extremen Preis-Szenario geht dieser Anteil nochmals leicht auf 20 Prozent zurück. Das ist auch ein Hinweis auf die große Unterschiedlichkeit in der Betroffenheit. Für Unternehmen, die extreme Preisunterschiede von 25 Prozent und mehr puffern können, sind energieintensive Vorprodukte offensichtlich nicht relevant. Die Anteile an allen Vorleistungen sind offensichtlich so klein, dass sie keinen Einfluss auf den inländischen Produktionsstandort haben.
- ▶ Mit zunehmenden Preisdifferenzen steigt die Wahrscheinlichkeit, dass die Unternehmen mit verstärkter Auslandsproduktion oder Aufgabe der Produktion rechnen. Im moderaten Szenario beträgt dieser Anteil etwa 10 Prozent. Er steigt auf rund 25 Prozent im mittleren Szenario und auf gut 35 Prozent im extremen Szenario.
- ▶ Die Strategieoption „mehr Auslandsbezug“ nimmt im Szenario „starke Preisunterschiede“ mit 52 Prozent gegenüber dem moderaten Preis-Szenario mit 44 Prozent deutlich zu. Bei einem extremen Preisunterschied nimmt die Bedeutung dieser Strategieoption dann wieder ab. Nur noch 44 Prozent erwägen hier diesen Anpassungsweg. In diesem Extremszenario reicht bei vielen Unternehmen offenbar ein erhöhter Vorleistungsbezug aus dem Ausland nicht mehr aus – sie wählen im stärkeren Ausmaß die radikaleren Optionen der Verlagerung oder Aufgabe der Produktion. Es kommt stärker zu einem Wechsel der strategischen Dehnung zum strategischen Bruch.

Abbildung 6-8: Anpassungsreaktionen nach Szenarien

Gewichteter Durchschnitt aller einbezogenen Branchen



N = 96

Quelle: IW Consult (2023)

Besonders einschneidend und für den Standort Deutschland relevant sind die Optionen der Verlagerung oder der Produktionsaufgabe. Die negativen Wirkungen auf Wertschöpfung und Beschäftigung sind viel stärker und unmittelbarer als eine Erhöhung der Anteile der Vorprodukte aus dem Ausland. Bei verstärktem Auslandseinkauf belasten nur indirekte Effekte bei den Vorleistern der betroffenen Branchen den Standort Deutschland. In Kapitel 7 werden diese Unterschiede vertiefend erläutert und die unterschiedlichen Effektgrößen berechnet.

Zwei Beobachtungen sind mit Blick auf die Anteile der Unternehmen, die Produktion ins Ausland verlagern oder ganz aufgeben wollen, wichtig (Tabelle 6-7):

- ▶ In allen betrachteten Branchengruppen steigt die Relevanz dieser Strategieoptionen mit der Stärke der Preiseffekte.
- ▶ Im Extremszenario können zwei Branchengruppen unterschieden werden. Im Bereich Chemie und Metallerzeugung rechnet rund die Hälfte der Unternehmen mit einem Rückgang der Anteile der Inlandsproduktion. Das sind die Fokusbranchen, die durch zunehmende Energiekostennachteile besonders unter Druck geraten werden. Hier schlägt sich vor allem der hohe Integrationsgrad der Produktion nieder, der in den ersten Szenarien als Verlagerungsinhibitor wirkt, sich im extremen Szenario dann aber nach Überschreiten eines Kipp-Punktes als „Lawineneffekt“ bemerkbar macht. In den anderen Branchengruppen sind diese Anteile niedriger und liegen zwischen 31 und 37 Prozent.

Tabelle 6-7: Anteile der Anpassungsreaktion „Mehr Auslandsproduktion“ oder „Aufgeben“
Angaben in Prozent; Branchen geordnet nach der Effektgröße im Szenario der extremen Preisunterschiede

Branchengruppen	Moderate Preisunterschiede	Starke Preisunterschiede	Extreme Preisunterschiede
Chemie	18,2	42,9	54,7
Gummi- und Kunststoff	10,5	23,5	34,7
Metallerzeugung	23,1	35,2	47,0
Metallerzeugnisse	9,6	24,0	36,8
Maschinenbau / Elektroindustrie	5,2	15,9	33,2
Fahrzeugbau	17,8	25,8	34,9
Sonstige Industrie	4,1	27,4	31,4
Durchschnitt	9,8	25,1	35,4

N = 96

Quelle: IW Consult (2023)

6.4 Wirkungen der Anpassungen der betroffenen Unternehmen

Die Strategieoptionen (Puffern, mehr Vorleistungen aus dem Ausland, Verlagerung oder Aufgabe von Inlandsproduktion) allein geben noch keinen Aufschluss über die zu erwartenden Effekte in den betroffenen Unternehmen. Zusätzlich sind Angaben dazu erforderlich, auf welchen Anteil der Produktion sich die Reaktionswahrscheinlichkeiten beziehen. Dazu haben Unternehmen in der Befragung und Experten in den Interviews Angaben zum Anteil der gefährdeten Produktion sowie der gefährdeten Vorleistungen gemacht.

6.4.1 Inlandsproduktion

Der prozentuale Rückgang der inländischen Produktion ergibt sich als wahrscheinlichkeitsgewichteter Bedrohungskoeffizient:

$$\text{Bedrohungskoeffizient} = \rho * \text{Anteil}^{\text{gefährdet}},$$

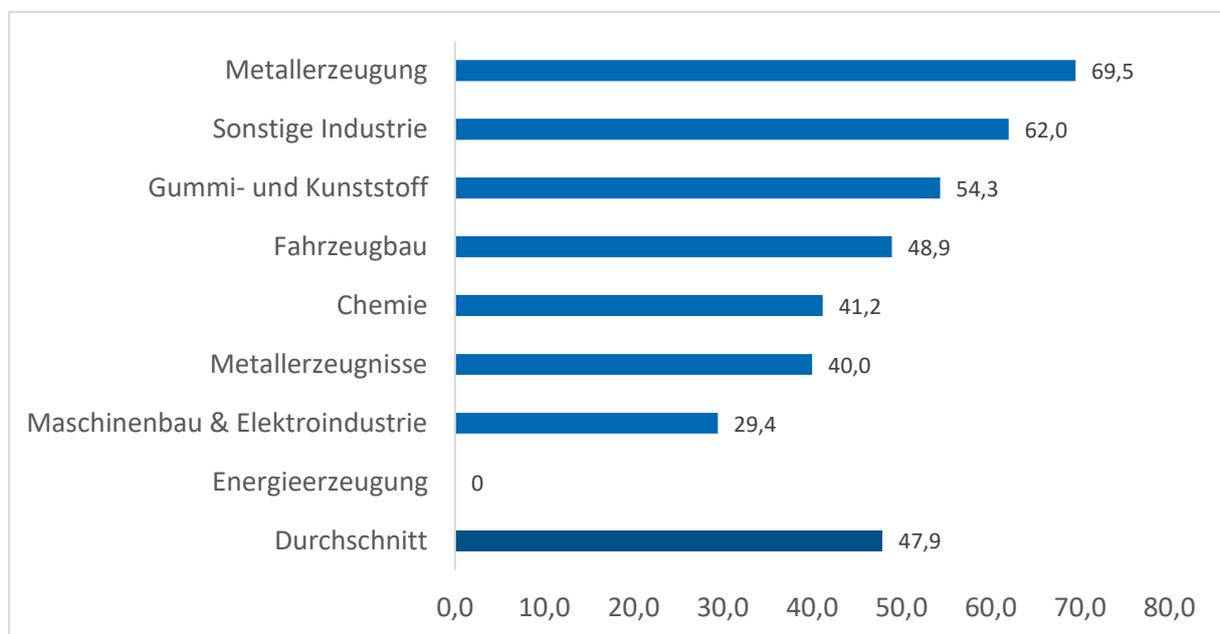
Die Wahrscheinlichkeiten entsprechen den bereits in Kapitel 6.2 vorgestellten Strategieoptionen. Zum besseren Verständnis des Konzeptes soll ein Beispiel angeführt werden. Die Unternehmen aus dem Bereich Chemie geben an, dass 41 Prozent ihrer Inlandsproduktion durch die Energiepreisentwicklung im Inland „potenziell gefährdet“ ist (vgl. Abbildung 6-9). Im moderaten Preis-Szenario wollen 18,2 Prozent der Chemieunternehmen darauf mit Aufgabe oder Verlagerung der Inlandsproduktion reagieren. Die Effektgröße beträgt dann 7,5 Prozent (= $41 * 18,2 / 100$).

Der erste Baustein zur Bestimmung der Koeffizienten ist die durch die Energiepreisdifferenzen potenziell gefährdete oder zumindest potenziell betroffene Produktion. Dazu haben die Unternehmen in der Telefonumfrage Angaben gemacht, die in den Expertengesprächen validiert wurden. Die Abbildung 6-9 zeigt die Ergebnisse:

- ▶ Die betroffenen Unternehmen aus dem Bereich der Metallerzeugung geben an, dass rund 70 Prozent ihrer inländischen Produktion durch die Preisentwicklung bei der Energie und energieintensiven Vorprodukten gefährdet ist. Das bedeutet, dass 70 Prozent der derzeitigen Produktion von Stahl, Aluminium, NE-Metalle (einschließlich Gießereien) von der Entwicklung der Energiepreise maßgeblich abhängen – konkreter: durch Preiserhöhungen oder Nicht-Verfügbarkeiten potenziell bedroht sind.
- ▶ In der Gruppe der Sonstigen Industrie liegt dieser Anteil bei 62 Prozent.
- ▶ In den Bereichen der Gummi- und Kunststoffindustrie, im Fahrzeugbau, in der Chemieindustrie sowie bei den Metallerzeugnissen liegen diese Anteile zwischen 40 und 54 Prozent.
- ▶ Im Maschinenbau und der Elektroindustrie sind diese Anteile 29 Prozent deutlich geringer.
- ▶ Im Durchschnitt aller betrachteten Branchen kann 48 Prozent der Inlandsproduktion dieser Branchen als abhängig von Energiepreisentwicklungen eingestuft werden.

Abbildung 6-9: Durch Energiepreisentwicklung bedrohte Produktionspotenziale im Inland

Angaben in Prozent



N = 96

Quelle: IW Consult (2023)

Die Tabelle 6-8 zeigt die Effektgrößen in Bezug auf die Inlandsproduktion in den verschiedenen Preis-Szenarien:

- ▶ Im moderaten Preis-Szenario ist von einem Rückgang der Inlandsproduktion in den betrachteten Branchen von 5 Prozent rechnen. Die Spanne der Rückgänge reicht von 16 Prozent (Metallerzeugung) bis 2 Prozent (Maschinenbau / Elektroindustrie). In dem allein durch seine Größe bedeutenden Fahrzeugbau liegt der erwartete Rückgang der Inlandsproduktion bei 9 Prozent.
- ▶ Wesentlich sind die Auswirkungen im Preis-Szenario der starken Preisunterschiede. Hier wäre mit einem Rückgang in der mittleren Frist in Höhe von 13 Prozent zu rechnen. Sehr massiv wären die Auswirkungen in der Metallerzeugung (-24 Prozent), der Chemieindustrie (-18 Prozent) und im Fahrzeugbau (-13 Prozent) und auch in der Sonstigen Industrie (-19 Prozent). Im Vergleich zum moderaten Szenario erhöhen sich die Schrumpfungsraten in allen Branchengruppen.

- ▶ Im Preis-Szenario der extremen Preisunterschiede ist mit einem Rückgang der Inlandsproduktion um 16 Prozent zu rechnen. Sie ist in allen Branchen höher als im Szenario „starke Preisunterschiede“. Besonders betroffen wären die Metallerzeugung (-33 Prozent), die Chemieindustrie (-23 Prozent) und im Fahrzeugbau (-18 Prozent). Allerdings wären die Effekte auch in allen anderen Branchengruppen erheblich – der erwartete Rückgang ist in keiner Branche weniger als zehn Prozent.

Tabelle 6-8: Erwarteter Rückgang der Inlandsproduktion in verschiedenen Szenarien

Veränderung der Inlandsproduktion in Prozent; mittelfristige Perspektive

Branchengruppen	Preis-Szenarien		
	Moderat	Stark	Extrem
Chemie Downstream	8	18	23
Gummi- und Kunststoff	6	13	19
Metallerzeugung Downstream	16	24	33
Metallerzeugnisse	4	10	15
Elektroindustrie / Maschinenbau	2	5	10
Fahrzeugbau	9	13	17
Sonstige Industrie	5	19	24
Energieerzeugung			
Durchschnitt	5	13	18

N = 96

Quelle: IW Consult (2023)

6.4.2 Vorleistungsimporte

Bei der Quantifizierung der Wirkungen der Vorleistungs-Importeffekte haben die Unternehmen in der Befragung direkt Angaben dazu gemacht, wie stark aufgrund von dauerhaften internationalen Preisunterschieden sie ihre Bezüge von energieintensiven Vorleistungen aus dem Ausland erhöhen würden. Unter Berücksichtigung der verschiedenen Ausprägungen der Strategieoption „Erhöhung der Auslandsbezüge“ (siehe Kapitel 6.3) lassen sich daraus wahrscheinlichkeitsgewichtete Effekte berechnen (vgl. dazu ausführliche Darstellung im Anhang Kapitel 9.1.3). Als energieintensive Vorleistungen werden dabei zunächst alle Produkte der Chemieindustrie und der Metallerzeugung (jeweils Upstream und Downstream) definiert, da in diesen Branchen die vier betrachteten Fokusgrundstoffe hergestellt werden. Zusätzlich werden die Produkte des jeweils folgenden Wertschöpfungsschritts in der Gummi- und Kunststoffindustrie und den Metallerzeugnissen berücksichtigt.⁷⁵

⁷⁵ Die beiden Branchen wurden ermittelt, indem die wichtigsten Abnehmerbranchen der Chemieindustrie bzw. der Metallerzeugung in der IOT identifiziert wurden. Voraussetzung für die Berücksichtigung als „energieintensiver Vorleistungslieferant“ ist zudem, dass die Branche mehr als 50 Prozent ihrer Produktion als Vorleistung an andere Branchen liefert (die Automobilbranche ist nach dieser Definition zwar ein wichtiger Abnehmer von Produkten der Metallerzeugung, liefert seine Produkte selbst aber zu beinahe 80 Prozent an den Endkonsum).

Die Berechnung erfolgt in zwei Schritten:

- ▶ Zunächst werden die Erhöhungen der Importe energieintensiver Vorprodukte aus den Befragungsergebnissen berechnet und als Prozentsatz dargestellt.
- ▶ Die Veränderungen werden in Reduzierungen der inländischen Vorleistungslieferungen umgerechnet. Dabei sind die unterschiedlichen Ausgangsgrößen bei den Vorleistungsquoten und die Verteilung auf Inland und Ausland zu berücksichtigen.

Die Tabelle 6-9 zeigt die Ergebnisse, wobei die ersten drei Spalten die Erhöhung der Importe energieintensiver Vorleistungen in den drei Szenarien und die letzten drei Spalten die Umrechnung in die Verringerung der inländischen Lieferungen dieser Vorprodukte zeigen. Wichtig für die Impact-Berechnungen sind die Rückgänge im Inland. Diese belasten den Standort Deutschland, weil durch die Substitution von Inlands- durch Auslandsbezüge die Absatzmöglichkeiten der inländischen Anbieter dieser Vorleistungen reduziert werden:

- ▶ Im moderaten Preis-Szenario werden die inländischen Vorleistungen der Fokusbranchen um 18,9 Prozent fallen. Die Spanne zwischen Branchengruppen ist erheblich. Sie schwankt zwischen 3,9 Prozent in der Metallerzeugung und 55,6 Prozent in der Gummi- und Kunststoffindustrie. Innerhalb der Metallerzeugung, d.h. zwischen der Weiterverarbeitung und der Grundstoffherzeugung, scheint nur eine geringfügige Erhöhung der Vorleistungsbezüge aus dem Ausland möglich bzw. gewollt. Das macht Sinn, denn in den meisten Fällen finden Grundstoffherzeugung und Weiterverarbeitung in vertikal integrierten Unternehmen statt, die ein großes Interesse daran haben, Wertschöpfungsketten nicht aufzubrechen. Das heißt jedoch nicht, dass es innerhalb des Upstream-Bereichs der Metallerzeugung nicht auch zu erhöhtem Vorleistungsbezug kommen kann, z.B. durch den erhöhten Import von Eisenschwamm im Falle der Stahlproduktion. In diesem Fall würden die Importsubstitution aus Downstream-Sicht (Stahlweiterverarbeitung) zu günstigeren Vorleistungen führen und damit das moderate Preisszenario wahrscheinlicher machen. Da zusätzlich in der Metall-Branche die Inlandsbezugsanteile dominieren (sie sind zum Faktor 3 höher als die Auslandsbezugsanteile), ergibt sich ein mit knapp 4,0 Prozent relativ geringer Gesamteffekt auf die inländischen Vorleistungen im moderaten Szenario. Völlig anders ist die Situation in der Gummi- und Kunststoffindustrie. Dort ergibt sich für die betroffenen Unternehmen ein überdurchschnittlich hoher Anstieg der Vorleistungen aus dem Ausland von 29,2 Prozent. Dies reduziert die inländischen Vorleistungen überproportional, weil die Branche bereits 66 Prozent ihrer energieintensiven Vorleistungen aus dem Ausland bezieht. Das vergrößert die Hebelwirkung, so dass im moderaten Preisszenario mit einem Rückgang der inländischen Vorleistungen von 55,6 Prozent zu rechnen ist.
- ▶ Im mittleren Preisszenario sollen die inländischen Vorleistungsbezüge um 21,3 Prozent fallen. Dieses Ergebnis ist kompatibel mit dem in Kapitel „Strategieoptionen“ festgestellten Bedeutungsgewinn dieser Anpassungsmaßnahme. Die Unterschiede zwischen den Branchen bleiben im Vergleich zum moderaten Szenario nahezu unverändert.
- ▶ Im extremen Preisszenario fällt der Vorleistungseffekt auf 18,5 Prozent, weil in diesem Szenario die Strategieoption „mehr Bezug von Vorleistungen aus dem Ausland“ im Vergleich zur Aufgabe oder Verlagerung von Produktion an Bedeutung verliert.

Tabelle 6-9: Veränderung der inländischen Vorleistungen nach Preis-Szenarien

Angaben in Prozent; mittelfristige Perspektive

Branchengruppen	Anstieg energieintensiver Vorleistungen aus dem Ausland betroffener Unternehmen			Rückgang der energieintensiven Vorleistungen im Inland betroffener Unternehmen ¹⁾		
	Preis-Szenarien					
	Moderat	Stark	Extrem	Moderat	Stark	Extrem
Chemie	28,7	29,3	23,2	26,2	26,8	21,2
Gummi- und Kunststoffindustrie	29,2	38,1	32,5	55,6	72,5	61,9
Metallerzeugung	10,0	16,9	13,8	3,9	6,5	5,3
Metallerzeugnisse	41,6	66,7	55,5	18,5	29,7	24,7
Maschinen & Elektro	9,7	15,1	12,0	4,6	7,2	5,7
Fahrzeugbau	78,7	79,8	69,9	29,8	30,2	26,5
Sonstige Industrie	21,1	19,6	18,4	18,2	18,1	17,0
Durchschnitt	32,6	36,2	31,4	18,9	21,3	18,5

¹⁾ Die Umrechnung des Anstiegs der energieintensiven Vorleistungen aus dem Ausland auf den Rückgang der energieintensiven Vorleistungen im Inland erfolgt mithilfe von branchenspezifischen Informationen zu aus- und inländischen Vorleistungsbezügen aus den Input-Output Tabellen des Statistischen Bundesamts. Mit den Informationen aus der IOT wird für jede Branche der Quotient aus dem Anteil der ausländischen energieintensiven Vorleistungsbezüge am Anteil der inländischen energieintensiven Vorleistungsbezüge gebildet. Dieser wird dann mit dem aus der Umfrage entnommenen prozentualen Anstieg der Auslandsbezüge multipliziert.

N = 96

Quellen: Statistisches Bundesamt (2023c), IW Consult (2023)

7 Dimensionierung der Effekte

Je nach Preis-Szenario sind zwischen 5 Prozent und 13 Prozent der Produktion, Bruttowertschöpfung und Beschäftigung in den Fokusbranchen bedroht. Im wahrscheinlichsten mittleren Szenario wären damit gesamtwirtschaftliche Wertschöpfungsverluste von 3,5 Prozent verbunden, das würde einen Rückgang der Beschäftigung um 1,3 Millionen nach sich ziehen.

7.1 Vorüberlegungen

In Kapitel 6 wurde untersucht, wie betroffene Unternehmen aus den Fokusbranchen auf Preisunterschiede der energieintensiven Vorleistungsprodukte reagieren. Dabei wurde zwischen verschiedenen Reaktionsmöglichkeiten der Unternehmen unterschieden. Die höheren Preise der Vorleistungsprodukte können Unternehmen entweder durch verschiedene Maßnahmen kompensieren („Puffern“), die Preise können durch einen erhöhten Bezug von energieintensiven Vorleistungen aus dem Ausland umgangen oder das Geschäft kann aufgegeben oder ins Ausland verlagert werden. Die letztgenannten Reaktionsmöglichkeiten wirken sich direkt auf die Produktion im Inland aus. Aus den Angaben der Unternehmen konnten Bedrohungskoeffizienten ermittelt werden, die angeben, um wieviel Prozent die Produktion der betroffenen Unternehmen je Szenario und Branche zurückgehen wird. Jedoch hat auch die Handlungsoption „Erhöhung der Vorleistungsbezüge aus dem Ausland“ einen Einfluss auf die Produktion in Deutschland, weil damit ein Nachfragerückgang derjenigen Branchen verbunden ist, die bisher die Vorprodukte liefern.

Im folgenden Kapitel werden die Ergebnisse aus Kapitel 6 auf die Gesamtwirtschaft in Deutschland übertragen. Es wird abgeschätzt, mit welchen Rückgängen der Produktion, der Bruttowertschöpfung und der Erwerbstätigenzahlen in den drei Preisanstiegsszenarien insgesamt und in den einzelnen Branchen zu rechnen ist. Dabei muss berücksichtigt werden, dass es in der Industrie auch Bereiche gibt, die nicht oder kaum von den Preisanstiegen der energieintensiven Vorprodukte betroffen sind. Das ist eine wichtige Erweiterung im Vergleich zu Kapitel 6, denn dort sind nur die Reaktionen der betroffenen Unternehmen berücksichtigt. Zudem muss beachtet werden, dass die Reaktionen in einer Branche aufgrund der wirtschaftlichen Verflechtungen auch Auswirkungen auf andere Branchen haben können.

Annahme: Fokussierung der Analyse auf den Downstream-Bereich der Wertschöpfungsketten

Bei der Modellierung der direkten Effekte wird zunächst unterstellt, dass die Upstream-Bereiche in den Branchengruppen Chemie und Metallerzeugung, d.h. die Primärerzeugung von Metallen und chemischen Grundstoffen (ohne Weiterverarbeitung), die Struktur ihrer Vorleistungsbezüge mit Blick auf die Inlands- und Auslandsanteile nicht verändern. Das ist eine bewusst gesetzte Annahme, weil die wirtschaftlichen Effekte ausgehend von den umfragebasierten Reaktionen der Downstream-Bereiche der Wertschöpfungsketten dimensioniert werden. Über die Dimensionierung der Importeffekte wird der Fokus dann auf die Upstream-Unternehmen erweitert. Es ist nochmals darauf hinzuweisen, dass nicht alle energieintensiven Vorprodukte in der Studie berücksichtigt sind, sondern nur diejenigen, die

besonders stark von den vier Grundstoffen (Ammoniak, High-Value Chemicals, Aluminium und Stahl) abhängen.

Berücksichtigung von drei Effekten

Die Wirkungen der Anpassungsreaktionen der Unternehmen in den Downstream-Bereichen der Wertschöpfungsketten laufen über verschiedene Transmissionskanäle, die separat modelliert werden. Es werden drei Effekte unterschieden:

- ▶ **Direkte Effekte:** Verlust an Wertschöpfung und Beschäftigung, die unmittelbar durch die Verringerung der Inlandsproduktion durch Aufgabe oder Verlagerung ins Ausland in den betroffenen Downstream-Bereichen entstehen.
- ▶ **Importeffekte:** Verlust an Wertschöpfung und Beschäftigung, die dadurch entstehen, dass Unternehmen verstärkt Vorleistungen im Ausland einkaufen. Das betrifft die Unternehmen, die Branchen mit energieintensiven Vorprodukten beliefern und durch die Ausweitung der Vorleistungsbezüge aus dem Ausland Nachfragerückgänge zu verkraften haben. Dies wird als „Vorleistungs-Importeffekt“ oder kürzer als „Importeffekt“ bezeichnet. Die Importeffekte haben zunächst keinen Einfluss auf die direkt betroffenen Branchen⁷⁶, denn ihre Produktion bleibt bei der Ersetzung von inländischen durch ausländische Vorleistungen unverändert. Das gilt auch für die Wertschöpfung, denn diese ist definiert als Produktionswert minus Vorleistungen, unabhängig davon, ob diese aus dem Inland oder Ausland kommen.
- ▶ **Indirekte Effekte:** Verluste an Wertschöpfung und Beschäftigung in den Zulieferbranchen der von Energiepreisänderungen direkt betroffenen Branchen. Die Zulieferer haben durch die Verringerung der Inlandsproduktion und der erhöhten Vorleistungskäufe im Ausland der direkt betroffenen Branchen einen Nachfragerückgang nach ihren Produkten zu verkraften. Das betrifft die gesamte Wirtschaft und damit alle Branchen. Zur Berechnung der indirekten Effekte werden Input-Output Tabellen verwendet, die die wirtschaftlichen Verflechtungen zwischen den Branchen in Deutschland darstellen und aufzeigen, wieviel Absatzvolumen verloren geht, wenn eine Kundenbranche seine inländischen Vorleistungskäufe reduziert.

Wie bereits in Kapitel 3.4 erläutert, ist bei der Aggregation der drei Einzeleffekte zu Gesamtwerten zu beachten, dass die direkten und die Struktureffekte nicht unabhängig voneinander sind. Es gibt Überlappungen, die bei einer Addition zu partiellen Doppelzählungen führen würden. Bei der Darstellung der direkten und Struktureffekte bleiben die Überlappungen zunächst unberücksichtigt. Erst bei der Berechnung der Gesamtwerte wird die Überlappung sowohl bei dem direkten Effekt als auch dem Struktureffekt abgezogen und dafür als eigene Kategorie zusätzlich berücksichtigt. Die Aggregation zu einem Gesamtwert ist dann definiert als:

- ▶ direkte Effekte minus Überlappung
- ▶ plus Struktureffekte minus Überlappungen
- ▶ plus Überlappungen
- ▶ plus indirekte Effekte
- ▶ ist gleich Gesamteffekt

Nachfolgend werden die Ergebnisse für die drei Effekte dargestellt. Es ist dabei allerdings wichtig zu betonen (siehe Anmerkungen zum Studiendesign in Kapitel 3.1), dass die Effekte anhand der aktuell

⁷⁶ Diese Branchen werden allerdings indirekt betroffen, weil sie selbst Zulieferer von inländischen Vorleistungen an andere sind. Die Nachfrage nach diesen Vorleistungen geht auch für diese Branchen zurück.

bestehenden Wirtschaftsstruktur modelliert wurden – und isoliert von anderen nicht berücksichtigten Entwicklungen zu betrachten sind. Es können also nur diejenigen negativen Auswirkungen modelliert werden, die entstehen, wenn Teile der aktuellen Industrie aufgrund zu erwartender Energiekostenunterschiede wegfallen. Nicht berücksichtigt werden mögliche positive Effekte, die sich durch eine veränderte Wirtschaftsstruktur ergeben. Arbeitskräfte der betroffenen Branchen werden beispielsweise in nicht betroffene Wirtschaftsbereiche wandern und die Produktion dort ankurbeln. Zudem können und werden sich neue Wirtschaftszweige über den Betrachtungszeitraum ansiedeln, die ebenfalls nicht berücksichtigt sind. Unter Berücksichtigung dieses Aspekts stellen die Ergebnisse also einen isolierten Effekt da, der in der Realität noch von anderen Dynamiken begleitet wird. Einige dieser Dynamiken werden positive Wirtschaftsimpulse liefern. Auf der anderen Seite wird in der Berechnung nicht berücksichtigt, dass eine Reduktion einzelner Wirtschaftsbereiche die generelle Wettbewerbsfähigkeit des Landes gefährden könnte. Die Möglichkeit des Eintretens dieser „katalytischen Effekte“ wird in Kapitel 7.6 qualitativ besprochen. Insgesamt sind die Ergebnisse der Berechnungen somit als ungefähre Dimensionierung der erwartbaren negativen (und isolierten) Effekte zu verstehen – in Abhängigkeit der tatsächlich eintretenden Preispfade und ohne die Berücksichtigung möglicher positiver Effekte einer veränderten Wirtschaftsstruktur in Deutschland.

Zudem soll hervorgehoben werden, dass die zu dimensionierenden Effekte nicht unbedingt sofort bzw. gebündelt auftreten, sondern sich über eine mittelfristige Perspektive entfalten werden. Innerhalb des mit dem Jahr 2045 bewusst langfristig gewählten Zeitrahmens für die Ermittlung der Energiekostenunterschiede ergeben sich aus Sicht der Unternehmen dauerhafte Preisunterschiede für energieintensive Vorprodukte, auf die man dann mit mittelfristiger Perspektive reagieren wird. Als realistische, praxisnahe Reaktionsfrist, die in den Fokusinterviews mit Industrieunternehmen verprobt wurde, wird dabei ein Zeitrahmen von etwa 10 bis 15 Jahren angenommen.⁷⁷ Dementsprechend werden die wirtschaftlichen Effekte in den Fokusbranchen sowie der Gesamtwirtschaft am Standort Deutschland innerhalb dieses Zeitrahmens wirksam.

7.2 Direkte Effekte

Die direkten Effekte geben an, wieviel Produktionswert, Bruttowertschöpfung und Erwerbstätige in den direkt betroffenen Branchen durch die teilweise Aufgabe oder Verlagerung der Geschäfte verloren geht. Aus den Angaben in der Unternehmensbefragung ist bekannt, wie die erwartbaren Rückgänge in den betroffenen Unternehmen der Downstream-Bereiche der Wertschöpfungsketten aussehen. Wie oben ausgeführt, interessiert hier nur der Downstream-Bereich der Wertschöpfungsketten. Deshalb bleiben mögliche Anpassungsreaktionen im Upstream-Bereich bewusst unberücksichtigt. Diese Beschränkung wurde dadurch umgesetzt, in dem bei der Auswertung der Befragung diejenigen Unternehmen aus den Branchen Chemie und Metallerzeugung nicht einbezogen wurden, die dem Upstream-Bereich zuzuordnen sind.

Potenzial der Fokusbranchen als Ausgangspunkt für die Effektberechnung

Die Befragungsergebnisse müssen noch mit Blick auf einen zweiten Aspekt in eine breitere Sicht eingebettet werden. In der Befragung sind nur betroffene Unternehmen berücksichtigt. Das sind die

⁷⁷ Die projektbegleitenden Expertengespräche haben bestätigt, dass diese Annahmen die Planungshorizonte in den Unternehmen widerspiegeln.

Unternehmen, die angegeben haben, dass in maßgeblichem Umfang energieintensiven Vorprodukte beziehen.

Die Bedrohungskoeffizienten (siehe Kapitel 6.4.1) dürfen also nur auf denjenigen Teil einer Branche angewandt werden, der von den steigenden Preisen der energieintensiven Vorleistungen betroffen ist (das sogenannte „Potenzial“). Es bestehen zwei Wege, dieses Potenzial zu ermitteln.

- ▶ Erstens wurde schon in der durchgeführten Stoffstromanalyse (siehe Kapitel 4.3) analysiert, wieviel Produktion in den einzelnen Branchen abhängig von den vier betrachteten Grundstoffen ist.
- ▶ Zweitens geben die Umfrageergebnisse Auskunft darüber, welcher Anteil der Unternehmen und daraus abgeleitet ihrer Produktion von energieintensiven Vorleistungsprodukten davon abhängt.

Die beiden verschiedenen Maße haben unterschiedliche Vor- und Nachteile, bewegen sich aber in ähnlichen Korridoren. Sie sind hoch korreliert. Ist der aus der Stoffstromanalyse entstandene Anteil in einer Branche gering, geben tendenziell auch weniger Unternehmen dieser Branche an, energieintensive Vorleistungen zu beziehen. Für die Berechnungen wird daher der Mittelwert beider Maße verwendet. Die auf diese Weise ermittelten Potenziale der Fokusbranchen sind in Abbildung 7-1 dargestellt. Dort sind zwei Informationen angetragen. Erstens wird der von energieintensiven Vorprodukten abhängige Produktionswert in Milliarden Euro angegeben, zweitens werden die davon unabhängigen Teile aufgeführt. Zusätzlich sind die von energieintensiven Vorprodukten abhängigen Teile des Produktionswertes als Prozentsatz des gesamten Produktionswertes der Branche ausgewiesen. Der durchschnittliche Anteil über alle betrachteten Branchen liegt bei rund 72 Prozent. Das bedeutet zunächst einmal, dass selbst in den Bereichen, in denen die vier betrachteten Fokusgrundstoffe maßgeblich eingesetzt werden, nur knapp drei Viertel der Produktion davon betroffen sind.

- ▶ Überdurchschnittlich hoch ist dieser Anteil in der Gummi- und Kunststoffindustrie (94 Prozent), dem Fahrzeugbau (93 Prozent), den Metallerzeugnissen (87 Prozent) sowie in dem Bereich Maschinenbau/Elektroindustrie (80 Prozent).
- ▶ Unterdurchschnittliche Anteile weisen die Sonstige Industrie (46 Prozent) sowie der Downstream-Bereiche der Branchen Chemie (57 Prozent) und Metallerzeugung (69 Prozent) auf.

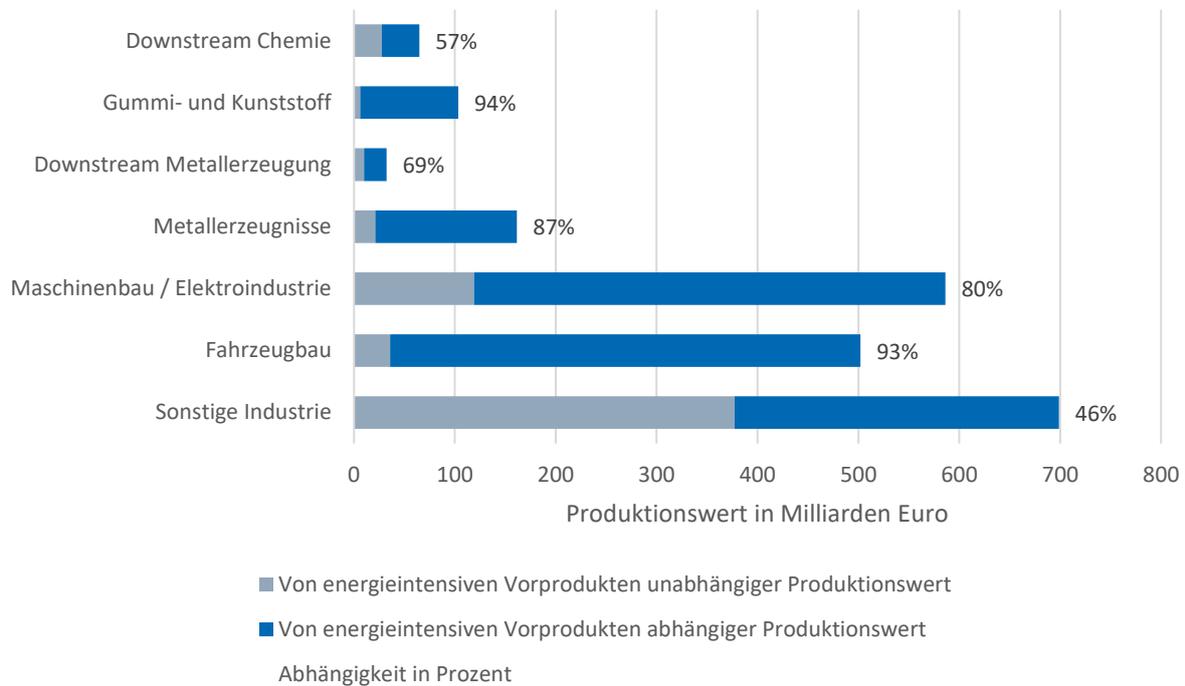
Würden auch die Upstream-Bereiche der Branchen Chemie und Metallerzeugung einbezogen, wären die Anteile höher. In der Chemie wären es 62 Prozent anstatt 57 Prozent und in der Metallerzeugung 70 anstatt 69 Prozent. Daraus folgen zwei Ableitungen: (1) Die Upstream-Bereiche sind im Vergleich zu den Downstream-Bereichen der Branchen relativ klein. (2) Selbst in der Chemieindustrie und in der Metallerzeugung gibt es Teile, in denen die vier betrachteten Fokusgrundstoffe keine wesentliche Bedeutung aufweisen. Dieser Hinweis ist zur Einordnung der Ergebnisse wichtig, denn er hebt nochmals hervor, dass in der Studie nur ein spezifischer und klar definierter Teil der gesamten Volkswirtschaft betrachtet wird.

Mit Blick auf die absoluten Größen der betroffenen Produktionswerte liegen der Maschinenbau einschließlich der Elektroindustrie sowie der Fahrzeugbau mit jeweils 467 Milliarden Euro und die Sonstige Industrie mit 321 Milliarden Euro vorne. In den anderen Branchen sind diese Volumina deutlich niedriger. Im Downstream-Bereich der Metallerzeugung sind es beispielsweise nur 22 Milliarden Euro.

Um die in den Angaben enthaltenen Informationen in gesamtwirtschaftliche Auswirkungen der Fokusbranchen zu aggregieren bzw. umzuwandeln, sind zwei zusätzliche Schritte erforderlich.

Abbildung 7-1: Potenzial der Fokusbranchen

Von energieintensiven Vorleistungsprodukten unabhängiger und abhängiger Produktionswert der Fokusbranchen



Erläuterung: Die Abbildung enthält zwei Informationen. Die dunkelblau gekennzeichneten Balken zeigen die von energieintensiven Vorprodukten abhängigen Produktionswerte in Milliarden Euro. Die grau eingezeichneten Balken zeigen die davon unabhängigen Teile der Produktionswerte Branche. Zusätzlich sind die von energieintensiven Vorprodukten abhängigen Teile des Produktionswertes einer Branche als Prozentsatz angegeben; N = 145

Quellen: Statistisches Bundesamt (2023a), Statistisches Bundesamt (2023b), IW Consult (2023)

Berechnung der direkten Effekte durch Multiplikation mit Bedrohungskoeffizienten

Durch die Multiplikation der Potenziale mit den aus der Umfrage ermittelten Bedrohungskoeffizienten für die drei Preis-Szenarien können die direkten Produktionswert-Effekte berechnet werden. Wertschöpfungs- und Beschäftigungsintensität der einzelnen Branchen werden daraufhin verwendet, um den berechneten Rückgang des Produktionswerts in die beiden anderen wirtschaftlichen Kennzahlen überführen zu können. Die direkten Effekte werden getrennt für die drei Preis-Szenarien berechnet und nachfolgend als Prozentveränderungen (vgl. Tabelle 7-1) sowie in absoluten Größen (vgl. Tabelle 9-4) dargestellt. Die Effekte messen die mittelfristig zu erwartbaren Anpassungsreaktion der Unternehmen. Die Effektgrößen sind auf die Ausgangsniveaus des Jahres 2022 bezogen.

Die nachstehende Tabelle 7-1 zeigt die direkten Effekten der betroffenen Fokusbranchen als Prozentwerte (mittelfristige Rückgänge in Prozent der Ausgangsgrößen) für die drei Preis-Szenarien (moderat, stark, extrem stark). Ausgewiesen sind die aufsummierten Effekte für die Fokusbranchen insgesamt. Die Einbußen bei der Produktion, der Bruttowertschöpfung und der Beschäftigung sind in den einzelnen Branchen jeweils identisch, unterscheiden sich natürlich in den einzelnen Szenarien. Für die absoluten Werte in Eurobeträgen (Produktionswert, Bruttowertschöpfung und Beschäftigung) siehe im Anhang. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt nach den Szenarien.

Tabelle 7-1: Relative direkte Effekte nach SzenarioRelative Reduktion der wirtschaftlichen Aktivitäten im Inland¹⁾; Angaben in Prozent; mittelfristige Perspektive

Fokusbranchen	Preis-Szenario Moderat	Preis-Szenario Stark	Preis-Szenario Extrem
Downstream Chemie	7,4	17,4	22,2
Gummi- und Kunststoff	5,4	12,0	17,8
Downstream Metallerzeugung	24,6	37,6	50,1
Metallerzeugnisse	3,3	8,3	12,8
Maschinenbau / Elektroindustrie	1,2	3,7	7,8
Fahrzeugbau	8,1	11,7	15,9
Sonstige Industrie	1,1	7,9	9,0
Gesamt	3,7	8,6	12,0

¹⁾ Rückgänge des Produktionswertes, der Bruttowertschöpfung und der Beschäftigung in Prozent bezogen die Downstream-Bereiche der Branchen. Die Veränderungsdaten der Branchen sind für die drei Kennziffern jeweils identisch. Für den Gesamtwert ist der Rückgang für den Produktionswert angegeben.

Quellen: Statistisches Bundesamt (2023a), IW Consult (2023)

7.2.1 Szenario der moderaten Preisunterschiede

Die strategischen Reaktionen der Unternehmen auf Preisunterschiede für energieintensive Vorprodukte bis 5 Prozent führt in aggregierter Betrachtung zu den folgenden direkten Effekten:

- ▶ Über alle Fokusbranchen betrachtet, ist in diesem moderaten Preis-Szenario mit einem Rückgang der Produktion um 3,7 Prozent zu rechnen. Das entspricht einem Produktionswert von 79,3 Milliarden Euro. Der direkte Effekt bei der Bruttowertschöpfung beträgt 3,3 Prozent oder 25 Milliarden Euro. Die Zahl der Arbeitsplätze wird um 2,9 Prozent fallen. Das sind knapp 236.000 Arbeitsplätze.
- ▶ Hohe direkte Effekte gemessen als prozentuale Einbußen sind vor allem im Downstream-Bereich der Metallerzeugung (24,6 Prozent Reduktion) zu erwarten. Die Inlandsproduktion sinkt um 8 Milliarden Euro und die Bruttowertschöpfung um 1,9 Milliarden Euro. Die Zahl der Arbeitsplätze wird um knapp 22.300 sinken. Der prozentuale Rückgang der Produktion, der Wertschöpfung und der Beschäftigung beträgt deshalb knapp 25 Prozent, weil der Downstream-Bereich der Metallerzeugung vergleichsweise klein ist. Der Produktionswert der Branche beträgt insgesamt 95,6 Milliarden Euro – davon entfallen nur 32,3 Milliarden Euro auf den Downstream-Bereich.
- ▶ Auf Platz 2 der betroffenen Branchen folgt der Fahrzeugbau. Dort werden Produktion, Wertschöpfung und Zahl der Beschäftigten um 8,1 Prozent fallen. Aufgrund der Größe der Branche sind diese Einbußen durchaus erheblich. Die Produktion wird um 40,6 Milliarden Euro und die Bruttowertschöpfung um 12,2 Milliarden Euro zurückgehen. Damit sind Arbeitsplatzverluste in einer Größenordnung von rund 85.000 Jobs verbunden.
- ▶ Ähnlich hoch von diesen Effekten betroffen ist der Downstream-Bereich der Chemie. Hier ist mit einem Rückgang der genannten Kenngrößen um 7,4 Prozent zu rechnen (Platz 3). Dies entspricht einem Verlust von 4,8 Milliarden Euro Produktion, 1,5 Milliarden Euro Wertschöpfung und 12.000

Arbeitsplätzen. Auch in der Chemie ist zu beachten, dass der Downstream-Anteil an der Gesamtbranche relativ klein ist (etwa 41 Prozent des Produktionswertes von 157 Milliarden Euro).

- ▶ In den anderen betroffenen Branchen sind die Effekte deutlich geringer. In der Gummi- und Kunststoffindustrie ist mit Einbußen in Höhe von 5,4 Prozent und bei den Metallerzeugnissen von 3,3 Prozent zu rechnen. Am Ende dieser Betroffenheitsskala liegen der Bereich Maschinenbau/Elektroindustrie (1,2 Prozent) und die Sonstige Industrie (1,1 Prozent).

Die Tabelle 7-2 fasst die Gesamtergebnisse für die direkten Effekte zusammen und zeigt die Bedeutung für die Industrie und Gesamtwirtschaft auf:

- ▶ Die Industrie muss aufgrund der direkten Effekte in den Fokusbranchen in dem moderaten Preis-Szenario mittelfristig mit einem Rückgang der Produktion um 2,6 Prozent rechnen. Bezogen auf die Gesamtwirtschaft sind es 1,1 Prozent.
- ▶ Die Bruttowertschöpfung wird in der Industrie um 2,4 Prozent und in der Gesamtwirtschaft um 0,7 Prozent fallen.
- ▶ In der Industrie ist einem Verlust von 2,9 Prozent der Arbeitsplätze zu rechnen. In der Gesamtwirtschaft wären es 0,5 Prozent.

Die Tabelle 7-2 zeigt auch die Ergebnisse der beiden anderen Preis-Szenarien, die in den folgenden Unterabschnitten erläutert werden.

Tabelle 7-2: Relative direkte Effekte für die Gesamtwirtschaft und Branchen sowie Szenarien

Relative Reduktion der wirtschaftlichen Aktivitäten im Inland; Angaben in Prozent; mittelfristige Perspektive

Kennziffern und Branchen	Preis-Szenarien		
	Moderat	Stark	Extrem
Produktion			
Fokusbranchen	3,7	8,6	12,0
Industrie ¹⁾	2,6	6,0	8,3
Gesamtwirtschaft	1,1	2,5	3,4
Bruttowertschöpfung			
Fokusbranchen	3,3	8,4	11,5
Industrie ¹⁾	2,4	6,2	8,5
Gesamtwirtschaft	0,7	1,8	2,5
Erwerbstätige			
Fokusbranchen	2,9	8,3	11,3
Industrie ¹⁾	2,2	6,3	8,6
Gesamtwirtschaft	0,5	1,5	2,0

¹⁾ Produzierendes Gewerbe

Quellen: Statistisches Bundesamt (2023a), IW Consult (2023)

7.2.2 Szenario der starken Preisunterschiede

Das mittlere Szenario mit starken Preisunterschieden für energieintensive Vorprodukte ist das wichtigste Szenario, weil es die höchste Eintrittswahrscheinlichkeit hat (siehe Kapitel 6.2). Die direkten Effekte sind im Vergleich zum moderaten Szenario deutlich höher:

- ▶ Über alle Fokusbranchen betrachtet ist hier mit einem mittelfristigen Rückgang der Inlandsproduktion von 8,6 Prozent zu rechnen. Das ist deutlich mehr als im moderaten Preis-Szenario (3,7 Prozent). Das bedeutet einen Verlust an Produktionswert in Höhe von rund 185 Milliarden Euro. Das sind 106 Milliarden Euro mehr als im moderaten Szenario. Bei der Bruttowertschöpfung ist mit Einbußen in Höhe von 63,8 Milliarden Euro zu rechnen (8,6 Prozent). In diesem mittleren Preisszenario sind in den Fokusbranchen allein durch direkte Effekte rund 674.000 Arbeitsplätze gefährdet (8,3 Prozent).
- ▶ Diese deutlich stärkere Zunahme der Effekte zeigt sich in allen Fokusbranchen. An der Reihenfolge der Betroffenheit ändert sich im Vergleich zum moderaten Preis-Szenario wenig. An der Spitze der Betroffenheit liegt der Downstream-Bereich der Metallerzeugung. Im Szenario starker Preisunterschiede muss mit einem Rückgang der Produktion, der Wertschöpfung und der Beschäftigten um fast zwei Fünftel (37,6 Prozent) gerechnet werden. Auf Platz 2 folgt der Downstream-Bereich Chemie mit 17,4 Prozent Produktionsrückgang. Im moderaten Szenario hat die Chemie mit 7,4 Prozent Produktionsrückgang noch auf Platz 3 in der Rangfolge der betroffenen Branchen gelegen. Im Szenario der starken Preisunterschiede müssen die Gummi- und Kunststoffindustrie sowie der Fahrzeugbau mit einem erwarteten Rückgang von jeweils rund 12 Prozent überdurchschnittlich hohe Einbußen verkraften. Bei den Metallerzeugnissen (8,3 Prozent) und in der Sonstigen Industrie (7,9 Prozent) liegen die Rückgänge in etwa im Bereich des Durchschnittswertes. Deutlich geringer sind die Einbußen im Maschinenbau und der Elektroindustrie (3,7 Prozent). Die

Tabelle 9-4 zeigt die entsprechenden absoluten Größenangaben in Milliarden Euro bzw. der Zahl der Erwerbstätigen. Am höchsten fallen die absoluten Effekte in der Sonstigen Industrie und im Fahrzeugbau aus.

Auch bezogen auf die Industrie und die Gesamtwirtschaft ist das Gefährdungspotenzial im Szenario der starken Preisunterschiede deutlich höher als im moderaten Szenario (vgl. Tabelle 7-2):

- ▶ In der Industrie ist mit einem Rückgang der Produktion um 6 Prozent und in der Gesamtwirtschaft um 2,5 Prozent zu rechnen.
- ▶ Die Bruttowertschöpfung und die Zahl der Arbeitsplätze werden in diesem Szenario in einer ähnlichen Größenordnung zurückgehen. Die Wertschöpfung sinkt in der Industrie um 6,2 Prozent und in der Gesamtwirtschaft um 1,8 Prozent. Die Erwerbstätigkeit wird in der Industrie um 6,3 Prozent und in der gesamten deutschen Volkswirtschaft um 1,5 Prozent fallen.

7.2.3 Szenario der extremen Preisunterschiede

Im extremen, aber eher unwahrscheinlichen Szenario mit Preisanstiegen für energieintensive Vorprodukte von 25 Prozent und mehr sind die direkten Effekte nochmals deutlich höher:

- ▶ Die Produktion im Inland sinkt in den Fokusbranchen um 12 Prozent. Das sind knapp 258 Milliarden Euro. Die Bruttowertschöpfung geht um rund 88 Milliarden (11,5 Prozent) und die Zahl der Erwerbstätigen um 920.000 (11,3 Prozent) zurück. Der Grund für diese sehr hohen direkten Effekte ist, dass in diesem Szenario mehr Unternehmen von der „strategischen Dehnung“ zum „strategischem Bruch“ überwechseln (siehe Kapitel 6.3).
- ▶ Besonders stark sind die Effekte in den Downstream-Bereichen der Metallerzeugung (-50,1 Prozent) und der Chemie (22,2) Prozent. Das sind die beiden Branchen, die auf der Upstream-Seite besonders stark durch die Verteuerung der Fokusgrundstoffe belastet sind. Sie antworten mit einer überdurchschnittlich starken Verringerung der Inlandsproduktion. Sie geht in der Folge in der Metallerzeugung um 16,2 Milliarden Euro und in der Chemie um 14,4 Milliarden Euro zurück. Das bedeutet für die Bruttowertschöpfung in der Metallerzeugung ein Minus von 4 Milliarden Euro, in der Chemie von 4,6 Milliarden Euro.
- ▶ Auch in anderen Fokusbranchen muss im Vergleich zu den beiden oben analysierten Szenarien mit höheren Einbußen gerechnet werden. In der Gummi- und Kunststoffindustrie sind es 17,8 Prozent, im Fahrzeugbau 15,9 Prozent und bei den Metallerzeugnissen 12,8 Prozent. Unterdurchschnittlich (aber auch höher als in den anderen Szenarien) sind die direkten Effekte in der Sonstigen Industrie (9 Prozent) und dem Maschinenbau einschließlich Elektroindustrie (7,8 Prozent). Wiederum zeigt die Tabelle 9-4 die Effekte in Eurobeträgen. Am höchsten sind die Verluste beispielsweise beim Produktionswert im Fahrzeugbau (-79,6 Milliarden Euro), in der Sonstigen Industrie (-62,9 Milliarden Euro) und im Bereich Maschinenbau/Elektrotechnik (-45,6 Milliarden Euro).

In diesem Szenario der extremen Preisunterschiede würde die Industrie 8,3 Prozent der Produktion im Inland einbüßen. Bezogen auf die Gesamtwirtschaft wären es 3,4 Prozent. Das ist eine Größenordnung, die in etwa dem gesamten Einzelhandel entspricht. Bei der Bruttowertschöpfung wäre in der Industrie mit einem Rückgang von 11,5 Prozent und in der Gesamtwirtschaft von 2,5 Prozent zu rechnen. Hinsichtlich der Erwerbstätigen würde der Verlust von rund 920.000 Arbeitsplätzen für die Industrie einen Rückgang von 8,6 Prozent bedeuten. Bezogen auf die Gesamtwirtschaft wären es 2 Prozent (vgl. Tabelle 7-2).

Dieses weniger wahrscheinliche Szenario der extremen Preisunterschiede hätte direkte Effekte zu Folge, die makroökonomisch erheblich und als Wachstumseinbruch zu bezeichnen wären.

7.3 Importeffekte

Der Importeffekt misst den drohenden Verlust an Produktion, Bruttowertschöpfung und Arbeitsplätzen durch einen verstärkten Zukauf von Vorprodukten im Ausland in der Downstream-Wertschöpfungskette der betroffenen Fokusbranchen. Das betrifft die Zulieferer von energieintensiven Vorprodukten, die durch den verstärkten Bezug von Vorleistungen der Fokusbranchen aus dem Ausland Nachfrage einbüßen. Wie bereits im Kapitel 6.4.2 erläutert, sind davon die Chemieindustrie, die Metallherzeugung (jeweils Upstream und Downstream), die Gummi- und Kunststoffindustrie und die Metallherzeugnisse betroffen. Sie liefern im erheblichen Umfang energieintensive Vorprodukte an die Fokusbranchen. Das gilt nicht für die Bereiche Maschinenbau und Elektroindustrie, Fahrzeugbau und sonstige Industrie. Hier gibt es keinen Vorleistungs-Importeffekt, die entsprechenden Werte in den nachstehenden Ergebnisübersichten sind deshalb gleich null.

Die Tabelle 7-3 zeigt den gesamten Importeffekt⁷⁸ für die einzelnen betroffenen Branchen als jeweils relative Größe. Angegeben sind die durch die erhöhten Auslandsbezüge induzierten Rückgänge der Inlandsproduktion in Prozent des Produktionswertes der Branchen des Jahres 2022. Im Unterschied zu den direkten Effekten wird hier zwischen den Upstream- und den Downstream-Bereichen in der Chemie unterschieden, weil auf der Vorleistungsebene beide Teile der Wertschöpfungskette betroffen sind.

Die Importeffekte in Eurobeträgen für die verschiedenen Szenarien zeigt die Tabelle 9-4 im Anhang.

⁷⁸ Darin sind noch die Überschneidungen mit den direkten Effekten (Overlapping Effekt) enthalten, die bei der Gesamtbetrachtung in Kapitel 7.5 berücksichtigt werden.

Tabelle 7-3: Importeffekte nach Szenario

Relative Reduktion der wirtschaftlichen Aktivitäten im Inland durch Veränderung der Vorleistungsstruktur; Angaben in Prozent; mittelfristige Perspektive

Fokusbranchen	Gesamter Importeffekt in Prozent der Produktionswerte		
	Preis-Szenario	Preis-Szenario	Preis-Szenario
	Moderat	Stark	Extrem
Upstream Chemie	1,9	2,3	1,9
Downstream Chemie	1,9	2,3	1,9
Gummi- und Kunststoff	9,4	10,7	9,3
Upstream Metallerzeugung	3,6	4,4	3,7
Downstream Metallerzeugung	3,6	4,4	3,7
Metallerzeugnisse	8,2	10,1	8,7
Maschinenbau / Elektroindustrie	0,0	0,0	0,0
Fahrzeugbau	0,0	0,0	0,0
Sonstige Industrie	0,0	0,0	0,0
Gesamt	1,3	1,5	1,3

Quellen: Statistisches Bundesamt (2023a), Statistisches Bundesamt (2023c), IW Consult (2023)

Szenario der moderaten Preisunterschiede

Im moderaten Preis-Szenario ist durch den verstärkten Auslandsbezug von Vorleistungen in den Fokusbranchen mit einem Rückgang der Produktion um 1,3 Prozent zu rechnen. Die Bruttowertschöpfung würde ebenfalls um 1,2 Prozent fallen, bei der Beschäftigung wären es 1,5 Prozent.

Relativ am stärksten betroffen ist die Gummi- und Kunststoffindustrie. Dort ist mit einem Rückgang der Produktion, der Wertschöpfung und der Beschäftigung um 9,4 Prozent zu rechnen. Ähnlich hoch ist der Effekt bei den Metallerzeugnissen (8,2 Prozent). Wie bereits in Kapitel 6 ausgeführt, ist es jedoch auch denkbar, dass der Importeffekt in der Realität weiter Upstream stattfinden wird. Dann nämlich, wenn durch Vorleistungssubstitution im Upstream-Bereich Vorleistungskosten nachgelagerter Branchen reduziert werden, sodass der Anreiz für höhere Importe reduziert wird. Dann würden sich die hier gezeigten Effekte teilweise in die jeweiligen Upstream-Teile der Wirtschaftszweige Metalle und Chemie verlagern. In den anderen Branchen fallen die Anpassungsreaktionen schwächer aus. Insgesamt führen die verstärkten Vorleistungskäufe im Ausland zu einem Rückgang der Inlandsproduktion von 29,4 Milliarden Euro (Tabelle 9-4 im Anhang). Die höchsten Anteile daran entfallen auf die Metallerzeugnisse (13,2 Milliarden Euro) und die Gummi- und Kunststoffindustrie (9,8 Milliarden Euro). Der Upstream-Bereich der Chemieindustrie verliert durch den Nachfrageausfall nach inländischen Vorleistungen einen Produktionswert von 1,8 Milliarden Euro. Im Downstream sind es nur 1,3 Milliarden Euro. Das zeigt, dass der Upstream-Bereich in der Chemie im wesentlichen Umfang Vorleistungen an die Fokusbranchen verkauft. Ähnliches gilt für die Metallerzeugung. Im Upstream-Bereich gehen 2,3 Milliarden Euro und im Downstream-Bereich der Branche nochmal 1,2 Milliarden Euro verloren.

Im moderaten Preis-Szenario wird die Bruttowertschöpfung um 9,8 Milliarden sinken. Die Verteilung auf die einzelnen Fokusbranchen ist ähnlich wie bei der Produktion. In diesem Szenario sind über den Vorleistungskanal insgesamt über 130.000 Arbeitsplätze betroffen bzw. bedroht. Über die Hälfte dieser Arbeitsplätze entfällt auf die Metallerzeugnisse. In der Chemieindustrie hingegen ist nur mit einem Rückgang von fast 6.900 Arbeitsplätzen zu rechnen. Unter anderem sind diese relativen Unterschiede in Produktivitätseffekten begründet. In der Branche Metallerzeugnisse beträgt die Produktivität

(Bruttowertschöpfung je Erwerbstätigen) 66.650 Euro, in der Chemie sind es 151.000 Euro. Jeder Euro Rückgang an Produktionswert oder Wertschöpfung führt deshalb bei den Metallerzeugnissen zu einem Arbeitsplatzabbau im Vergleich zur Chemie.

Szenario der starken Preisunterschiede

Im dem wahrscheinlichsten mittleren Preis-Szenario nimmt die Effektstärke im Vergleich zum moderaten Preis-Szenario zu. Bezogen auf den Produktionswert des Jahres 2022 ist mittelfristig mit einem Rückgang der Inlandsproduktion um 1,5 Prozent zu rechnen, im moderaten Szenario waren es nur 1,3 Prozent. Die Effekte nehmen in allen Branchen zu. Die höchsten Einbußen haben relativ betrachtet die Gummi- und Kunststoffindustrie sowie die Metallerzeugung zu tragen. Sie verlieren gut ein Zehntel ihres Absatzes, weil sie durch das verstärkte Sourcing der Fokusbranchen im Ausland überdurchschnittlich stark Kunden im Inland verlieren. In der Chemieindustrie liegen diese Einbußen bei 2,3 Prozent (Upstream und Downstream). In der Metallerzeugung ist der Effekt mit 4,4 Prozent in etwa doppelt so hoch. Das Ansteigen der Effektgröße ist das Spiegelbild der Ergebnisse aus Kapitel 6.4. Dort haben die Befragungsergebnisse gezeigt, dass die Unternehmen aus den Fokusbranchen bei dem Übergang vom moderaten zum mittleren Preis-Szenario mit einem verstärkten Rückgang der Nachfrage nach inländischen Vorleistungen reagieren. Genau diese Reaktion verringert die Absatzchancen der Zulieferer mit energieintensiven Vorprodukten.

Die absoluten Effekte nehmen beim Übergang vom moderaten zum mittleren Preis-Szenario nur in geringem Umfang zu. Hinsichtlich des Produktionswertes ist eine Zunahme von 29,4 Milliarden Euro auf 35,1 Milliarden Euro zu konstatieren (Tabelle 9-4 im Anhang). Bei der Wertschöpfung ist eine Effekterhöhung von 9,8 auf 11,7 Milliarden Euro zu erwarten. Im moderaten Szenario wären durch den Struktureffekt knapp 131.000 Arbeitsplätze betroffen – im mittleren Szenario wäre ein Anstieg auf knapp 157.000 Arbeitsplätze zu verzeichnen. Relativ und absolut betrachtet leiden die Metallerzeugnisse und die Gummi- und Kunststoffindustrie unter den größten Einbußen durch den Importeffekt. In der Chemieindustrie und der Metallerzeugung sind die Upstream-Bereiche absolut betrachtet stärker betroffen als die Downstream-Bereiche dieser Industrien. Auch das ist ein Ergebnis davon, dass die Upstream-Bereiche im Vergleich zum Downstream einen höheren Anteil an energieintensiven Vorprodukten an ihre Kunden liefern.

Die Einbußen sind beim Importeffekt beim Übergang vom moderaten zum mittleren Preis-Szenario geringer. Bei den direkten Effekten ist bei diesem Übergang mit einer Zunahme der Produktionseinbußen von 133 Prozent (von 79,3 auf 183,5 Milliarden Euro) zu rechnen – bei den Importeffekten beträgt diese Wachstumsrate nur 19,4 Prozent (von 29,4 auf 35,1 Milliarden Euro). Der Grund dafür ist, dass die Anpassungsreaktion „mehr Vorleistungen aus dem Ausland“ bereits von sehr vielen Unternehmen im moderaten Preis-Szenario relevant wird und dieser Anteil im Preis-Szenario der starken Preisunterschiede nicht wesentlich ansteigt. Das hat die Analyse in Kapitel 6.3 gezeigt. Dort haben rund 40 Prozent der betroffenen Unternehmen im moderaten Szenario angegeben, dass sie mit erhöhtem Auslandsbezug von Vorleistungen reagieren werden. Im mittleren Szenario ist dieser Anteil auf 51 Prozent gestiegen. Das bedeutet eine Zunahme von knapp 28 Prozent. Der Anteil der Unternehmen, die die Produktion im Inland einschränken wollen (direkter Effekt), ist deutlich stärker gestiegen – und zwar von rund 13 Prozent auf 28 Prozent. Das entspricht einer Zunahme von mehr als 50 Prozent. Deutlich werden die Unterschiede zwischen den Preis-Szenarien bei dem Blick auf die Verteilung der direkten Effekte und der Struktureffekte deutlich. Im moderaten Szenario entfällt auf den Importeffekt rund ein Viertel des Gesamteffektes – im mittleren Szenario sind es nur noch 15 Prozent. Insgesamt lässt sich das zu der Aussage verdichten, dass die im moderaten Preis-Szenario dominante Dehnungsstrategie im mittleren Szenario zwar an Kraft verliert, aber immer noch mit Priorität verfolgt wird. Das ändert sich in dem extremen Preis-Szenario, wie die nachfolgende Analyse zeigt.

Auch das zeigt ein Rückblick auf Kapitel 6.3. Im moderaten Szenario haben fast 87 Prozent der Unternehmen angegeben, dass sie Preisunterschiede zu internationalen Konkurrenzstandorten entweder puffern oder durch erhöhten Auslandsbezug von Vorleistungen ausgleichen könnten. Im mittleren Szenario fällt dieser Anteil auf gut 73 Prozent und ist aber immer noch so hoch, dass von einer Dominanz der Dehnungsstrategie gesprochen werden kann. Im Extrem-Szenario fällt dieser Anteil auf knapp 61 Prozent der Unternehmen – das ist der Übergang zum Strategiebruch.

Szenario der extremen Preisanstiege

Im extremen Preis-Szenario werden die Vorleistungs-Importeffekte wieder kleiner. Die Effektstärke bei der Produktion beträgt 1,3 Prozent und fällt damit wieder fast auf das Niveau des moderaten Szenarios zurück. In Eurobeträgen bedeutet das einen Produktionsrückgang von 30,2 Milliarden Euro, einen Verlust an Wertschöpfung von 10,1 Milliarden Euro mit 135.000 dadurch bedrohten Arbeitsplätzen (Tabelle 9-4 Anhang).

Im Vergleich zu dem mittleren Preis-Szenario sind im extremen Preis-Szenario die Importeffekte in allen Branchen rückläufig. Das belegt die bereits vorne formulierte Hypothese, dass mit dem Übergang vom mittleren zum extremen Preis-Szenario auch ein Wechsel von der „strategischen Dehnung“ zum „strategischen Bruch“ einhergeht. In allen Branchen nimmt die Strategieoption „Reduktion der Inlandsproduktion“ in dem Extrem-Szenario deutlich zu. Preisunterschiede von 25 Prozent und mehr gegenüber wichtigen Konkurrenzstandorten sind ein Kipp-Punkt („Tipping Point“), der den Industriestandort Deutschland deutlich schwächen würde.

7.4 Indirekte Effekte

Der in den direkten Effekten berechnete Rückgang der Produktion der betroffenen Branchen beeinflusst auch die wirtschaftliche Aktivität in den vorgelagerten Wirtschaftsbereichen. Daher sind neben den direkten Effekten auch die indirekten Effekte zu berücksichtigen. Diese ergeben sich dadurch, dass Branchen weniger Vorleistungsgüter und -dienstleistungen an die betroffenen Wirtschaftsbereiche verkaufen können. Dies gilt sowohl für die direkten Vorleistungslieferanten der betroffenen Branchen als auch für die weiter vorgelagerten Zulieferer-Stufen. Betroffen sind zum einen die Industriebranchen, die wichtige Vorleistungsprodukte liefern, aber auch der Dienstleistungssektor. Verringert sich beispielsweise die Produktion in der Automobilindustrie, werden auch weniger Motoren benötigt. Dies verringert wiederum die nötige Produktion an Zylindern, Ventilen und Zündkerzen. Aber auch einige Finanzdienstleister, Unternehmensberater und Hausmeisterdienste werden ihren Kunden verlieren.

Um diese komplexen Zusammenhänge abbilden und quantifizieren zu können, werden Input-Output Tabellen (IOT) verwendet, in denen die bestehenden Wirtschaftsverflechtungen zwischen den Branchen eines Landes dargestellt sind. Nationale und multinationale IOT werden von verschiedenen statistischen Ämtern veröffentlicht (beispielsweise vom Statistischen Bundesamt, der OECD und Eurostat), dies geschieht jedoch häufig mit einer Verzögerung von einigen Jahren. Mit dem IOT-Modell der IW Consult ist es möglich, vorhandene IOT der letzten Jahre auf Grundlage der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung auf den aktuellen Rand fortzuschreiben.⁷⁹ Somit ist es möglich, die Wirtschaftsstruktur des Jahres 2022 als Grundlage für die Modellierung der Effekte zu verwenden.

⁷⁹ Als Grundlage hierfür dient die IOT nach Wirtschaftszweigen von Eurostat (Eurostat (2022)).

Die Berechnung der Effekte erfolgt in mehreren Schritten. Zunächst wird die Veränderung der bestehenden Wirtschaftsstruktur in der IOT modelliert, es werden also veränderte Vorleistungslieferungen und Produktionswerte angenommen. In einem nächsten Schritt kann durch die Berechnung der sogenannten Leontief-Inverse ermittelt werden, wie viel die neu modellierte Wirtschaft in den einzelnen Branchen produziert. Mit der Verwendung der Leontief-Inverse wird die gesamte vorgelagerte Wertschöpfungskette jeder Branche berücksichtigt. Die gesamtwirtschaftlichen Effekte ergeben sich dann in einem letzten Berechnungsschritt aus der Differenz des tatsächlichen und des neu berechneten Produktionswerts. Diese Vorgehensweise orientiert sich dabei an der bestehenden Literatur.⁸⁰

Bei der Modellierung der geänderten Wirtschaftsstruktur werden folgende Annahmen getroffen: Die direkte Reduzierung der Produktion in den betroffenen Branchen führt dazu, dass sich alle Vorleistungen an die betroffene Branche und alle Lieferungen von der betroffenen Branche um den jeweils ermittelten Anteil reduzieren. Es wird also eine lineare Produktionsfunktion angenommen.⁸¹

Die Abbildung 7-3 zeigt die wesentlichen Ergebnisse:

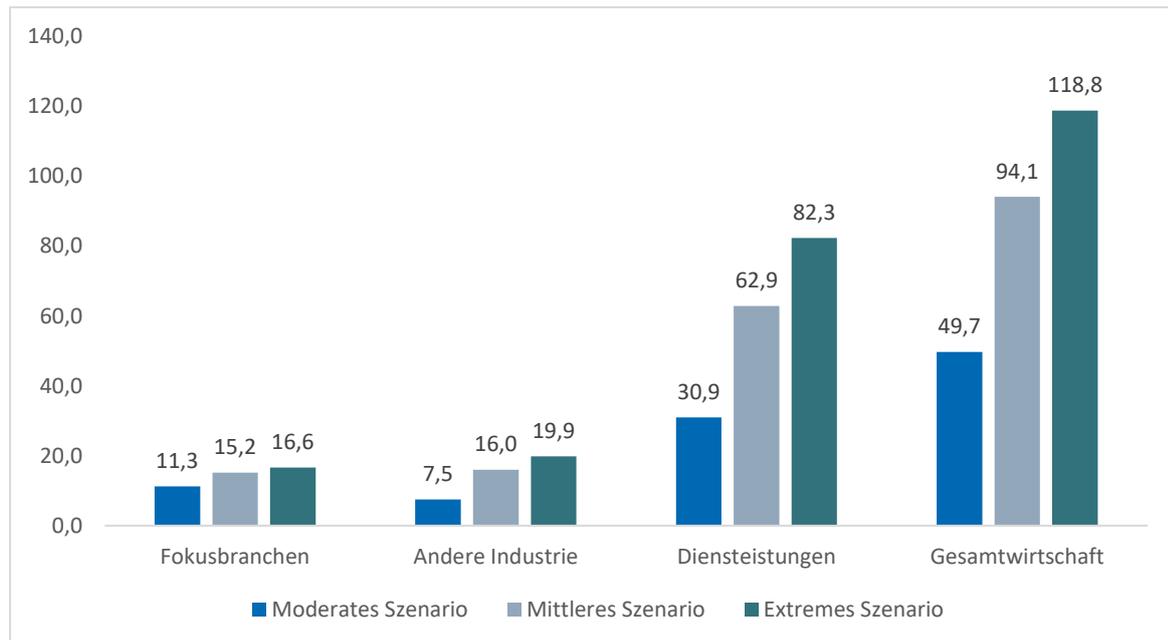
- ▶ In dem wahrscheinlichsten mittleren Preis-Szenario muss durch die indirekten Effekte in der Wertschöpfungskette mittelfristig mit einem Rückgang der Produktion um 94,1 Milliarden Euro gerechnet werden. Das entspricht 1,3 Prozent des gesamten Produktionswertes der deutschen Volkswirtschaft. Davon tragen die Fokusbranchen 15,2 Milliarden Euro, die anderen Industriebranchen 16,0 Milliarden und der Dienstleistungsbereich 62,9 Milliarden Euro.
- ▶ Mit diesem Produktionsrückgang sind Wertschöpfungsverluste im mittleren Szenario von 50,1 Milliarden Euro verbunden. Davon entfallen 10,0 Milliarden Euro auf die Fokusbranche, 10,8 Milliarden Euro auf andere Industriebranchen und 29,4 Milliarden Euro auf den Dienstleistungssektor.
- ▶ Im mittleren Preis-Szenario ist mittelfristig mit einem Verlust von beinahe 539.000 Arbeitsplätzen zu rechnen, wovon allein 429.000 dieser Jobs auf die Dienstleistungsbranchen entfallen.
- ▶ Relativ betrachtet sind die Fokusbranchen unterdurchschnittlich betroffen. Die drohenden Verluste bei der Produktion betragen 0,7 Prozent des Produktionswertes des Jahres 2022. In der Sonstigen Industrie liegt dieser Anteil bei 1,8 Prozent, bei den Dienstleistungen bei 1,5 Prozent. In der Gesamtwirtschaft betragen die Einbußen beim Produktionswert 1,3 Prozent.

⁸⁰ Vgl. Mandras et al. (2019).

⁸¹ Für die Lieferungen einer betroffenen Branche an eine andere betroffene Branche wird die höhere der beiden Änderungsraten angenommen.

Abbildung 7-2: Indirekte Effekte nach Szenarien und Branchengruppen

Angaben in Milliarden Euro; mittelfristige Perspektive



Quellen: Statistisches Bundesamt (2023a), Eurostat (2022), IW Consult (2023)

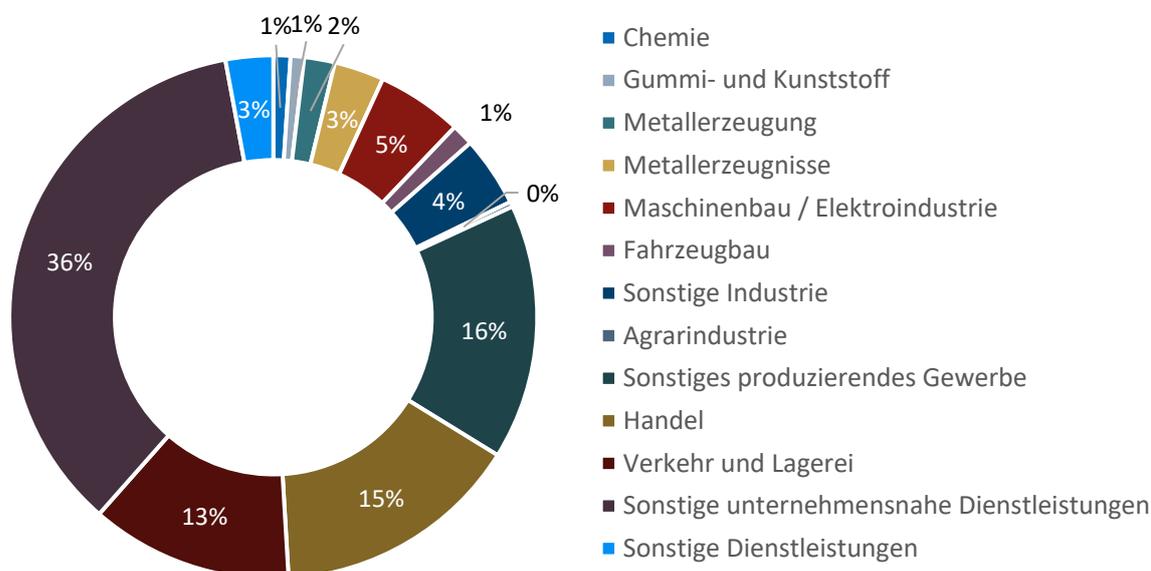
Ähnlich wie die direkten Effekte und die Struktureffekte sind auch die indirekten Effekte im moderaten Szenario kleiner und im Extrempreis-Szenario deutlich höher. Im moderaten Szenario ist durch den indirekten Effekt mit einem Rückgang der Produktion nur in Höhe von 49,7 Milliarden Euro rechnen. Für die Wertschöpfung bedeutet das einen Verlust von 26,9 Milliarden Euro. Dadurch wären gut 288.000 Arbeitsplätze betroffen. Im Extrempreis-Szenario erhöhen sich die Verluste bei der Produktion auf 119 Milliarden Euro und für die Wertschöpfung auf 63 Milliarden Euro. Betroffen wären dabei über 692.000 Arbeitsplätze.

Entscheidend bei der Betrachtung der Analyse der indirekten Effekte ist, dass sich die negativen Auswirkungen nicht auf die betroffenen Fokusbranchen beschränken, sondern alle Branchen in Mitleidenschaft ziehen. Das verdeutlicht nochmals die Abbildung 7-3, die die Verteilung der indirekten Effekte auf einer stärker differenzierten Ebene für die Produktion darstellt:

- ▶ 36 Prozent des Rückgangs der Produktion entfällt auf die unternehmensnahen Dienstleistungen aus den Bereichen Information und Kommunikation, Finanzwirtschaft, Grundstückswesen, Beratungen, technische Dienstleistungen, Forschung, Vermietung oder Bewachungsdienste.
- ▶ Es folgen die Industriebranchen aus dem Kreis der Fokusbranchen sowie der Handel, dahinter liegt die Logistik (Verkehr und Lagerei).
- ▶ Auf die eher gesellschafts- und haushaltsnahen sonstigen Dienstleistungen aus den Bereichen Sozialversicherung, staatliche Verwaltung, Gesundheitswesen oder Erziehung und Unterricht entfällt mit knapp drei Prozent ein eher kleiner Teil des gesamten indirekten Effektes.

Abbildung 7-3: Branchenstruktur des indirekten Effekts im mittleren Preis-Szenario

Anteile an den Produktionseinbußen nach Wirtschaftszweigen in Prozent; mittelfristige Perspektive



Quellen: Statistisches Bundesamt (2023a), Eurostat (2022), IW Consult (2023)

7.5 Gesamteffekte

In diesem Kapitel werden die Gesamteffekte nach Branchen und Effektarten zusammenfassend dargestellt. In Anhang sind alle Ergebnisse kompakt sowohl in Eurobeträgen (Tabelle 9-4) als auch relativ in Prozent der Kenngrößen Produktion, Wertschöpfung und Beschäftigung des Jahres 2022 ausgewiesen (Tabelle 9-5).

Überblick

Das mittlere Szenario hat die höchste Eintrittswahrscheinlichkeit (Kapitel 6.3) und ist das wichtigste Szenario. Hier werden Preisunterschiede für energieintensive Vorprodukte im Vergleich zu wichtigen Konkurrenzländern von 5 bis 25 Prozent erwartet. Bei dieser Perspektive wird durch die Anpassungsprozesse der betroffenen Fokusbranchen (Tabelle 7-4)

- ▶ die Produktion in Deutschland um knapp 308 Milliarden Euro,
- ▶ die Bruttowertschöpfung um 121 Milliarden und
- ▶ die Beschäftigung um 1,34 Millionen Arbeitsplätze

mittelfristig schrumpfen. Bezogen auf die Gesamtwirtschaft bedeutet das einen Rückgang

- ▶ der Produktion um 4,1 Prozent
- ▶ der Bruttowertschöpfung um 3,5 Prozent und
- ▶ der Beschäftigung um 2,9 Prozent.

Tabelle 7-4: Gesamteffekte der Anpassungsreaktionen der Fokusbranchen

Angaben in Milliarden/ Erwerbstätige in Tsd. bzw. Prozent in der Gesamtwirtschaft; mittelfristige Perspektive

Kenngröße	Preis-Szenarien		
	Moderat	Stark	Extrem
	Milliarden Euro		
Produktion	154,3	307,6	398,3
Wertschöpfung	59,0	121,0	155,0
Erwerbstätige	637	1.341	1.711
	Prozent der Ausgangsgröße 2022		
Produktion	2,1	4,1	5,3
Wertschöpfung	1,7	3,5	4,4
Erwerbstätige	1,4	2,9	3,8

Quellen: Statistisches Bundesamt (2023a), Eurostat (2022), IW Consult (2023)

Zum Vergleich: Der deutsche Maschinenbau erwirtschaftete eine jährliche Bruttowertschöpfung von 107 Mrd. Euro, das Saarland von 34 Mrd. Euro.⁸² Die Branche der unternehmensnahen Dienstleistungen beschäftigt etwa 1,3 Millionen Erwerbstätige.

Selbst in dem moderaten Preis-Szenario mit Kostennachteilen von bis zu fünf Prozent sind negative Rückwirkungen auf den Standort Deutschland zu erwarten. Die Produktion wird um 2,1 Prozent, die Bruttowertschöpfung um 1,7 Prozent und die Zahl der Arbeitsplätze um 1,4 Prozent fallen.

Im eher unwahrscheinlichen Falle des extremen Preis-Szenarios mit Preisunterschieden zu internationalen Konkurrenzstandorten von 25 Prozent und mehr ist mit sehr deutlich negativen Effekten zu rechnen:

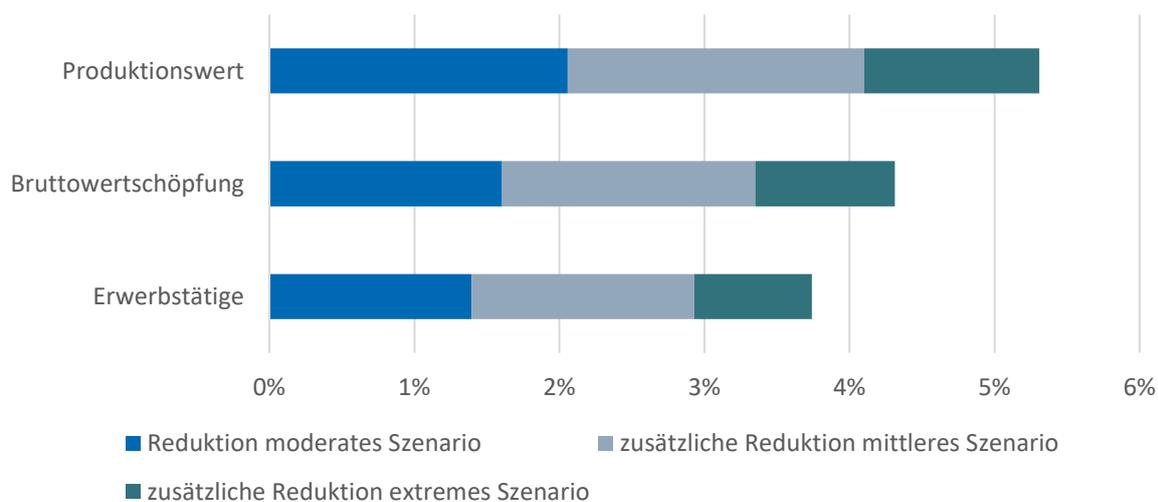
- ▶ Die Produktion würde um knapp 400 Milliarden Euro (5,3 Prozent)
- ▶ die Bruttowertschöpfung um 155 Milliarden Euro (4,4 Prozent) und
- ▶ die Erwerbstätigkeit um 1,7 Millionen Arbeitsplätze (3,8 Prozent)

sinken. Die Abbildung 7-4 zeigt die drohenden Einbußen bei Übergängen vom moderaten zum starken und vom starken zum extremen Preis-Szenario. Zu beachten ist, dass in der Modellrechnung nur die isolierten Effekte der Anpassungsreaktionen (mehr Bezug von Vorleistungen aus dem Ausland, Produktionsaufgaben und/oder -verlagerung) berücksichtigt sind. Mögliche gegenläufige Effekte, wie die Beschäftigung der freiwerdenden Ressourcen in anderen Märkten oder eine Erhöhung der Produktivität zur besseren Pufferfähigkeit der Preiseffekte, werden nicht berücksichtigt. Deshalb sind die dargestellten Effekte als Obergrenzen zu verstehen.

⁸² Vgl. Statistisches Bundesamt (2023b).

Abbildung 7-4: Gesamtwirtschaftliche Effekte

Prozentuale Reduktion des Produktionswerts, der Bruttowertschöpfung und der Erwerbstätigen; mittelfristig



Quellen: Statistisches Bundesamt (2023a), Eurostat (2022), IW Consult (2023)

Darstellung nach Effektkarten

Der überwiegende Teil der Gesamteffekte sind die direkten Effekte, die die Konsequenzen der Produktionsverringerung in Deutschland der Fokusbranchen in Folge der Kostennachteile gegenüber Standorten in Vergleichsländern zeigen. Die nachstehende Tabelle 7-5 und Tabelle 7-6 beschränken sich auf die Darstellung des mittleren Preis-Szenarios. Rund 58 Prozent bei dem Produktionswert auf den direkten Effekt. Bei der Bruttowertschöpfung und der Erwerbstätigkeit ist es nur knapp die Hälfte.

Auf den Vorleistungs-Importeffekt, d.h. die Einbußen infolge eines verstärkten Bezugs von Vorleistungen aus dem Ausland, entfällt bei der Produktion 9,2 Prozent des Gesamteffektes. Bei der Wertschöpfung sind es knapp 5,8 Prozent und bei der Beschäftigung 9,5 Prozent des Gesamteffektes.

Wie bereits erwähnt (vgl. Kapitel 7) enthalten der direkte Effekt und der Importeffekt Doppelzählungen, weil in den Anpassungsprozessen bei der Erhöhung der Vorleistungen aus dem Ausland auch direkte Effekte in Fokusbranchen zu beachten sind. Dieser Overlapping-Effekte beträgt bei der Produktion 6,9 Milliarden Euro und bei der Wertschöpfung 4,7 Milliarden Euro. Rechnerisch entfallen darauf gut 29.000 Arbeitsplätze. Der Anteil dieser Doppelzählungen an den Gesamteffekten ist gering. Er liegt zwischen 2,3 Prozent (Produktion) und 3,9 Prozent (Wertschöpfung). Ausgewiesen sind in der Tabelle 7-5 die direkten Effekte und die Struktureffekte jeweils als Nettogrößen, d. h. jeweils um die Overlapping-Effekte reduziert.

Stark ins Gewicht fallen die indirekten Effekte, die durch die reduzierten Absatzmöglichkeiten der Verringerung der Produktion und der Vorleistungskäufe im Ausland der Fokusbranchen in der gesamtwirtschaftlichen Wertschöpfungskette entstehen. Dieser indirekte Wertschöpfungseffekt beträgt bei der Produktion 94 Milliarden Euro (31 Prozent des Gesamteffektes) und bei der Wertschöpfung 50 Milliarden Euro (41,4 Prozent des Gesamteffektes). Damit verbunden ist der Verlust von über 539.000 Arbeitsplätzen. Betroffen von den indirekten Effekten sind nicht nur die Fokusbranchen, sondern alle Branchen.

Von den indirekten Effekten fallen

- ▶ knapp 16 Prozent auf die Fokusbranchen
- ▶ 17 Prozent auf andere Industriebranchen (einschließlich Agrarsektor) und
- ▶ 67 Prozent auf den Dienstleistungsbereich.

Tabelle 7-5: Ergebnisse nach Effekt im mittleren Preis-Szenario

Angaben in Milliarden Euro/ Erwerbstätige in Tsd. bzw. Prozent; mittelfristige Perspektive

Effektarten	PW	BWS	ET
	Milliarden Euro		in 1.000
Direkte Effekte	178,4	59,1	645
Importeffekte	28,2	7,0	128
Overlapping	6,9	4,7	29
Indirekte Effekte	94,1	50,1	539
Gesamt	307,6	121,0	1.341
	Prozent		
Direkte Effekte	58,0	48,9	48,1
Importeffekte	9,2	5,8	9,5
Overlapping	2,3	3,9	2,2
Indirekte Effekte	30,6	41,4	40,2
Gesamt	100,0	100,0	100,0

Quellen: Statistisches Bundesamt (2023a), Eurostat (2022), IW Consult (2023)

Effekte nach Branchengruppen

Die unterschiedliche Betroffenheit der Branchen von den verschiedenen Effektarten zeigt Tabelle 7-6. Dargestellt sind die Anpassungsreaktionen für die Produktion.⁸³ Die absoluten in Eurobeträgen gemessenen Einbußen sind im Dienstleistungssektor, im Fahrzeugbau und in der Sonstigen Industrie am größten. Das gilt für alle drei Preis-Szenarien.

Interessanter als die absoluten Eurobeträge sind die relativen Betroffenheiten, d.h. die dauerhaften Effekte in Prozent der Produktion, Wertschöpfung oder Beschäftigung. Die Fokusbranchen sind (wenig überraschend wegen der direkten und der Importeffekte) stärker betroffen als die anderen Branchen. Die Fokusbranchen haben im mittleren Preis-Szenario Einbußen in Höhe von knapp 10 Prozent der heutigen Produktion zu verkraften. In den anderen Industriebranchen sind es 1,8 Prozent und bei den Dienstleistungen gut 1,5 Prozent. Die Einbußen der Industrie insgesamt (Fokusbranchen plus andere Industrie) liegen bei 7,7 Prozent. Diese Unterschiede in den branchenbezogenen Betroffenheitsstrukturen finden sich in allen drei Preis-Szenarien.

⁸³ Siehe ausführlich die Tabelle 9-4 im Anhang.

Tabelle 7-6: Gesamteffekte Produktion nach Branchengruppen und Szenarien

Einbußen aus direkten, Import-, und indirekten Effekten bei der Produktion; mittelfristige Perspektive

Branchen	Preis-Szenarien		
	Moderat	Stark	Extrem
	Milliarden Euro		
Chemie	8,1	15,2	17,9
Gummi- und Kunststoff	14,7	21,7	25,4
Metallerzeugung	11,7	16,7	20,7
Metallerzeugnisse	20,4	30,5	34,4
Maschinenbau / Elektroindustrie	9,7	26,1	49,5
Fahrzeugbau	40,9	59,3	80,2
Sonstige Industrie	10,4	59,3	68,0
Fokusbranchen	115,9	228,7	296,1
Andere Industrie	7,5	16,0	19,9
Dienstleistungen	30,9	62,9	82,3
Gesamtwirtschaft	154,3	307,6	398,3
	Effekt in Prozent des PW 2022		
Fokusbranchen	5,0	9,9	12,8
Andere Industrie	0,8	1,8	2,2
Dienstleistungen	0,7	1,5	1,9
Gesamtwirtschaft	2,1	4,1	5,3

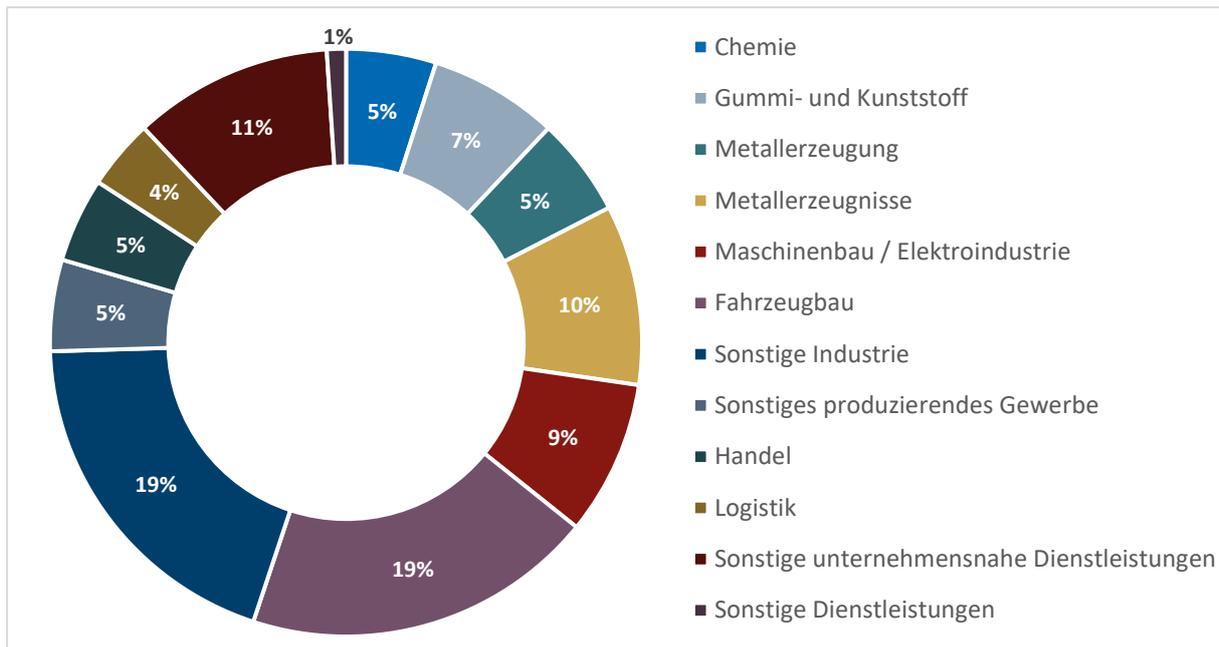
Quellen: Statistisches Bundesamt (2023a), Eurostat (2022), IW Consult (2023)

Die Verteilung der Gesamteffekte auf einzelne Branchen im mittleren Preis-Szenario bei der Produktion zeigt die Abbildung 7-5:

- ▶ Rund drei Viertel der Gesamteffektes von knapp 308 Milliarden Euro entfallen auf die Fokusbranchen. Die höchsten Anteile haben der Fahrzeugbau und die Sonstige Industrie mit je rund 19 Prozent.
- ▶ Auf die Industrie insgesamt (also einschließlich des Sonstiges Produzierenden Gewerbes) entfallen vier Fünftel des Gesamteffektes.
- ▶ Der Dienstleistungsbereich trägt rund 20 Prozent der Gesamteinbußen. Die Hälfte davon entfällt auf die Sonstigen unternehmensnahen Dienstleistungen (u. a. Information und Kommunikation, Finanzwirtschaft, Beratungen, technisch-wissenschaftliche Dienstleistungen).

Abbildung 7-5 Aufteilung der Gesamteffekte im mittleren Preis-Szenario

Anteil der Branchen am Gesamteffekt in Prozent; mittelfristige Perspektive



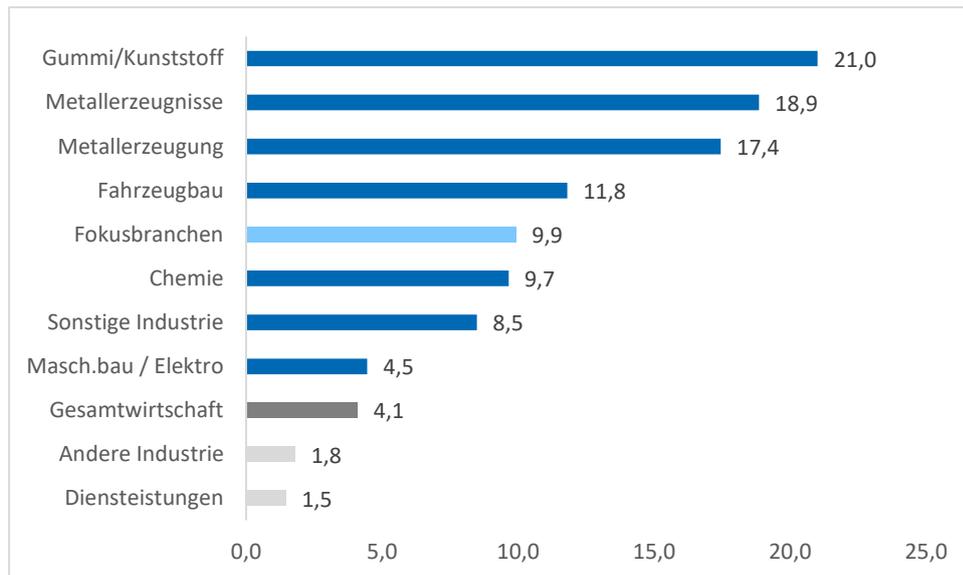
Quellen: Statistisches Bundesamt (2023a), Eurostat (2022), IW Consult (2023)

Einen tieferen Einblick in die Branchenstruktur der Belastungen zeigt Abbildung 7-5:

- ▶ Die Spannweite reicht bei den Fokusbranchen von Einbußen von 21 Prozent in der Gummi- und Kunststoffindustrie bis zu 4,5 Prozent im Bereich Maschinenbau und Elektroindustrie.
- ▶ Die Betroffenheitsquote liegt in der Chemieindustrie mit 9,7 Prozent in etwa im Durchschnitt der Fokusbranchen. Der wesentliche Grund dafür ist, dass bei den direkten Effekten und den Importeffekten hier nur der Downstream-Bereich berücksichtigt ist, auf den nur 57 Prozent der Gesamtbranche entfällt.
- ▶ Die Metallerzeugung ist stärker betroffen, obwohl auch hier bei den direkten und Importeffekten nur der Downstream-Bereich berücksichtigt ist. Es sind Einbußen in Höhe von 17,4 Prozent des Produktionswertes des Jahres 2022 zu erwarten.
- ▶ Alle Fokusbranchen haben eine höhere relative Belastung zu tragen als die anderen Industriebereiche oder der Dienstleistungssektor.

Abbildung 7-5: Relative Gesamteffekte im mittleren Preis-Szenario

Mittelfristige Einbußen in Prozent des jeweiligen Produktionswerts einer Branche bezogen auf das Jahr 2022



Quellen: Statistisches Bundesamt (2023a), Eurostat (2022), IW Consult (2023)

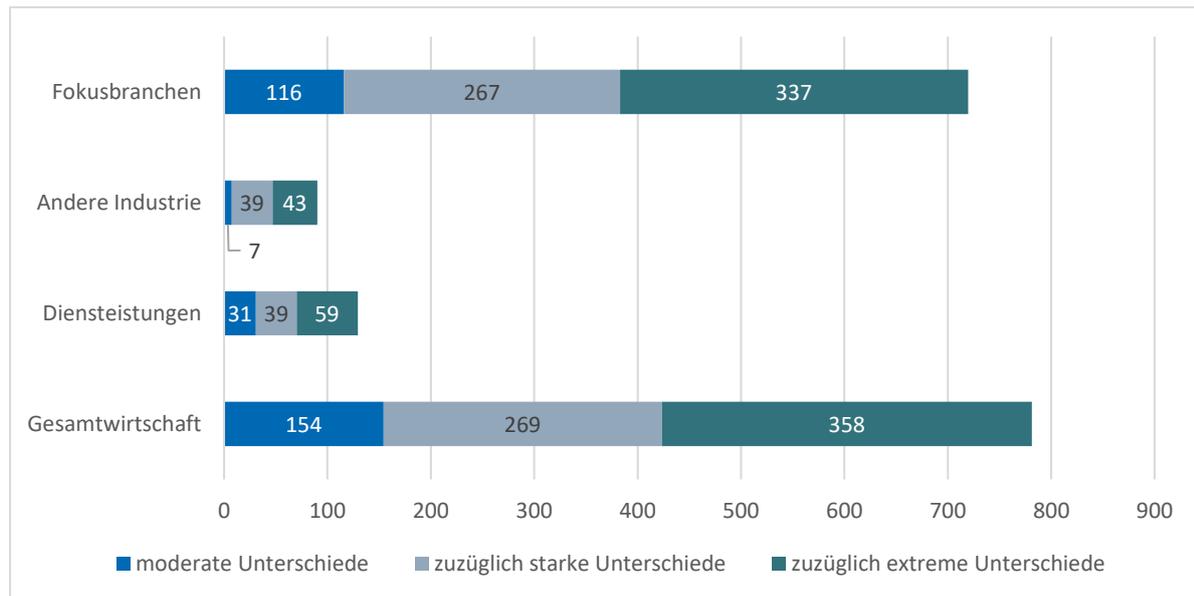
Zum Abschluss soll nochmals auf ein wesentliches Ergebnis der Studie hingewiesen werden. Das betrifft die Effektstärke in den verschiedenen Preis-Szenarien. Bereits bei moderaten Preisunterschieden für energieintensive Vorprodukte zwischen Deutschland und den wichtigsten Wettbewerbsländern erleidet die Gesamtwirtschaft erhebliche Einbußen (308 Milliarden Euro). Davon sind nicht nur die Fokusbranchen negativ betroffen, sondern über die indirekten Effekte in der Wertschöpfungskette alle Branchen:

- ▶ Die Effekte verdoppeln sich beim Übergang vom moderaten zum starken Preis-Szenario und erhöhen sich nochmals um einen Faktor von etwa 1,3 beim Übergang vom starken zum extremen Preis-Szenario.
- ▶ Dieses Muster ist allen Branchen zu beobachten.

Es ist deshalb im Interesse aller Unternehmen in den nachgelagerten Wertschöpfungsketten, dass die Preisunterschiede bei energieintensiven Vorprodukten so klein als möglich bleiben. Dafür ist eine leistungs- und wettbewerbsfähige Industrie im Upstream-Bereich notwendig.

Abbildung 7-6: Kumulierte Effekte der Szenarien für die Produktion

Milliarden Euro; mittelfristig



Quellen: Statistisches Bundesamt (2023a), Eurostat (2022), IW Consult (2023)

7.6 Katalytische Effekte

Die betrachteten dauerhaften Änderungen der Energiekostenstrukturen und die damit verbundenen langfristigen Preisunterschiede führen über die strategischen Anpassungsreaktionen der Unternehmen nicht nur zu direkten und indirekten gesamtwirtschaftlichen Effekten. Vielmehr lassen sich darüber hinaus auch katalytische Effekte skizzieren. Hierzu zählen diejenigen Effekte, die sich entweder auf andere (nachgelagerte) Bereiche der Fokusbranchen, auf andere Branchen oder aber auf Abstrahleffekte in das industrieübergreifende Umsystem beziehen. An dieser Stelle werden in abrundender qualitativer Betrachtung einige mögliche katalytische Effekte der preisszenarischen Anpassungsreaktion in den Fokusbranchen angeschnitten. Eingang finden hier insbesondere ergänzende Aussagen aus den projektbegleitenden Experteninterviews und Verbandsgesprächen.

Kollaterale Zersplitterung etablierter, mehrschichtiger Wertschöpfungs- und Austauschstrukturen

Bei langjährig aufgebauten und etablierten Wertschöpfungsstrukturen handelt es sich nicht nur um rein quantitativ erfassbare Austauschkanäle von (Vor-)Produkten und Dienstleistungen zwischen Produzenten und Abnehmern, sondern darüber hinaus auch um mehrschichtige, vertrauensbasierte und persönliche Beziehungsgeflechte, die der einer quantitativen Messung nur schwer zugänglichen Weitergabe von Wissen, Knowhow und Erfahrungen dienen. Dabei bedingen sich Wertschöpfung und Austausch: Technologisch getriebene Produktivitäts- und Effizienzverbesserungen in einem Teil der jeweiligen Wertschöpfungskette verpuffen, wenn keine Einbettung in die übergeordneten Austauschstrukturen gelingt. Übergreifender Erfahrungsaustausch wiederum dient als Ausgangspunkt für Ansätze zur Verbesserung der Wertschöpfung. Derartige Strukturen bauen zu einem wesentlichen Teil auf langjährig etablierten, persönlichen Beziehungsnetzwerken zwischen Akteuren auf, die sich oftmals zudem in räumlicher Nähe zueinander befinden.

Im Rahmen einer Auslandsverlagerung oder Imports substitution einzelner Wertschöpfungsschritte werden diese etablierten Strukturen und Netzwerke aufgebrochen und zersplittert, es kommt nicht nur zu einer Neuordnung der physischen Zulieferbeziehungen in zunehmend internationalem Kontext, sondern auch zu einer Neujustierung der mehrschichtigen Austauschkanäle. Hier steht zumindest zu befürchten, dass dies nicht ohne zeitweise Effizienzverluste in der Wertschöpfung sowie verringerte Intensitäten des Erfahrungsaustausches geschehen wird.

Zusätzliche Abhängigkeiten bei querverwendbaren Nebenprodukten der Grundstoffherstellung

Insbesondere in den hochintegrierten Produktionsverfahren der Chemieindustrie fallen bei der Herstellung energieintensiver Grundstoffe wie Ammoniak oder Olefinen nicht nur diese Fokusgrundstoffe selbst an, sondern auch Kuppel- bzw. Nebenprodukte. Diese Nebenprodukte sind nicht immer unerwünscht. Im Zuge der Prozess- und Ressourcenoptimierung werden diese Nebenprodukte nämlich oftmals für eine Weiterverarbeitung oder Querverwendung genutzt. Bei der Herstellung von Olefinen beispielsweise fällt u. a. auch CO₂ an, das als wichtiges Nebenprodukt dann Eingang findet in die Lebensmittelindustrie oder in die Herstellung von Kraftstoffzusatzstoffen zur Reduzierung von Stickoxidemissionen.⁸⁴ Im Rahmen der Stahlherstellung entstehen bei der Roheisengewinnung auch Schlacken als Nebenprodukte, die sich in homogener Form als hochwertige Sekundärrohstoffe für den Verkehrsbau oder die Landwirtschaft verwenden lassen. Die gleichzeitig entstehende Prozesswärme wird häufig zur Energieversorgung des jeweiligen Werkes oder zur Einspeisung ins Wärmenetz der umliegenden Region genutzt.⁸⁵

Eine Auslandsverlagerung der inländischen (Upstream-)Produktionskapazitäten zur Herstellung der betrachteten energieintensiven Grundstoffe wirkt sich negativ auf die Verfügbarkeit von wichtigen Nebenprodukten aus, die Eingang in die Herstellung von (Downstream-)Produkten auch in anderen Branchen finden. Dies kann mit Effizienzverlusten einhergehen. Zudem müssen diese Nebenprodukte dann anderweitig beschaffen und ggf. importiert werden – dies wiederum kann die Abhängigkeiten der inländischen Produzenten von internationalen Zulieferstrukturen verstärken.

Erschwerter Aufbau von inländischen Sekundärrouten für gesicherte Rohstoffverfügbarkeit

Insbesondere die betrachteten energieintensiven Grundstoffe Stahl und Aluminium eignen sich für ein umfangreiches Recycling und damit die Einspeisung in Sekundärkreisläufe. Recycling bietet im Vergleich zur Primärproduktion von Metallen den Vorteil, weniger Energie zu benötigen und weniger Kohlenstoffdioxid zu emittieren. Damit entlasten funktionierende Sekundärrouten die Primärproduktion, zudem reduzieren sie den Bedarf nach Ausgangsstoffen (v. a. Bauxit für die Herstellung von Aluminium).⁸⁶ Grundsätzlich ist eine umfangreiche Bedarfsdeckung auf Basis der Sekundärrouten bzw. auf Kosten der Primärproduktion durchaus denkbar. Allerdings wäre in diesem Fall das Wachstums- und Skalierungspotential der jeweiligen Grundstoffherstellung limitiert, außerdem erfordern die technischen Prozesse der Sekundärproduktion je nach Legierung eine teils erhebliche Zugabe von

⁸⁴ Vgl. IW Köln (2022).

⁸⁵ So wird beispielsweise die Abwärme eines Duisburger Hochofens u. a. von einer ortsansässigen Brauerei verwendet, um für die eigene Fertigung auf fossile Brennstoffe verzichten zu können.

⁸⁶ Bauxit als neben Energie wesentlicher Ausgangsstoff für die Herstellung von Aluminium wird beispielsweise vor allem in Australien, China, Brasilien und Indien abgebaut, in Europa gibt es so gut wie keine Abbauebiete.

Primärmaterial.⁸⁷ Effiziente Sekundärrouten konnten bislang vorwiegend in denjenigen Ländern aufgebaut werden, in denen bereits etablierte Primärrouten vorhanden sind.

Eine Auslandsverlagerung der inländischen Primärproduktion insbesondere von Stahl oder Aluminium würde daher dazu führen, dass die heutige Importabhängigkeit von Ausgangsstoffen (v. a. Bauxit) künftig auf die Grundstoffe (hier Aluminium) ausgedehnt würde und damit der Auf- und Ausbau effizienter Sekundär- und Recyclingrouten in Deutschland erschwert wäre.

Zunehmende Abkoppelung von technischem Fortschritt, Forschung und Innovation

Technischer Fortschritt und kontinuierliche Weiterentwicklungen finden oftmals dort statt, wo produziert wird. Insbesondere die Stärken des deutschen „Geschäftsmodells“ basieren vor allem auf der ingenieurwissenschaftlich getriebenen, kontinuierlichen und inkrementellen Verbesserung und Optimierung von Produktionsprozessen und Produkten. In regionaler Nähe feilen branchenverbundene Unternehmen häufig gemeinsam daran, im Zusammenspiel aus Upstream- und Downstream-Akteuren stetig neue Verbesserungen zu realisieren. Diese Kooperationen und Innovationsverbünde erwachsen nicht ausschließlich aus rein kostenfokussierten Überlegungen, sondern werden häufig mit dem Ziel der Qualitätsverbesserung oder Prozesszeitenreduzierung eingegangen. Auch innovationsstimulierende Spillover-Effekte auf Unternehmen anderer Branchen (sogenannte „Cross-Industry“-Innovationen) können auf diese Weise realisiert werden. Den Upstream-Unternehmen und Grundstoffherstellern kommt dabei eine nicht zu unterschätzende Rolle zu, da sie als Hort ingenieurwissenschaftlichen Prozesswissens und Nukleus darauf aufbauender Innovationsstimuli fungieren.

Eine Auslandsverlagerung der inländischen Produktion der energieintensiven Grundstoffe könnte zu einer partiellen Abwanderung dieses für die Forschung und Innovation so wichtigen MINT-Wissens (auch aus Downstream-Unternehmen) führen. In der Folge müssten auch Forschungs- und Innovationsverbünde neu aufgestellt und möglicherweise ebenfalls in Ausland verlagert werden. Langfristig hätte dies eine zunehmende Abkopplung vom technischen Fortschritt in den jeweiligen Bereichen der Grundstoffproduktion und -verwendung zur Folge.⁸⁸ Zudem stünde zu befürchten, dass diese Tendenzen negative Effekte auf die Attraktivität von MINT-Studiengängen und -Ausbildungen hätten und sich der diesbezügliche Fachkräfteengpass noch weiter verschärfen könnte.

Erhöhte Abhängigkeit von geopolitischen Risiken und verstärkte Lieferketteninstabilitäten

Die großen Krisen der jüngeren Vergangenheit (v. a. COVID19-Pandemie und Ukraine-Krieg) haben deutlich vor Augen geführt, wie anfällig internationale Lieferketten für Störungen sind. Zudem wächst das Risiko geopolitisch motivierter Lieferengpässe. Vor diesem Hintergrund gewinnen adäquate Strategien zur balancierten, aber zielgerichteten Verringerung der Abhängigkeiten von bestimmten internationalen Zulieferregionen (sogenanntes De-Risking) insbesondere in den europäischen Ländern an Bedeutung. Eine maßvolle Entkoppelung (bzw. De-Coupling) wird hier als ein wesentliches Element gesehen.

⁸⁷ Aus diesem Grund gibt es in einzelnen Branchen wie der Verpackungsindustrie Bestrebungen, Einheitslegierungen zu definieren und auf diese Weise die für ein Recycling notwendige Zugabe von Primärmaterial so weit wie möglich zu reduzieren.

⁸⁸ Nach Experteneinschätzung, insbesondere aus den Fokusbranchen Metallerzeugung und Metallverwendung, sind Wissen, Erfahrung und Kompetenzen zur Grundstoffproduktion und -verwendung eng miteinander verknüpft: Wer hinsichtlich der Herstellungsverfahren nicht auf dem aktuellen Stand ist, der kann auch die Qualität darauf basierender (Vor-)Produkte nur bedingt prüfen oder als Komponenten fachgerecht in eigene Produkte verbauen.

Eine Auslandsverlagerung von bestimmten Upstream-Wertschöpfungsschritten wirkt diesen Bestrebungen jedoch entgegen. Zwar ist jeweils der Trade-Off zwischen einer hinreichenden strategischen Unabhängigkeit und der damit verbundenen Resilienzerhöhung von Lieferketten einerseits und dem Primat der Erreichung der Klimaziele zu möglichst günstigen Kosten andererseits zu prüfen, jedoch können Verlagerungen zu neugeschaffenen Abhängigkeiten führen. Zudem birgt jeder Beginn einer Importsubstitution auch das Risiko einer nach und nach abwandernden Wertschöpfungskette (im Sinne eines Kippeffektes). Was aus Klimaschutz- und Effizienzerwägungen sinnvoll sein kann, mag sich im Einzelfall aus Perspektive einer hinreichenden Lieferkettenstabilität als risikoreich erweisen. Vor diesem Hintergrund positiv zu bewerten, ist die Tatsache, dass die dezentralen Energiesysteme der Zukunft eine global sehr viel diversifizierte Erzeugungsstruktur als die heutige fossile Struktur erhoffen lassen. Auch energieintensive Grundstoffe werden zukünftig voraussichtlich von mehreren Ländern mit günstigen Energiekostenbedingungen bezogen werden können als heute.

De-Industrialisierung kaum umkehrbar

Der Verlust an industrieller Wertschöpfung kann später kaum rückgängig gemacht werden, sondern bringt dauerhafte Strukturverschiebungen mit sich. Die angestrebte Dekarbonisierung der Wirtschaft birgt insbesondere in der Übergangphase die Gefahr einer Deindustrialisierung in einigen Bereichen. Aufgrund der eng miteinander verwobenen, tief eingebetteten Wertschöpfungsketten ist dabei schwer abschätzbar, welche Auswirkungen die Strukturverschiebungen auf den gesamten Standort haben werden. Die energiepreisbedingten Einbußen in den Fokusbranchen könnten schlimmstenfalls zu einem Rutschbahneffekt für die gesamte Industrie in Deutschland werden, wenn gewisse Kippunkte überschritten werden. Deshalb ist eine Stabilisierung der Industriebranchen insbesondere durch verbesserte Standortbedingungen und damit eine Erhöhung der Anpassungsfähigkeit notwendig.

Wegfallender Ambitions-Trigger für bedarfsgetriebenen EE-Ausbau

Schließlich: Ein mit Nachdruck verfolgter Ausbau erneuerbarer Energien wird nicht nur durch theoretisch realisierbare Produktionskapazitäten auf der Angebotsseite vorangetrieben. Vielmehr bedingt ein transparenter, präziser und fundiert prognostizierter Kapazitätsbedarf die Anstrengungen zum Ausbau. Belastbare Abnahmebedarfe geben wertvolle Planungshinweise für Ausbauentscheidungen. Innerhalb des durch die spezifischen nationalen Energiegestehungs- und Transportbedingungen vorgegebenen Kapazitätsfensters gilt daher die Vermutung, dass ein begründeter höherer Bedarf als Ambitions-Trigger für einen schnelleren und umfangreicheren Ausbau fungieren kann, frei nach dem Motto „EE-Rollout follows Ambition“.

Ein Wegfall der inländischen Produktion energieintensiver Grundstoffe sowie deren Weiterverarbeitung in den nachgelagerten Wertschöpfungsstrukturen führt zu einem geringeren Bedarf an erneuerbaren Energien. Dies reduziert zwar auf der einen Seite den Ausbaudruck, kann auf der anderen Seite aber auch zu einer Verringerung der Ausbauambition und den damit verbundenen negativen Verzögerungseffekten führen.

Diese abrundend skizzierten katalytischen Effekte der mit den dauerhaften Preisunterschieden für energieintensive Grundstoffe verbundenen preisszenarischen Anpassungsreaktionen in den betrachteten Fokusbranchen verdeutlichen die möglichen Nebenwirkungen einer Auslandsverlagerung von Upstream- oder Downstream-Aktivitäten und dienen daher als Plädoyer, mögliche Folgen über die dimensionierten direkten und indirekten Effekte hinaus in Gänze zu betrachten.

8 Resümee und Ableitungen

Im Zuge der aktuellen Energiekrise und den damit verbundenen höheren Energiepreisen wird das Geschäftsmodell der energieintensiven Industrien in Deutschland auf den Prüfstand gestellt. Dazu kommt eine an Fahrt gewinnende Energiewende, die eine fundamentale Umstellung der Energieversorgung sowie der Produktionsprozesse auf erneuerbare Energiequellen erfordert. Die damit einhergehenden Veränderungen wirken sich auf die Standortvoraussetzungen der energieintensiven Branchen in Deutschland aus.

Vor diesem Hintergrund zielte die vorliegende Studie darauf ab, die künftig zu erwartenden komparativen Unterschiede klimaneutraler Produktionsverfahren für die vier ausgewählten Grundstoffe Stahl, Aluminium, Ammoniak und Olefine zwischen Deutschland und ausgewählten Vergleichsländern zu prognostizieren und die daraus resultierenden wirtschaftlichen Effekte entlang der Wertschöpfungskette standortrelevanter Fokusbranchen sowie die dauerhaften Gesamteffekte für die deutsche Wirtschaft zu dimensionieren. Der Ausgangspunkt der Effektdimensionierung lag dabei auf der Untersuchung energiekosteninduzierter Preiseffekte, die in den nachgelagerten Wertschöpfungsketten mit hohen Grundstoffvorleistungen (Downstream-Perspektive) auftreten.

Deutschland wird auch langfristig Energiekostennachteile gegenüber anderen Industriestandorten haben

Die Untersuchungen führten zu den folgenden Ergebnissen:

- ▶ Deutschland wird im internationalen Standortvergleich wesentlich höhere Gestehungskosten für erneuerbare Energien haben. Volatile Stromgestehungskosten (LCOE) in Deutschland werden im Jahr 2045 voraussichtlich bis zu 100 Prozent über den Kosten der günstigsten globalen Industriestandorte liegen, Wasserstoff-Gestehungskosten (LCOH) bis zu 65 Prozent über den günstigsten Vergleichsländern. Die klimaneutrale Herstellung industrieller Grundstoffe verlangt jedoch eine relativ konstante Energiezuführung. Saisonalität und Speicherkosten müssen deshalb berücksichtigt werden. Deutschland steht hier dank bestehender Speicherinfrastrukturen gut da, doch die Nachteile niedrigerer Volllaststunden der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien gegenüber Vergleichsländern überwiegen. In Deutschland sind die Kosten für grundlastfähigen Strom bis zu 65 Prozent und die Kosten für grundlastfähigen Wasserstoff bis zu 45 Prozent höher als in Vergleichsländern.
- ▶ Der Import von Wasserstoff zur industriellen Nutzung in Deutschland ist fast immer die teuerste betrachtete Variante. Mit zunehmendem Import von Zwischen- bzw. Endprodukten anstatt des Imports von Energie sinken die gesamten Energiekosten. Die gesamte Auslagerung der Wertschöpfung ist jeweils mit den größten Energiekostenvorteilen verbunden: Die Energiekosten bei vollständiger Produktion industrieller Grundstoffe in Deutschland sind langfristig ungefähr 20 bis 80 Prozent höher als bei einer Auslagerung der Produktion.
- ▶ Die inkrementellen Energiekosteneinsparungen nehmen entlang der vertikalen Wertschöpfungskette ab, d.h. sie sind bei einer Verlagerung der letzten Produktionsschritte geringer als bei einer Verlagerung der vorangegangenen Produktionsschritte bzw. Zwischenschritte. Dadurch ergibt sich jeweils eine potenzielle „Sollbruchstelle“ (Verlagerung der Wertschöpfungskette) nach der ersten Wertschöpfungsstufe: Bei Import eines Zwischenprodukts (z. B. Eisenschwamm) hätte Deutschland bezüglich Kosten des letzten Produktionsschritts nur noch einen geringeren Kostennachteil

gegenüber dem Import eines „fertigen“ Grundstoffs (z. B. Rohstahl). So könnten nachgelagerte Schritte der Grundstoffherzeugung selbst und auch folgende Weiterverarbeitungsschritte in Deutschland verbleiben und somit der Großteil der Wertschöpfung im Land erhalten werden.

- ▶ Vier Fünftel der im Rahmen der Studie befragten Unternehmen befürchten dennoch Nachteile für den Standort Deutschland, unter den Unternehmen mit erheblichem Einsatz energieintensiver Vorprodukte sind es sogar 93 Prozent.

Drei Preis-Szenarien dienen als Referenzrahmen zur Analyse der strategischen Anpassungsreaktionen in ausgewählten Fokusbranchen: Je höher die Preisunterschiede energieintensiver Vorprodukte ausfallen, desto stärker verlagern Downstream-Unternehmen ihre Produktion ins Ausland.

- ▶ Auf Basis der ermittelten Energiekostenunterschiede lassen sich drei dauerhafte Preis-Szenarien bilden, nämlich ein moderates Szenario, ein (mittleres) Szenario starker Preisunterschiede sowie ein Szenario extremer Preisunterschiede. Mehr als die Hälfte der befragten Unternehmen halten das mittlere Szenario für am wahrscheinlichsten.
- ▶ Die befragten Unternehmen haben angegeben, wie sie strategisch mit mittelfristiger Perspektive auf die jeweiligen Szenarien reagieren werden. Dabei hat sich gezeigt, dass die Unternehmen mit zunehmenden Preisunterschieden von der standortsichernden „strategischen Dehnung“ (also von den strategischen Optionen der Pufferung sowie der Importsubstitution) zum standortaufgebenden „strategischen Bruch“ (und damit den strategischen Optionen der Auslandsverlagerung oder gar der Geschäftsfeldaufgabe) überwechseln. Diese Tendenz gilt grundsätzlich für alle betrachteten Branchen, auch wenn sich spezifische Unterschiede identifizieren lassen, die unter anderem in unterschiedlichen Branchen- und Produktionsstrukturen begründet liegen.

Je nach Preis-Szenario sind mittelfristig zwischen 5 Prozent und 13 Prozent der Produktion, Bruttowertschöpfung und Beschäftigung in den Fokusbranchen bedroht.

- ▶ Für die betrachteten Fokusbranchen führen die Anpassungsreaktionen der Unternehmen mittelfristig...
 - ▷ im moderaten Preis-Szenario zu einem Produktionsrückgang von 115,9 Mrd. Euro bzw. 5,0 Prozent⁸⁹ (Rückgang Bruttowertschöpfung 39,4 Mrd. Euro bzw. 4,9 Prozent; Beschäftigung 398.000 bzw. 4,7 Prozent),
 - ▷ im mittleren und als am wahrscheinlichsten eingestuftem Szenario zu einem Produktionsrückgang von 228,7 Mrd. Euro bzw. 9,9 Prozent (Rückgang Bruttowertschöpfung 80,8 Mrd. Euro bzw. 10,0 Prozent; Beschäftigung 864.000 bzw. 10,2 Prozent) und
 - ▷ im extremen Szenario zu einem Produktionsrückgang von 296,1 Mrd. Euro bzw. 12,8 Prozent (Rückgang Bruttowertschöpfung 103 Mrd. Euro bzw. 12,8 Prozent; Beschäftigung 1.086.000 bzw. ebenfalls 12,8 Prozent).

⁸⁹ Relative Größen sind bezogen auf die Ausgangsgrößen 2022.

- ▶ Für den Standort Deutschland ergibt sich gesamtwirtschaftlich mit mittelfristiger Perspektive daraus...
 - ▷ im moderaten Preis-Szenario ein Produktionsrückgang von gut 154 Mrd. Euro bzw. 2,1 Prozent (Rückgang Bruttowertschöpfung 59 Mrd. Euro bzw. 1,7 Prozent; Beschäftigung 637.000 bzw. 1,4 Prozent),
 - ▷ im mittleren Szenario ein Produktionsrückgang von knapp 308 Mrd. Euro bzw. 4,1 Prozent (Rückgang Bruttowertschöpfung 121 Mrd. Euro bzw. 3,5 Prozent; Beschäftigung 1.340.000 bzw. 2,9 Prozent) und
 - ▷ im extremen Szenario ein Produktionsrückgang von 398 Mrd. Euro bzw. 5,3 Prozent (Rückgang Bruttowertschöpfung 155 Mrd. Euro bzw. 4,4 Prozent; Beschäftigung 1.710.000 bzw. 3,8 Prozent).

Direkte Effekte der Downstream-Branchen überwiegen gegenüber Importeffekten.

Die Ergebnisse der Dimensionierungsanalysen lassen insgesamt den Schluss zu, dass die zu erwartenden wirtschaftlichen Effekte sowohl in den Fokusbranchen, die mit der betrachteten energieintensiven Grundstoffherzeugung eng verwoben sind, als auch mit Blick auf den Standort Deutschland je nach zugrundeliegendem Preis-Szenario mittelfristig erheblich ausfallen können.

Dabei ist besonders augenfällig, dass die direkten Effekte der Downstream-Fokusbranchen die Importeffekte, d.h. den Rückgang der Upstream-Bereiche, deutlich übertreffen. Demgemäß sollten sich Analysen der energieintensiven Industrien sowie abzuleitende Maßnahmen zur Erhöhung ihrer Zukunftsfähigkeit grundsätzlich nicht auf den Upstream-Bereich der Wertschöpfungskette (und damit die Hersteller der energieintensiven Grundstoffe) beschränken, sondern die jeweiligen Downstream-Bereiche (und damit die Abnehmer- bzw. Verwenderunternehmen der Grundstoffe) miteinbeziehen.

Die Studie zeigt auch, dass der auf die Downstream-Unternehmen ausgeübte wirtschaftliche Preisdruck umgehend entlang der Wertschöpfungsketten weitergegeben wird. Die Substitution inländischer energieintensiver Vorleistungen durch Importe ist in allen Preis-Szenarien eine ausgeprägte Reaktion der Downstreamer. So führen langfristig antizipierte Preisunterschiede für Grundstoffe zu einer „stromaufwärts“ gerichteten Verschiebung des strategischen Handlungsdruckes. Entweder können Upstream-Produzenten durch eigene Pufferung und Importsubstitution von Grundstoffvorleistungen die Grundstoffpreise reduzieren oder sie laufen Gefahr, dass die nachgelagerten Wirtschaftszweige energieintensive Vorprodukte direkt aus dem Ausland beziehen.

Ist das Maß der strategischen Dehnung aus Pufferung und Substitution von Inlandsvorleistungen durch Importe bei den Downstream-Fokusbranchen ausgereizt, reagieren sie mit Auslandsverlagerung bzw. Geschäftsfeldsaufgabe. Der hohe direkte Effekt (Rückgang der Downstreamer-Branchen), der sich aus den Umfrageergebnissen ergibt, ist ein starkes Indiz dafür, dass ein Teil der nachgelagerten Wirtschaftszweige aufgrund enger Vernetzung und vertikaler Integration abhängig ist von inländisch bzw. regional bereitgestellten Grundstoffen, die zu wettbewerbsfähigen Preisen bereitgestellt werden. Dies lässt den Schluss zu, dass es eine „Sockelkapazität“ an energieintensiver Grundstoffherzeugung in Deutschland braucht, um Kaskadeneffekte zu begrenzen.

Ein geeignetes industriepolitisches Maßnahmenbündel sollte die „strategische Dehnfähigkeit“ der nachgelagerten Branchen stärken sowie eine wettbewerbsfähige Sockelproduktion energieintensiver Grundstoffe sicherstellen.

Auf Basis der Studienergebnisse lassen sich übergeordnete Implikationen für die Politik ableiten, die im Folgenden kurz umrissen werden.

In Deutschland wird traditionell eine eher horizontale Industriepolitik verfolgt, die auf die kontinuierliche Verbesserung des gesamtwirtschaftlichen Umfeldes und damit der Rahmenbedingungen für alle Branchen abzielt.⁹⁰ Insbesondere im Kontext der großen gegenwärtigen transformatorischen Trends (v. a. Digitalisierung, demographischer Wandel, Dekarbonisierung) erfolgt aktuell nun eine Erweiterung dieser horizontal orientierten Industriepolitik durch ausgewählte vertikale Elemente, um den spezifischen Herausforderungen besser begegnen zu können. Die Studienergebnisse lassen den Schluss zu, dass auch die langfristigen Energiepreisentwicklungen, die ihren Ursprung in der globalen Transformation der Energiesysteme haben, eine Kombination aus horizontaler Standortpolitik zur Stärkung der strategischen Dehnfähigkeit des Wirtschaftsstandorts sowie gezielten, vertikalen Unterstützungsmaßnahmen für stark betroffene und strategisch wichtige Wirtschaftszweige der richtige Weg ist.

“Strategische Dehnfähigkeit” stärken

In Anbetracht der absehbaren Energiekostennachteile gilt es vor allem, die Puffer- und Dehnfähigkeit des gesamten Standorts zu bessern. Dazu zählen mindestens drei Ansatzpunkte, nämlich...

- ▶ die langfristige Reduktion der erwartbaren Energiekostenunterschiede durch die Reduktion der Kosten des deutschen und europäischen Energiesystems,
- ▶ die Verbesserung der Pufferfähigkeit der Up- und Downstreamer durch Effizienz- und Produktivitätssteigerungen sowie
- ▶ die Steigerung des Bezuges von energieintensiven Vorleistungen aus dem Ausland.

Die Umfrageergebnisse verdeutlichen dabei, dass sich die Notwendigkeit von erhöhten Vorleistungsimporten umso mehr begrenzen lässt, je mehr die Potenziale der ersten zwei Ansatzpunkte ausgeschöpft werden.

Energiesystemkosten reduzieren

- ▶ Eine Schlüsselrolle bei der langfristigen Reduktion der inländischen Energiesystemkosten spielt unter anderem der rasche und systemdienliche Ausbau erneuerbarer Energien, der Bezug möglichst günstiger Energieimporte (z.B. in Form von flüssigen oder gasförmigen Energieträgern wie Wasserstoff), sowie die Ausnutzung von Effizienz- und Flexibilitätspotenzialen. Neben nationalen Anstrengungen, darunter auch der rasche Ausbau von flexiblen Gaskraftwerken (die zukünftig dann mit Wasserstoff betrieben werden), erfordert dies auch die fortschreitende Integration des europäischen Energiemarktes zur Verbesserung der Systemeffizienz.⁹¹ Im Stromsystem kommt z.B. dem Ausbau von europäischen Interkonnektoren dabei eine wesentliche Rolle zu. Gleichzeitig sollten Anreize für Stromabnehmer derart ausgestaltet werden, dass die Industrie angereizt wird, ihre Stromnachfrage zeitlich in Abhängigkeit der Verfügbarkeit von günstigen erneuerbaren Energien zu flexibilisieren.⁹² Zwar ist das Potenzial für zeitliche flexible Produktion für strom- und kapitalintensive Grundstofferzeugungsverfahren teils beschränkt (siehe Kapitel 3), doch wird auch Band-Produktion von stromintensiven Grundstoffen davon profitieren, wenn sich industrielle Lastprofile insgesamt in Zeiten mit hoher Verfügbarkeit erneuerbarer Energien verschieben.
- ▶ Aus Sicht energieintensiver Industrieunternehmen mit vergleichsweise gleichmäßigen Erzeugungsprofilen ist zudem die Absicherung langfristiger Energiebezüge zu planbaren Kosten zentral.

⁹⁰ Vgl. IW Köln (2020).

⁹¹ Vgl. Agora Energiewende (2023), Ember (2023) und Ember (2022).

⁹² Vgl. Agora Energiewende (2021).

Bereits heute gibt es die Möglichkeit, Stromdirektverträge (sogenannte Power Purchase Agreements, PPAs) zu schließen, doch ist der Markt dafür bisher unterentwickelt. Das liegt auch daran, dass die Transaktionskosten aufgrund hoher Komplexitäten hoch sind und bisher primär große Unternehmen PPAs schließen, da kleinere Unternehmen oft nicht über die notwendige Expertise verfügen und zudem meist nicht die Sicherheiten aufbringen können, um die Ausfallrisiken der Langfristverträge zu besichern⁹³ Das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) hat deshalb kürzlich vorgeschlagen, zu prüfen, welche Rolle der Staat bei der Reduktion von Vertragsrisiken spielen kann.⁹⁴ Das Ministerium schlägt zudem einen langfristigen Strom-Differenzvertrag für energieintensive Industriezweige vor, der der Industrie "Stromkosten nahe den Gesteungskosten" sichern soll (ibid). Diese Studie zeigt jedoch, dass energieintensive Unternehmen selbst bei Strombezug zu Gesteungskosten im internationalen Wettbewerb zukünftig Nachteile haben dürften. Zudem ist das heimische Erzeugungspotenzial im Verhältnis zum Bedarf teils geringer als in den Vergleichsländern, sodass hohe Opportunitätskosten für die Nutzung der Energie bestehen. Die Nachteile dürften daher noch höher ausfallen als in dieser Studie beziffert.

Energieeffizienz und Produktivität des verarbeitenden Gewerbes steigern

- ▶ Je größer die Fähigkeit verarbeitender Wirtschaftszweige ist, langfristige Energiekostendifferenziale zwischen dem In- und Ausland durch Effizienz- und Produktivitätsvorteile auszugleichen, desto geringer sind die Anreize inländische Vorleistungen durch Importe zu substituieren. Weiterverarbeitende Branchen, die aufgrund integraler Verflechtungen auf regionale Vorleistungen angewiesen sind und weniger Möglichkeiten für die Erhöhung von Importen haben, reduzieren durch Effizienz- und Produktivitätssteigerungen das Risiko von Auslandsverlagerung und Geschäftsaufgabe. Deshalb sollte die Suche nach bzw. Realisierung von Effizienz- und Produktivitätspotenzialen höchste Priorität haben.
- ▶ Eine Reihe von Maßnahmen kann zur Steigerung von Energieeffizienz und Produktivität beitragen, etwa Investitionskostenzuschüsse oder beschleunigte Abschreibungsregeln für Effizienz- und Digitalisierungsinvestitionen sowie die Förderung von privater Forschung und Entwicklung (F&E). Letztere liegt in Deutschland im internationalen Vergleich zwar insgesamt (staatlich und privat) hoch, doch ist dies vor allem auf den hohen Anteil der direkten staatlichen F&E-Aktivitäten zurückzuführen. Die staatliche Förderung von privaten F&E-Ausgaben liegt in Deutschland mit 3,19 Prozent merklich unter dem OECD-Schnitt von 5,11 Prozent.⁹⁵
- ▶ Zudem verspricht eine Verbesserung der allgemeinen Rahmenbedingungen die Produktivität des verarbeitenden Gewerbes in der Breite zu verbessern. Hierzu zählen die Adressierung altbekannter Probleme wie die schleppende Digitalisierung der öffentlichen Verwaltung und langsame Genehmigungsverfahren sowie der strukturelle Fachkräfteengpass (v.a. auch im MINT-Bereich⁹⁶), das stagnierende Bildungsniveau und die maroden Infrastrukturen.⁹⁷

⁹³ Vgl. Zachmann und Heussaff (2023).

⁹⁴ Vgl. BMWK (2023b).

⁹⁵ Vgl. Kooperation International (2023).

⁹⁶ Vgl. IW Köln (2023).

⁹⁷ Vgl. Stiftung Familienunternehmen (2023).

Energieimporte und Importe energieintensiver Grundstoffe erhöhen

- ▶ Die Studienergebnisse verdeutlichen, dass neben der Verbesserung der Pufferfähigkeit durch die oben skizzierten Maßnahmen der Import klimaneutral produzierter Energie zentral ist. Die Kosten des Imports von klimaneutraler Energie können dabei stark variieren. Die Ergebnisse zeigen, dass der Energieimport insbesondere aus Ländern mit einer Pipeline-Anbindung (unter den betrachteten Ländern z.B. Norwegen) geringere Kosten aufweisen könnte. Andere Studien zeigen, dass auch der Import aus z.B. Dänemark und Frankreich (die in dieser Studie nicht berücksichtigt wurden) mit Kostenvorteilen verbunden sein wird.⁹⁸ Da Deutschland hinsichtlich des Gesamtbedarfs an erneuerbarem Wasserstoff langfristig auf Importe angewiesen sein wird – Studien schätzen den Importanteil auf mindestens 50 Prozent⁹⁹ –, sollten Energiepartnerschaften mit Importländern geschlossen und das europäische Pipeline-Netz zügig ausgebaut werden.
- ▶ Der Import von energieintensiven Zwischenprodukten und Grundstoffen ist für die betrachteten Fokusgrundstoffe gegenüber dem Import von günstigem Wasserstoff aus Norwegen mit weiteren Kostenvorteilen verbunden. Deshalb sollte der industriepolitische Rahmen so ausgestaltet sein, dass einerseits alle möglichen inländischen Effizienzpotenziale gehoben werden und andererseits Anreize für den Import von energieintensiven Grundstoffen bestehen. Der Staat kann hier auf mindestens zwei Wegen unterstützen: Zum einen sollte der industriepolitische Rahmen durch Fehlanreize keine Importsubstitution verhindern, z.B. durch zu großzügige Entlastungsmaßnahmen für energieintensive Industrien im Kontext der aktuellen Krisenbewältigung (siehe folgender Abschnitt). Zum anderen kann der Staat die Entwicklung eines diversifizierten Portfolios ausländischer Grundstoffherzeugung im Rahmen von Energiepartnerschaften unterstützen. Dies wird heute teilweise schon getan, zum Beispiel in Namibia.¹⁰⁰
- ▶ Die Studienergebnisse lassen zudem den Schluss zu, dass es volkswirtschaftlich vorteilhaft sein kann, wenn die Substitution von inländischen Vorleistungen durch Importe möglichst upstream, also am Anfang der industriellen Wertschöpfungsketten, stattfindet. Denn einerseits ist in den betrachteten Fokusbranchen die Auslagerung der Produktion von Zwischenprodukten bereits mit hohen Kostenvorteilen verbunden. Andererseits ist der Anteil von Bruttowertschöpfung und Arbeitsplätzen in den kapitalintensiven Upstream-Prozessen gering. Die energieintensiven Upstream-Prozesse in der Metall- und Chemieindustrie machen nur etwa 15 Prozent (Metalle) bzw. 37 Prozent (Chemie) der Wertschöpfung aus und stellen 15 Prozent (Metalle) bzw. 25 Prozent (Chemie) der Arbeitsplätze.¹⁰¹ Je höher die Substitution in der Wertschöpfung also stattfindet, desto vorteilhafter dürfte der Effekt aus volkswirtschaftlicher Sicht sein – auch da sich so viele der skizzierten katalytischen Effekte (siehe Kapitel 7) eindämmen ließen.

Ein solches Maßnahmenbündel dürfte die strategische Dehnfähigkeit des Standorts deutlich verbessern. Die teils signifikanten Kostenaufschläge inländischer Grundstoffherzeugung dürften dadurch jedoch nicht vollständig zu kompensieren sein. Um die Höhe des strategischen Bruchs, d.h. die Auslandsverlagerung oder Geschäftsfeldaufgabe der Fokusbranchen, zu begrenzen, sollte deshalb sichergestellt werden, dass eine Sockelkapazität an energieintensiven Grundstoffherzeugern in Deutschland

⁹⁸ Vgl. Europäische Kommission (2023b).

⁹⁹ Vgl. Ariadne (2022).

¹⁰⁰ Vgl. TrendsNAfrica (2023).

¹⁰¹ Eigene Berechnung auf Basis von Daten des Statistischen Bundesamtes.

möglichst wettbewerbsfähig produzieren kann. Gezielte, vertikale Unterstützungsmaßnahmen sind deshalb gefragt.

Eine "Sockelkapazität" an inländischer Grundstofferzeugung sichern

Für den Industriestandort Deutschland – und vor allem für Downstream--Wirtschaftszweige, die innerhalb des weiterverarbeitenden Gewerbes den größten Anteil an Wertschöpfung und Arbeitsplätzen haben – erscheint es aus wirtschaftlichen und geostrategischen Gründen zentral, dass eine Sockelkapazität an Grundstofferzeugung erhalten bleibt, die Grundstoffe gesichert bereitstellen kann. Zusätzlich zu den oben diskutierten, können weitere Maßnahmen diskutiert werden, zum Beispiel:

- ▶ Unterstützungen für die Transformation der energieintensiven Produktionsprozesse, die teils Vermeidungskosten haben, die weit über den derzeitigen CO₂-Preisen liegen, sowie
- ▶ Temporäre Entlastungshilfen, die verhindern, dass energieintensive Grundstofferzeugung, die langfristig in Deutschland gebraucht wird, aufgrund krisenbedingter Mehrkosten für Energie abwandern oder ihre Geschäftstätigkeit komplett einstellen.

Transformationsunterstützungen für energieintensive Industrien

- ▶ Die Bundesregierung hat mit den sogenannten Klimaschutzverträgen nun ein neues ausschreibungsbasiertes Förderinstrument auf den Weg gebracht, mit dem die Umstellung von emissionsintensiven Prozessen, vor allem innerhalb energieintensiver Industrien, gefördert werden soll, in dem die Kostendifferenz der CO₂-Vermeidungskosten klimaneutraler Produktionstechnologien zum CO₂-Preis ausgeglichen werden soll.¹⁰² Vor dem Hintergrund dieser Studie scheint ein behutsames und auf Effizienz ausgerichtetes Vorgehen dabei angebracht. Da es möglich ist, dass langfristig nicht die gesamte heutige Kapazität an Grundstofferzeugung aus Wettbewerbsgründen nachgefragt und deshalb gebraucht wird, könnte die Vergabe zum Beispiel in Etappen und über einen Zeitraum von bis zu 10 Jahren erfolgen. So könnte die Dynamik globaler Grundstoffkapazitäten beobachtet und ein Verständnis für marktgetriebene Steigerungen von Vorleistungsimporten gewonnen werden.
- ▶ Ein weiteres Instrument für die Transformationsunterstützung der Grundstoffindustrie könnte die Einführung grüner Produktmindeststandards für Grundstoffe sein, z.B. im Rahmen öffentlicher Ausschreibungen, aber auch darüber hinaus. Viele energieintensive Grundstoffhersteller gehören in ihren Transformationsbemühungen global zu den Spitzenreitern, weshalb sie mittelfristig grüne Qualitätsvorteile haben dürften. Dennoch können grüne Mindeststandards so ausgestaltet sein, dass sie im Vergleich zu inländischen Subventionen das Spielfeld nicht zugunsten heimischer Produzenten verzerren. Zudem könnte so der staatliche Förderbedarf durch Klimaschutzverträge begrenzt werden.¹⁰³ Die Ausgestaltung und Effekte grüner Mindeststandards wurde jedoch im Rahmen dieser Studie nicht analysiert und benötigen weitere Untersuchungen zu den Vorzügen und Nachteilen bzw. Risiken des Instruments.

¹⁰² Vgl. BMWK (2023c).

¹⁰³ Vgl. BMWK (2023d).

Krisenbedingte Langfristschäden für Energieintensive verhindern

- ▶ Durch die anhaltende Energiekrise in Europa ist die Wettbewerbsfähigkeit der inländischen energieintensiven Industrien bedroht. Terminpreise für Gas und Strom liegen auch in den kommenden Jahren – anders als in anderen großen Industrieländern außerhalb Europas – erheblich über den Vorkrisenpreisen. Die Weitergabe dieser Kostennachteile ist aufgrund hoher Handelsintensitäten bei energieintensiven Grundstoffen begrenzt. Im Rahmen dieser Studie lag der Fokus auf der langfristigen Perspektive, doch wesentliche Erkenntnisse lassen sich auch auf die kurzfristige Perspektive übertragen: Entlastungsmaßnahmen für energieintensive Industrien sollten so ausgestaltet sein, dass Verzerrungseffekte innerhalb der Industrie begrenzt werden. Insbesondere sollten durch Entlastungsmaßnahmen keine Strukturen zementiert und der erhöhte Import von energieintensiven Vorleistungen behindert werden. Denn in den kommenden Jahren bis 2030 stehen in vielen energieintensiven Industrien richtungsweisende Investitionsentscheidungen im Kontext der Umstellung auf Klimaneutralität an. Das heißt auch, dass die Ausarbeitung temporärer Entlastungsmaßnahmen zur Eindämmung temporärer Kostennachteile auch die mittel- bis langfristige Perspektive berücksichtigen sollte. Es ist zum Beispiel fraglich, ob es sinnvoll wäre, heute energieintensive Industrien auf ein Energiekostenniveau zu fördern, das unterhalb eines mittel- bis langfristigen Niveaus ohne bzw. mit nur eingeschränkten Subventionen liegt.
- ▶ Die Studienergebnisse verdeutlichen außerdem, dass bei der Ausgestaltung von Unterstützungsmaßnahmen sowohl direkte als auch indirekte Energiekosten berücksichtigt werden sollten. Die Analysen in Kapitel 6.2 zeigen, dass die indirekten Energiekosten, d.h. in Vorleistungen gebundene Energiekosten vorgelagerter Schritte, in den wertschöpfungsstarken Downstream-Branchen wesentlich höher ausfallen als die direkten Energiekosten. Entlastungsmaßnahmen, die an der energieintensiven Grundstoffherzeugung ansetzen, haben also nicht nur für Upstream-Branchen, sondern auch für nachgelagerte Sektoren Kostendämpfungseffekte, die teils erheblich sind. Doch muss berücksichtigt werden, dass eine Subventionierung von Energieverbrauch am Kettenanfang auch mit einer Erhöhung der Energienachfrage einhergeht, die dazu führt, dass Energiepreise für alle Verbraucher steigen. Wie stark dieser Verzerrungseffekt auf die direkten Energiekosten ausfällt, hängt vor allem davon ab, auf welchen Teil der Angebotskurve die Nachfrageverschiebung wirkt. Da die Angebotskurve der Gas- und Stromerzeugung aufgrund knapper und teurer LNG-Importe bei hoher Nachfrage derzeit recht steil ist, kann der Verzerrungseffekt substantiell ausfallen. Diese Effekte gilt es schnell besser zu verstehen, um Entlastungsmaßnahmen sinnvoll auszugestalten.

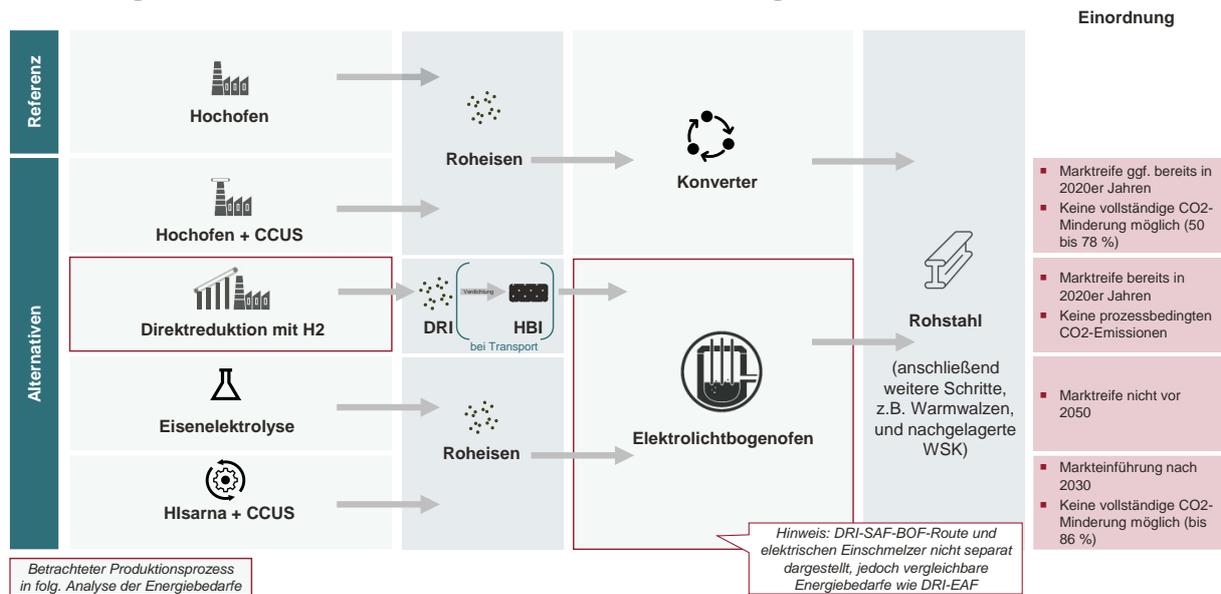
In Summe dürften die skizzierten Maßnahmen die strategische Dehnfähigkeit des Standorts erheblich verbessern und dazu beitragen, dass langfristig zu erwartende Energiekostenunterschiede zwischen dem In- und Ausland den Standort insgesamt weniger stark belasten als die Berechnungen in Kapitel 7 anzeigen. Dafür braucht es eine kluge Kombination aus horizontalen und vertikalen industriepolitischen Maßnahmen. Hinsichtlich der zeitlichen Priorisierung sollte nun vorrangig krisenbedingte Folgeschäden abgewendet werden. Dennoch erfordert die Sicherung der heimischen Industrie eine zeitnahe Umsetzung der anderen Maßnahmen, denn richtungsweisende Investitions- bzw. Verlagerungsentscheidungen werden in den kommenden Monaten und Jahren getroffen – gerade auch da andere Industrienationen wie die USA mit eigenen Industrieoffensiven Druck machen.

9 Anhang

9.1 Daten und Methodik

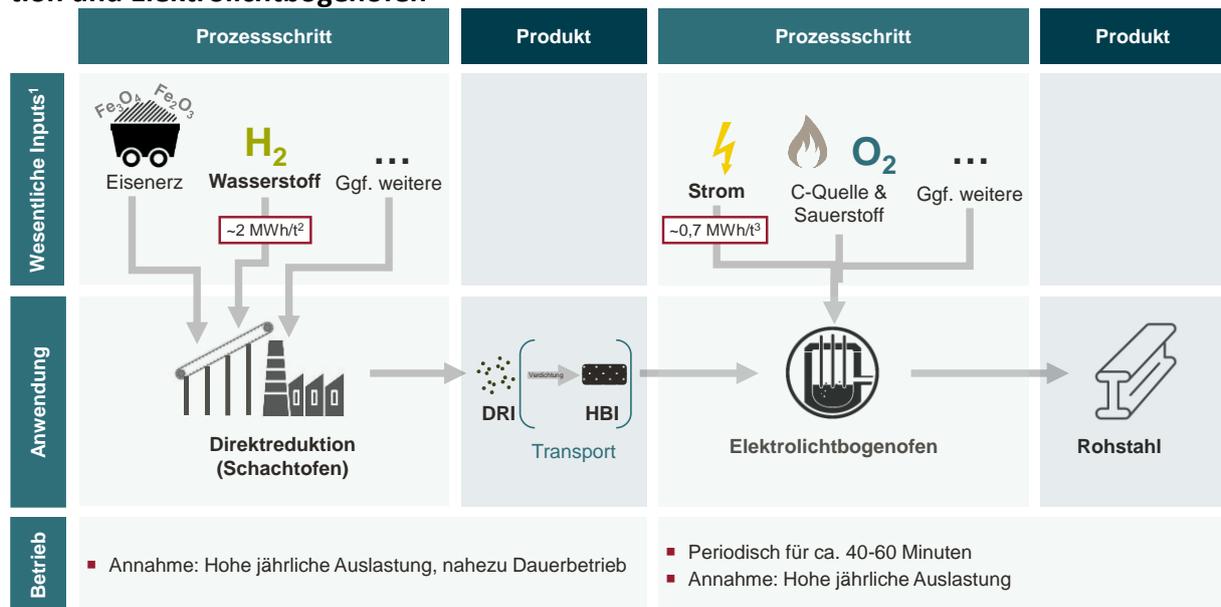
9.1.1 Produktionsrouten und Energiebedarfe der industriellen Grundstoffe

Abbildung 9-1: Produktionsrouten für Rohstahlherstellung



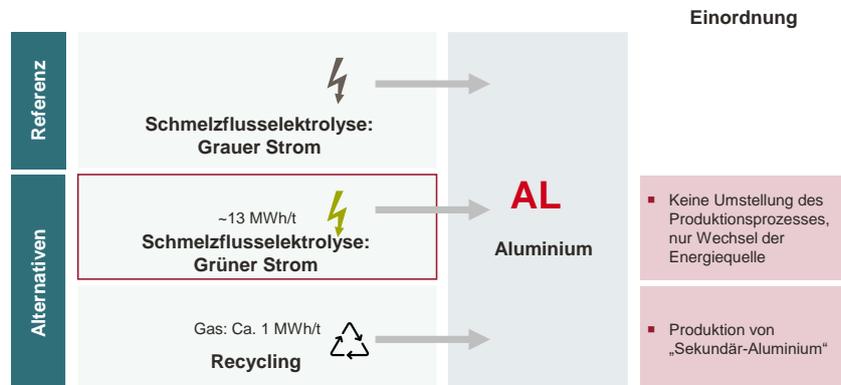
Quelle: Frontier Economics

Abbildung 9-2: Prozessschritte und Energiebedarfe für Stahlproduktion mit Direktreduktion und Elektrolichtbogenofen



Quelle: Frontier Economics; ¹ Darstellung enthält wesentliche Inputs vor dem Hintergrund der Energiekostenanalyse, z.T. weitere Inputs in kleineren Volumina benötigt; ² Einheit: MWh_{H2}/tDRI. Angaben reichen von 1,6 bis 2,6 MWh/t. Bei Einsatz von Erdgas ca. 2,8 MWh/t. Quelle: LBST (2022); ³ Einheit: MWhel/tRohstahl. Auf Basis von c-DRI. Angaben reichen von 0,43 bis 0,75 MWh/t. Quellen: Agora Energiewende und Wuppertal Institut (2019), AIT et al (2022), LBST (2022).

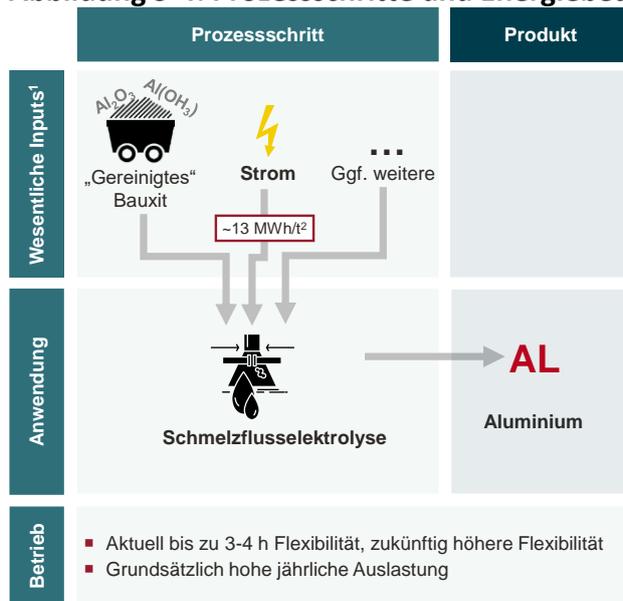
Abbildung 9-3: Produktionsrouten der Aluminiumproduktion



Betrachteter Produktionsprozess in folg. Analyse der Energiebedarfe

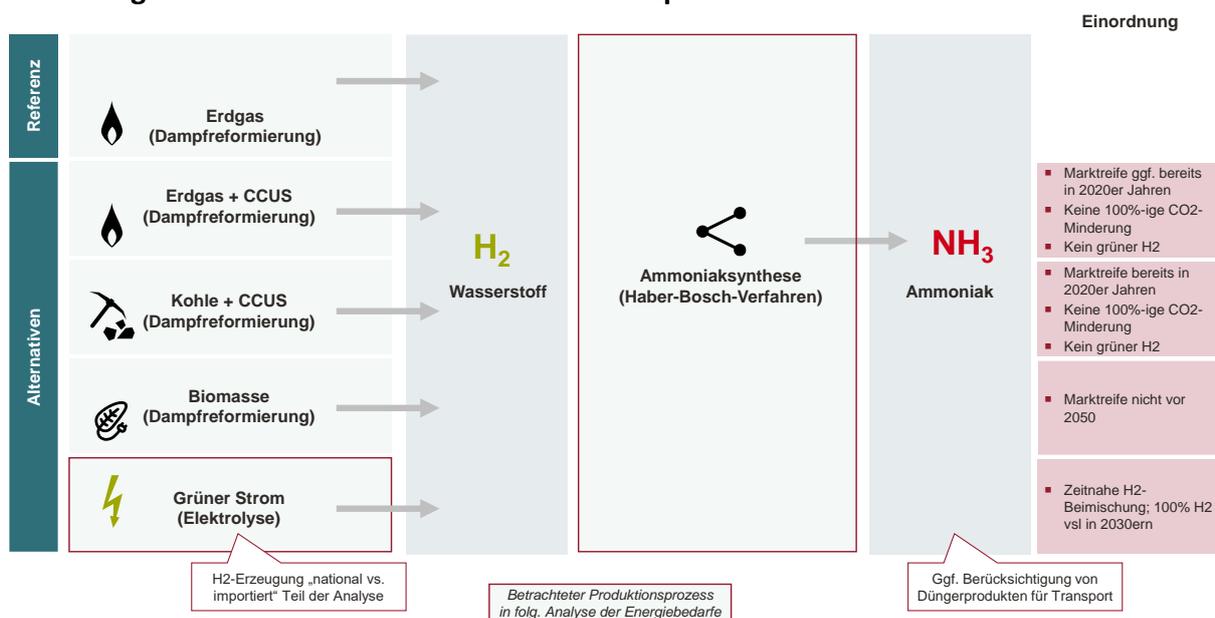
Quelle: Frontier Economics

Abbildung 9-4: Prozessschritte und Energiebedarfe für Aluminiumproduktion



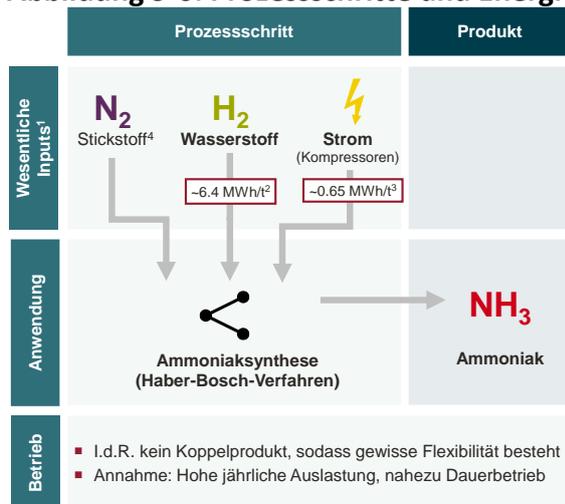
Quelle: Frontier Economics; ¹ Darstellung enthält wesentliche Inputs vor dem Hintergrund der Energiekostenanalyse, z.T. weitere Inputs in kleineren Volumina benötigt

Abbildung 9-5: Produktionsrouten für Ammoniakproduktion



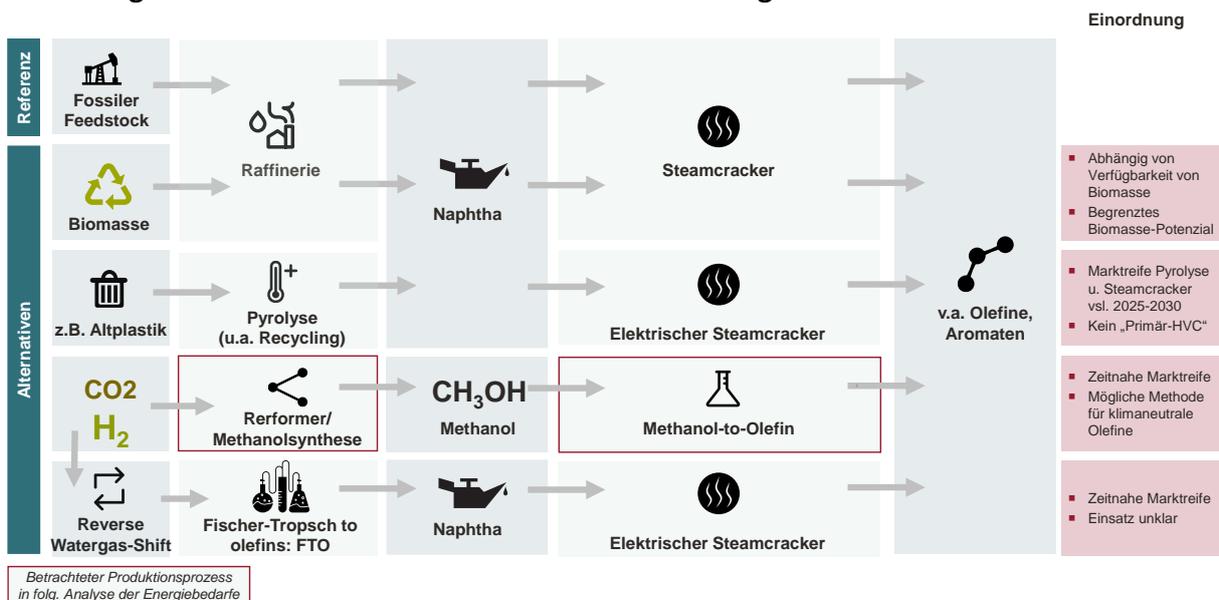
Quelle: Frontier Economics

Abbildung 9-6: Prozessschritte und Energiebedarfe für Ammoniakproduktion



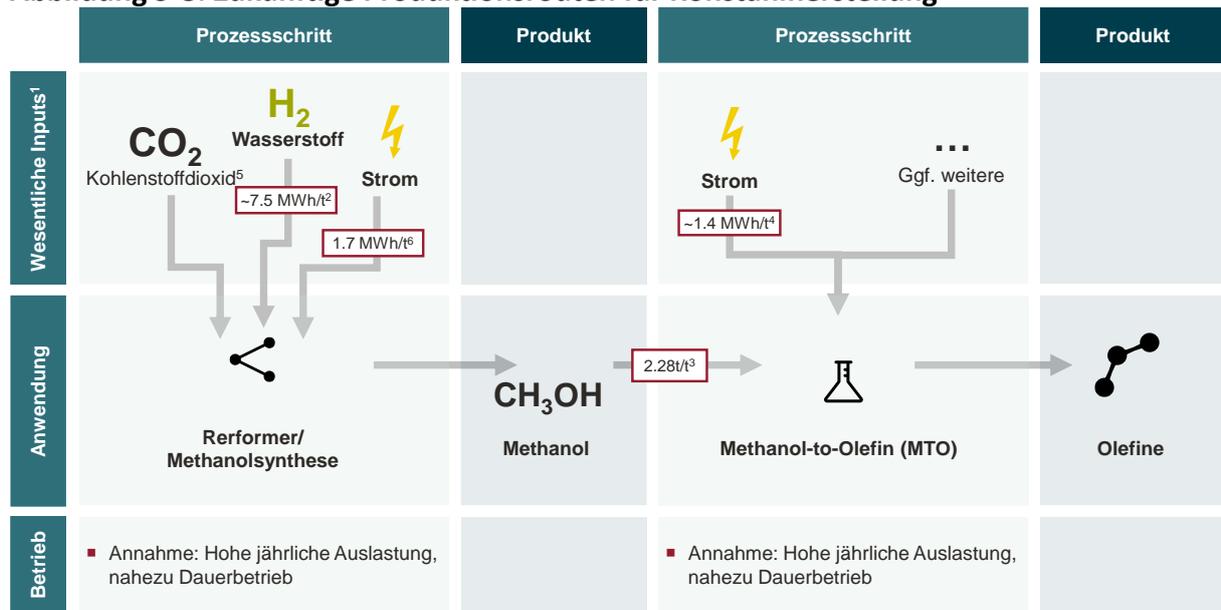
Quelle: Frontier Economics; ¹ Darstellung enthält wesentliche Inputs vor dem Hintergrund der Energiekostenanalyse, z.T. weitere Inputs in kleineren Volumina benötigt

Abbildung 9-7: Produktionsrouten für Produktion von High Value Chemicals



Quelle: Frontier Economics

Abbildung 9-8: Zukünftige Produktionsrouten für Rohstahlherstellung



Quelle: Frontier Economics; ¹ Darstellung enthält wesentliche Inputs vor dem Hintergrund der Energiekostenanalyse, z.T. weitere Inputs in kleineren Volumina benötigt; ² Einheit: MWh_{H₂}/t_{CH₃OH}. Quelle: Moritz et al (2022); ³ Einheit: t_{Methanol}/t_{Olefine}. Quelle: Bazzanella und Ausfelder (2017); ⁴ Einheit: MWh_{el}/t_{Olefine}. Quelle: Bazzanella und Ausfelder (2017); ⁵ 1.2-1.8 MWh_{el}/t_{CO₂}, 0.25 kg_{CO₂}/kwh_{CH₃OH} Quelle: Moritz et al (2022); ⁶ Einheit: MWh_{el}/t_{Methanol} Quelle: Moritz et al (2022)

9.1.2 Techno-ökonomische Annahmen

Tabelle 9-1: Techno-ökonomische Parameter der Energiekostenanalyse

Abschnitt	Parameter	Land	Einheit	2030	2045	Quelle/Kommentar
Stromgestehung						
	Wind Onshore CAPEX	global	€/MW	949.654	814.873	Frontier Annahmen basierend auf IEA (2022) und Braendle et al (2021)
	Wind Onshore OPEX	global	€/MW/a	37.986	32.595	Frontier Annahmen basierend auf IEA (2022) und Braendle et al (2021)
	Wind Onshore Lebenszeit	global	a	25	25	Braendle et al (2021)
	Wind Offshore CAPEX	global	€/MW	1.794.790	1.367.487	Frontier Annahmen basierend auf IEA (2022) und Braendle et al (2021)
	Wind Offshore OPEX	global	€/MW/a	71.792	54.699	Frontier Annahmen basierend auf IEA (2022) und Braendle et al (2021)
	Wind Offshore Lebenszeit	global	a	25	25	Braendle et al (2021)
	PV CAPEX	global	€/MW	394.800	312.900	Frontier Annahmen basierend auf IEA (2022) und Braendle et al (2021)
	PV OPEX	global	€/MW/a	9.870	7.823	Frontier Annahmen basierend auf IEA (2022) und Braendle et al (2021)
	PV Lebenszeit	global	a	25	25	Braendle et al (2021)

Elektrolyse						
	Elektrolyseur CAPEX	global	€/MW	525.000	414.750	Frontier Annahmen basierend auf IEA (2022) und Braendle et al (2021)
	Elektrolyseur OPEX	global	€/MW/a	26.250	20.738	Frontier Annahmen basierend auf IEA (2022) und Braendle et al (2021)
	Elektrolyseur Lebenszeit	global	a	25	25	Braendle et al (2021)
	Elektrolyseur Effizienz	global	%	0,7	0,7	average from Braendle et al.(2021)
Wasserstoffspeicher						
	H2 Drucktank CAPEX	global	€/MWh	12.692	6.667	Wert für 2030 aus Gorre et al (2020), Forecast für 2045 lower boundary aus Van Leeuwen und Mulder (2018)
	H2 Drucktank CAPEX jährlich	global	€/MWh/a	1.189	625	Wert für 2030 aus Gorre et al (2020), Forecast für 2045 lower boundary aus Van Leeuwen und Mulder (2018)
	H2 Drucktank OPEX	global	%CAPEX/a	1,5	1,5	Gorre et al (2019)
	H2 Drucktank OPEX	global	€/MWh/a	190	100	1.5 % CAPEX basierend auf Gorre et al (2019)
	H2 Drucktank Lebenszeit	global	a	25	25	Gorre et al (2019)
	Salzkaverne CAPEX	global	€/MWh	334	334	European Commission (2021)
	Salzkaverne CAPEX jährlich	global	€/MWh/a	30	30	European Commission (2021)
	Salzkaverne OPEX	global	€/MWh/a	13	13	European Commission (2021)
	Felskaverne CAPEX	global	€/MWh	1.232	1.232	European Commission (2021)
	Felskaverne CAPEX Jährlich	global	€/MWh/a	109	109	European Commission (2021)
	Felskaverne OPEX	global	€/MWh/a	49	49	European Commission (2021)
	OPEX für Unterspeicher	global	% CAPEX, a	4	4	European Commission (2021)
	Lebenszeit Unterspeicher	global	a	30	30	European Commission (2021)
Batteriespeicher						
	Batterie-speicher CAPEX	global	€/MWh	117.000	71.000	Vartiainen et al (2019)
	Batterie-speicher CAPEX	global	€/MWh/a	13.669	8.295	Vartiainen et al (2019)
	Batterie-speicher OPEX	global	€/MWh/a	2.700	2.100	Vartiainen et al (2019)
	Speichereffizienz	global	%	86	86	Schmidt et al (2019)
	Batterie-speicher Lebenszeit	global	a	15	15	Fraunhofer IWES (2017)
Rückverstromung						
	Effizienz H2 Rückverstromung	global	%	60	60	Frontier Strommarktmodell
Wasserstofftransport						
Wasserstoff	Kosten Pipeline-transport Onshore	global	€/kg/1000km	0,16	0,16	Guidehouse (2021)
	Kosten Pipeline-transport Offshore	global	€/kg/1000km	0,31	0,31	Guidehouse (2021), Moritz et al (2023)
Ammoniak						

Haber Bosch Anlage	CAPEX	global	€/kw	829,08	368,37	IRENA (2022)
	OPEX	global	% Capex p. a.	2	2	IRENA (2022)
	Amortisierungsfaktor	global	%	9	9	eigene Annahme
	Auslastung	global	%	99	99	eigene Annahme
	Effizienz	global	%	88	88	IRENA (2022)
	Strom	global	kwh(el)/MWh (H2)	99,01	87,71	IRENA (2022)
Verschiffung	Import-/Export-terminal	global	€/kg (H2)	0,01	0,01	Moritz et al (2021): ewi PtX cost tool port fees, Brunsbüttel Ports (2020)
	Import-/Export-terminal	global	€/MWh (H2)	0,38	0,38	Moritz et al (2021): ewi PtX cost tool port fees, Brunsbüttel Ports (2020)
	Import-/Export-terminal	global	€/t (NH3)	1,94	1,94	Moritz et al (2021): ewi PtX cost tool port fees, Brunsbüttel Ports (2020)
	Kosten Ammoniak-speicher	global	€/kg (H2)	0,06	0,06	AIT und Frontier Economics (2022)
	Kosten Ammoniak-speicher	global	€/MWh (H2)	1,65	1,65	
	Fixkosten für Liegezeit Schiff pro Hafen	global	€/t (NH3)	1,38	1,38	Panteia (2020)
	Kosten Tanker	global	€/tkm (NH3)	0,0012	0,0012	Bernacki (2021)
	Kosten Tanker	global	€/tkm (H2)	0,0076	0,0076	Bernacki (2021)
	Kosten Tanker	global	€/MWh (H2)/km	0,0002	0,0002	Bernacki (2021)
NH3 Cracker	CAPEX	global	€/kw	658,06	268,81	IRENA (2022)
	OPEX	global	% Capex p. a.	3	3	IRENA (2022)
	Effizienz	global	%	98	98	IRENA (2022)
	Strombedarf	global	kwh(el)/MWh (H2)	37,50	31,36	IRENA (2022)
	Wärmebedarf	global	kwh/MWh(H2)	243,02	196,52	IRENA (2022)
	Wärmebedarf gedeckt via H2	global	MWh (H2)/MWh(H2)	0,24	0,20	IRENA (2022)
	Effizienz inklusive Wärmebedarf	global	%	79	82	IRENA (2022)
Sonstiger Transport						
Massengut-transporter	Kosten für Liegezeit	global	€/h	463	463	Panteia (2020), Liegezeit pro (Ent-)Ladevorgang mal Kosten
	Liegezeit pro Fahrt	global	h	88	88	Panteia (2020)
	Kosten Liegezeit pro Trip	global	€	40892	40892	Panteia (2020)
	Net tonnage	global	t(Ladung)/Schiff	46856	46856	Panteia (2020)
	Fixkosten für Liegezeit	global	€/t	1,45	1,45	Panteia (2020)
	Import-/Export-terminal	global	€/t	0,71	0,71	Brunsbüttel Ports (2020)
	Fahrtkosten	global	€/tkm	0,00081	0,00081	Bernacki (2021)
Tanker	Kosten für Liegezeit	global	€/h	722	722	Panteia (2020)
	Liegezeit pro Fahrt	global	h	55	55	Panteia (2020)
	Kosten Liegezeit pro Trip	global	€	39854	39854	Panteia (2020)

	Net tonnage Tanker	global	t	48195	48195	Panteia (2020)
	Fixkosten für Liegezeit	global	€/t	1,38	1,38	Panteia (2020)
	Import-/Export-terminal	global	€/t	0,52	0,52	Brunsbüttel Ports (2020)
	Fahrtkosten Tanker	global	€/tkm	0,001186	0,001186	Bernacki (2021)
Transportdistanzen						
Schiff-transport	Distanz Seeweg	USA	km	11932	11932	Corpus Christi nach Hamburg
		Australien	km	21833	21833	Perth nach Hamburg
		Chile	km	17522	17522	Punta Arenas nach Hamburg
		Norwegen	km	700	700	Scavanger nach Hamburg
		VAE	km	13683	13683	Abu Dhabi nach Hamburg
		Spanien	km	3511	3511	Cadiz nach Hamburg
		Marokko	km	3873	3873	Agadir nach Hamburg
Pipeline-transport	Distanz Onshore	Spanien	km	2.400	2.400	
		Marokko	km	-	3.400	
	Distanz Offshore	Norwegen	km	650	650	
		Marokko	km	-	50	
Stahl						
EAF	Bedarf DRI	global	t(HBI)/t(Stahl)	1,18	1,18	LBST (2022)
	Bedarf Strom	global	MWh(el)/t(Stahl)	0,70	0,70	Wuppertal Institut (2019), LBST (2019)
DRI Herstellung	Bedarf Eisenerz	global	t(Eisenerz)/t(DRI)	1,43	1,43	LBST (2022)
	Bedarf Wasserstoff	global	MWh(H2)/t(DRI)	2,00	2,00	LBST (2022)
	Bedarf Erdgas	global	MWh(CH4)/t(DRI)	-	-	
Aluminium						
Aluminiumherstellung	Bauxitbedarf	global	t(Bauxit)/t(Aluminium)	2,30	2,30	Schwarz (2004)
	Strombedarf	global	MWh(el)/t(Aluminium)	13,00	13,00	BGR (2020)
HVC						
Methanolsynthese	H2 Input	global	MWh(H2)/MWh(Methanol)	1,20	1,18	Moritz et al (2023)
	H2 Input	global	MWh(H2)/t(Methanol)	7,60	7,46	Moritz et al (2023)
	Strombedarf	global	MWh(el)/MWh(Methanol)	0,27	0,27	Moritz et al (2023)
	CO2 Bedarf für Methanolsynthese	global	t(CO2)/MWh(Methanol)	0,25	0,25	Moritz et al (2023)
	Energiegehalt Methanol	global	MWh/t(Methanol)	6,31	6,31	Moritz et al (2023)
DAC	Stromnachfrage für CO2-Gewinnung	global	MWh(el)/t(CO2)	1,73	1,39	Moritz et al (2023)

	Stromnachfrage für CO ₂ in Methanolsynthese	global	MWh(el)/MWh(Methanol)	0,43	0,35	Moritz et al (2023)
	Stromnachfrage für CO ₂ in Methanolsynthese	global	MWh(el)/t(Methanol)	2,72	2,19	Moritz et al (2023)
MTO	Strombedarf für MTO	global	MWh/t(HVC)	1,40	1,40	Bazzanella und Ausfelder (2017)
	Methanolbedarf für MTO	global	t(Methanol)/t(HVC)	2,28	2,28	Bazzanella und Ausfelder (2017)
Weitere Feedstocks						
	Kosten Erdgas	USA	€/Mbtu	-	-	Henry Hub Natural Gas Futures Quotes
		Australien	€/Mbtu	-	-	Australian Securities Exchange
		Deutschland	€/Mbtu	-	-	OTC-Gas THE - Marktdaten
Sonstige Parameter						
	Energiegehalt Wasserstoff (LHV)	global	kwh pro kg (H ₂)	33,33		
	Mmbtu zu MWh	global	MWh/Mmbtu	0,29		
	MJ zu Kwh	global	kwh/MJ oder MWh/GJ	0,28		
	Energiegehalt Ammoniak	global	kg(H ₂) pro kg(NH ₃)	0,16		
	Energiegehalt Ammoniak (LHV)	global	MWh pro t(NH ₃)	5,17		
	Energiegehalt pro Kubikmeter H ₂	global	kwh pro Nm ³ (H ₂)	3,00		
	Gewicht pro Kubikmeter H ₂	global	kg(H ₂) pro Nm ³ (H ₂)	0,09		
	Energiegehalt Methanol	global	MJ/kg	22,70		
	Energiegehalt Methanol (LHV)	global	MWh/t	6,31		
	Energiegehalt Ethylene (LHV)	global	MWh/t	13,26		
	Energiegehalt Propylene (LHV)	global	MWh/t	12,72		
	Wechselkurs Dollar zu Euro	global	€/€	0,84		IEA (2022)

Quelle: Frontier Economics, Werte in € (real, 2021).

9.1.3 Berechnung der Import-Vorleistungseffekte

Ausgangspunkt der Berechnungen ist der von den Unternehmen in der Befragung erwartete Anstieg der energieintensiven Vorprodukte aus dem Ausland. Angegeben haben die Unternehmen einen Durchschnittswert über alle Szenarien. Zur Berechnung des Gesamteffektes werden die Anteile „Mehr Auslandsbezug“ mit einer relativen Eintrittswahrscheinlichkeit der Szenarien multipliziert. Das Ergebnis sind wahrscheinlichkeitsgewichtete Erhöhungen der Vorleistungsimporte in Prozent. In der Chemieindustrie beträgt der durchschnittliche Erwartungswert 22,9 Prozent. Der Faktor zur Messung der relativen Eintrittswahrscheinlichkeit beträgt 1,25. Daraus ergibt sich der Anstieg der Auslandsbezüge von 28,7 Prozent (Tabelle 9-2).

Tabelle 9-2: Berechnung der Erhöhung der Importe energieintensiver Vorprodukte nach Fokusbranchen und Szenarien

Fokusbranchen	Erwartete Erhöhung der VL-Importe	Relative Eintrittswahrscheinlichkeit nach Preis-Szenarien		
	Durchschnittlicher Erwartungswert	Moderat	Stark	Extrem
	Prozent	Faktor		
Chemie	22,9	1,25	1,28	1,01
Gummi/Kunststoff	32,5	0,90	1,17	1,00
Metallerzeugung	10,8	0,93	1,56	1,27
Metallerzeugnisse	45,0	0,92	1,48	1,23
Maschinenbau/ Elektro	11,1	0,87	1,36	1,08
Fahrzeug	63,0	1,25	1,27	1,11
Sonstige	16,0	1,33	1,22	1,15
Gesamt	28,0			
		Wahrscheinlichkeitsgewichtete Erhöhung der Vorleistungsimporte in Prozent		
Chemie		28,7	29,3	23,2
Gummi/Kunststoff		29,2	38,1	32,5
Metallerzeugung		10,0	16,9	13,8
Metallerzeugnisse		41,6	66,7	55,5
Maschinenbau/ Elektro		9,7	15,1	12,0
Fahrzeug		78,7	79,8	69,9
Sonstige		21,3	19,5	18,3
Gesamt		32,6	36,2	31,4

Quelle: IW Consult (2023)

Die Berechnung der relativen Eintrittswahrscheinlichkeiten der Szenarien zeigt die Tabelle 9-3. Der Ausgangspunkt sind die Anteile der Unternehmen, die in Abhängigkeit der Szenarien ihre Vorleistungsimporte erhöhen wollen. Der gesuchte Faktor (die relative Eintrittswahrscheinlichkeit aus Tabelle 9-2) errechnet sich aus der Division dieses Anteils mit der wahrscheinlichkeitsgewichteten strategischen Anpassungsreaktion (Summe der strategischen Anpassungsreaktionen gewichtet mit der von den Unternehmen jeweils angegebenen Eintrittswahrscheinlichkeit des Szenarios).

Tabelle 9-3: Berechnung der relativen Eintrittswahrscheinlichkeiten der Szenarien

	Anteil der Unternehmen mit Antwort „mehr Auslandsbezug von energieintensiven Vorleistungen nach Szenarien			Wahrscheinlichkeitsgewichte strategische Anpassungs- reaktion
	Moderat	Stark	Extrem	
Chemie	40,5	41,4	32,8	32,3
Gummi/Kunstst.	44,8	58,4	49,9	49,8
Metallerzeugung	26,2	43,9	35,9	28,2
Metallerzeugnisse	33,0	52,9	44,0	35,7
Mbau & Elektro	43,5	67,8	53,9	49,9
Fahrzeug	44,0	44,6	39,1	35,2
Sonstige	49,0	46,0	43,1	37,7

Quelle: IW Consult (2023)

9.2 Gesamtergebnisse nach Branchen und Effektarten

Tabelle 9-4: Einbußen bei Produktionswerten, Bruttowertschöpfung und Erwerbstätigkeit nach Branchen und Preis-Szenarien

Milliarden Euro, mittelfristige Anpassungseffekte

Branchen	Produktionswert			Bruttowertschöpfung			Erwerbstätigkeit		
	Moderat	Stark	Extrem	Moderat	Stark	Extrem	Moderat	Stark	Extrem
Direkte Effekte									
Chemie, downstream	4,8	11,3	14,4	1,5	3,6	4,6	12.013	28.267	36.089
Gummi/Kunststoff	5,6	12,4	18,3	1,8	4,0	6,0	23.400	52.363	77.307
Metallerzeugung, downstr.	8,0	12,1	16,2	1,9	3,0	4,0	23.277	35.523	47.383
Metallerzeugnisse	5,4	13,5	20,7	2,0	5,0	7,6	29.843	74.829	114.601
Masch.bau / Elektro	7,2	21,9	45,6	2,5	7,5	15,7	24.673	75.077	156.583
Fahrzeugbau	40,6	58,8	79,6	12,2	17,7	24,0	85.253	123.427	167.196
Sonstige Industrie	7,8	55,3	62,9	3,0	23,0	26,0	37.336	284.430	320.995
Fokusbranchen	79,3	185,3	257,8	25,0	63,8	87,8	235.794	673.915	920.154
Vorleistungs-Importeffekte									
Chemie upstream	1,8	2,1	1,8	0,6	0,7	0,6	3.712	4.313	3.714
Chemie downstream	1,3	1,5	1,3	0,4	0,5	0,4	3.157	3.668	3.158
Gummi/Kunststoff	9,8	11,0	9,6	3,2	3,6	3,1	41.112	46.551	40.478
Metallerzeugung upstream	2,3	2,8	2,4	0,5	0,6	0,5	6.054	7.373	6.292
Metallerzeugung downstr.	1,2	1,4	1,2	0,3	0,3	0,3	3.406	4.148	3.540
Metallerzeugnisse	13,2	16,3	14,0	4,9	6,0	5,2	73.220	90.623	77.594
Masch.bau / Elektro	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0
Fahrzeugbau	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0
Sonstige Industrie	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0
Fokusbranchen	29,4	35,1	30,2	9,8	11,7	10,1	130.660	156.676	134.776

Fortsetzung Tabelle 9-4 (Overlap und indirekte Effekte)

Branchen	Produktionswert			Bruttowertschöpfung			Erwerbstätige		
	Moderat	Stark	Extrem	Moderat	Stark	Extrem	Moderat	Stark	Extrem
Überschneidung / Overlapping									
Chemie	0,3	0,7	0,8	0,2	0,4	0,5	648	1.479	1.702
Gummi/Kunststoff	1,5	2,3	3,2	1,0	1,6	2,1	6.197	9.737	13.388
Metallerzeugung	1,0	1,5	1,5	0,8	1,2	1,2	2.674	4.249	4.153
Metallerzeugnisse	1,3	2,4	3,1	0,8	1,5	2,0	7.473	13.385	17.337
Masch.bau / Elektro	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0
Fahrzeugbau	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0
Sonstige Industrie	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0
Fokusbranchen	4,1	6,9	8,6	2,8	4,7	5,8	16.992	28.850	36.580
Indirekte Effekte									
Chemie	0,5	1,0	1,2	0,3	0,6	0,8	1.166	2.206	2.801
Gummi/Kunststoff	0,9	0,6	0,6	0,6	0,4	0,4	3.660	2.322	2.484
Metallerzeugung	1,3	1,9	2,4	1,0	1,5	1,9	3.488	5.194	6.624
Metallerzeugnisse	3,1	3,1	2,8	2,0	1,9	1,8	17.327	16.992	15.742
Masch.bau / Elektro	2,5	4,2	3,9	1,7	2,8	2,6	8.808	14.620	13.341
Fahrzeugbau	0,3	0,5	0,6	0,2	0,4	0,4	646	1.040	1.238
Sonstige Industrie	2,6	4,0	5,1	1,6	2,4	3,0	13.290	20.014	25.663
Fokusbranchen	11,3	15,2	16,6	7,4	10,0	10,9	48.385	62.387	67.892
Andere Industrie	7,5	16,0	19,9	5,0	10,8	13,4	21.186	47.273	58.513
Dienstleistungen	30,9	62,9	82,3	14,6	29,4	38,6	218.432	429.304	565.979
Gesamt	49,7	94,1	118,8	26,9	50,1	62,9	288.002	538.965	692.383

Fortsetzung Tabelle 9-4 (Gesamteffekte)¹⁾

Branchen	Produktionswert			Bruttowertschöpfung			Erwerbstätige		
	Moderat	Stark	Extrem	Moderat	Stark	Extrem	Moderat	Stark	Extrem
	Gesamteffekte								
Chemie	8,1	15,2	17,9	2,7	5,0	6,0	19.399	36.975	44.060
Gummi/Kunststoff	14,7	21,7	25,4	4,6	6,4	7,3	61.975	91.499	106.881
Metallerzeugung	11,7	16,7	20,7	2,9	4,1	5,4	33.551	47.988	59.684
Metallerzeugnisse	20,4	30,5	34,4	8,0	11,4	12,6	112.916	169.060	190.600
Masch.bau / Elektro	9,7	26,1	49,5	4,2	10,3	18,2	33.481	89.697	169.925
Fahrzeugbau	40,9	59,3	80,2	12,5	18,1	24,4	85.898	124.467	168.434
Sonstige Industrie	10,4	59,3	68,0	4,6	25,4	29,0	50.626	304.444	346.657
Fokusbranchen	115,9	228,7	296,1	39,4	80,8	103,0	397.847	864.128	1.086.241
Andere Industrie	7,5	16,0	19,9	5,0	10,8	13,4	21.186	47.273	58.513
Dienstleistungen	30,9	62,9	82,3	14,6	29,4	38,6	218.432	429.304	565.979
Gesamt	154,3	307,6	398,3	59,0	121,0	155,0	637.465	1.340.706	1.710.732

¹⁾ Konsolidiert um Overlapping-Effekte

Quellen: Statistisches Bundesamt (2023a), Eurostat (2022), IW Consult (2023)

Tabelle 9-5: Relative Einbußen bei Produktionswerten, Bruttowertschöpfung und Erwerbstätigkeit nach Branchen und Preis-Szenarien

Angaben in Prozent, mittelfristige Anpassungseffekte in Prozent der Ausgangsgrößen 2022

Branchen	Produktionswert			Bruttowertschöpfung			Erwerbstätigkeit		
	Moderat	Stark	Extrem	Moderat	Stark	Extrem	Moderat	Stark	Extrem
Direkte Effekte									
Chemie, downstream	7,4	17,4	22,2	7,4	17,4	22,2	7,4	17,4	22,2
Gummi/Kunststoff	5,4	12,0	17,8	5,4	12,0	17,8	5,4	12,0	17,8
Metallerzeugung, downstr.	24,6	37,6	50,1	24,6	37,6	50,1	24,6	37,6	50,1
Metallerzeugnisse	3,3	8,3	12,8	3,3	8,3	12,8	3,3	8,3	12,8
Masch.bau / Elektro	1,2	3,7	7,8	1,2	3,7	7,8	1,2	3,7	7,8
Fahrzeugbau	8,1	11,7	15,9	8,1	11,7	15,9	8,1	11,7	15,9
Sonstige Industrie	1,1	7,9	9,0	1,1	8,0	9,1	1,1	8,2	9,2
Fokusbranchen	3,7	8,6	12,0	3,3	8,4	11,5	2,9	8,3	11,3
Vorleistungs-Importeffekte									
Chemie upstream	1,9	2,3	1,9	1,9	2,3	1,9	1,9	2,3	1,9
Chemie downstream	1,9	2,3	1,9	1,9	2,3	1,9	1,9	2,3	1,9
Gummi/Kunststoff	9,4	10,7	9,3	9,4	10,7	9,3	9,4	10,7	9,3
Metallerzeugung upstream	3,6	4,4	3,7	3,6	4,4	3,7	3,6	4,4	3,7
Metallerzeugung downstr.	3,6	4,4	3,7	3,6	4,4	3,7	3,6	4,4	3,7
Metallerzeugnisse	8,2	10,1	8,7	8,2	10,1	8,7	8,2	10,1	8,7
Masch.bau / Elektro	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Fahrzeugbau	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Sonstige Industrie	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Fokusbranchen	1,3	1,5	1,3	1,2	1,5	1,3	1,5	1,8	1,6

Fortsetzung Tabelle 9-5 (Overlapping und indirekte Effekte)

Branchen	Produktionswert			Bruttowertschöpfung			Erwerbstätige		
	Moderat	Stark	Extrem	Moderat	Stark	Extrem	Moderat	Stark	Extrem
Überschneidung / Overlapping									
Chemie	0,2	0,4	0,5	0,4	0,8	0,9	0,2	0,4	0,5
Gummi/Kunststoff	1,4	2,2	3,1	3,0	4,6	6,4	1,4	2,2	3,1
Metallerzeugung	1,0	1,6	1,6	3,7	5,9	5,8	1,0	1,6	1,6
Metallerzeugnisse	0,8	1,5	1,9	1,4	2,5	3,3	0,8	1,5	1,9
Masch.bau / Elektro	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Fahrzeugbau	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Sonstige Industrie	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Fokusbranchen	0,2	0,3	0,4	0,3	0,6	0,7	0,2	0,3	0,4
Indirekte Effekte									
Chemie	0,3	0,6	0,8	0,6	1,2	1,5	0,3	0,6	0,8
Gummi/Kunststoff	0,8	0,5	0,6	1,7	1,1	1,2	0,8	0,5	0,6
Metallerzeugung	1,3	2,0	2,5	4,9	7,2	9,2	1,3	2,0	2,5
Metallerzeugnisse	1,9	1,9	1,8	3,3	3,2	3,0	1,9	1,9	1,8
Masch.bau / Elektro	0,4	0,7	0,7	0,8	1,4	1,3	0,4	0,7	0,7
Fahrzeugbau	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,1	0,1	0,1
Sonstige Industrie	0,4	0,6	0,7	0,5	0,8	1,1	0,4	0,6	0,7
Fokusbranchen	0,5	0,7	0,7	0,9	1,2	1,4	0,6	0,7	0,8
Andere Industrie	0,8	1,8	2,2	1,9	4,0	5,0	0,8	1,7	2,1
Dienstleistungen	0,7	1,5	1,9	0,6	1,2	1,6	0,6	1,3	1,7
Gesamt	0,7	1,3	1,6	0,8	1,4	1,8	0,6	1,2	1,5

Fortsetzung Tabelle 9-5 (Gesamteffekte)¹⁾

Branchen	Produktionswert			Bruttowertschöpfung			Erwerbstätige		
	Moderat	Stark	Extrem	Moderat	Stark	Extrem	Moderat	Stark	Extrem
	Gesamteffekte								
Chemie	5,1	9,7	11,4	5,1	9,4	11,2	5,5	10,5	12,5
Gummi/Kunststoff	14,2	21,0	24,5	13,6	19,2	21,9	14,2	21,0	24,5
Metallerzeugung	12,2	17,4	21,6	14,2	20,2	26,5	12,8	18,3	22,7
Metallerzeugnisse	12,6	18,9	21,3	13,4	19,1	21,1	12,6	18,9	21,3
Masch.bau / Elektro	1,7	4,5	8,4	2,1	5,1	9,1	1,7	4,5	8,5
Fahrzeugbau	8,1	11,8	16,0	8,2	12,0	16,2	8,1	11,8	16,0
Sonstige Industrie	1,5	8,5	9,7	1,6	8,9	10,1	1,5	8,8	10,0
Fokusbranchen	5,0	9,9	12,8	4,9	10,0	12,8	4,7	10,2	12,8
Andere Industrie	0,8	1,8	2,2	1,9	4,0	5,0	0,8	1,7	2,1
Dienstleistungen	0,7	1,5	1,9	0,6	1,2	1,6	0,6	1,3	1,7
Gesamt	2,1	4,1	5,3	1,7	3,5	4,4	1,4	2,9	3,8

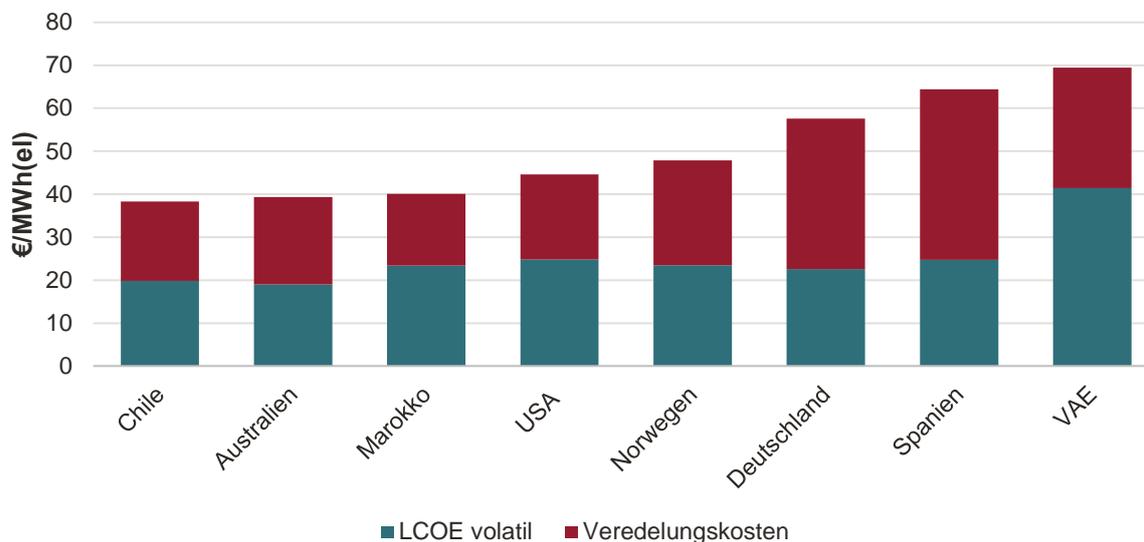
¹⁾ Konsolidiert um Overlapping-Effekte

Quellen: Statistisches Bundesamt (2023a), Eurostat (2022), IW Consult (2023)

9.3 Ergebnisse der komparativen Energiekostenanalyse für 2030

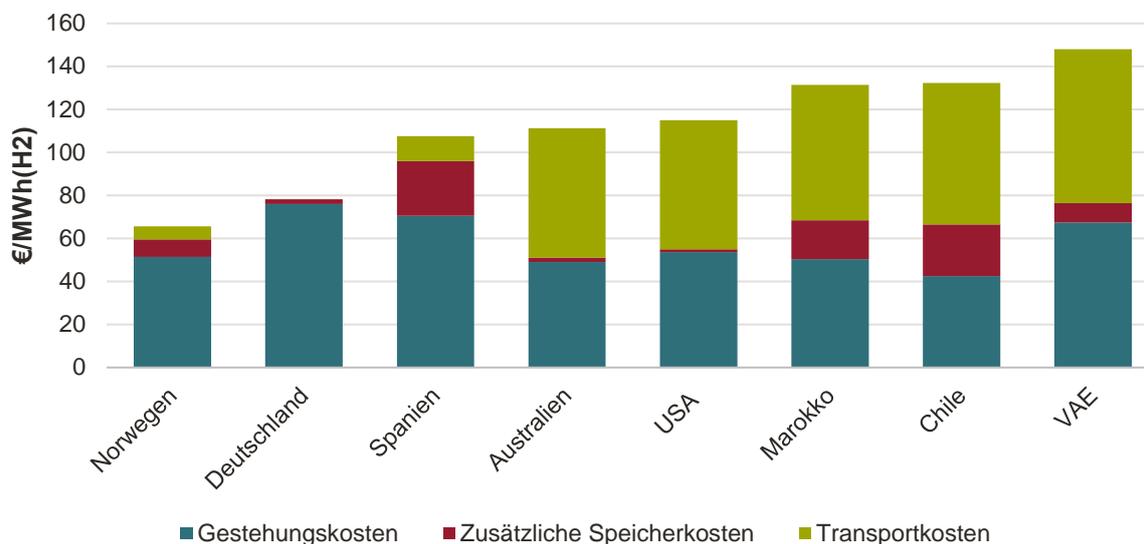
9.3.1 Nationale und internationale Energiekosten

Abbildung 9-9: Gestehungskosten von Strom (Grundlastprodukt), 2030



Quelle: Frontier Economics

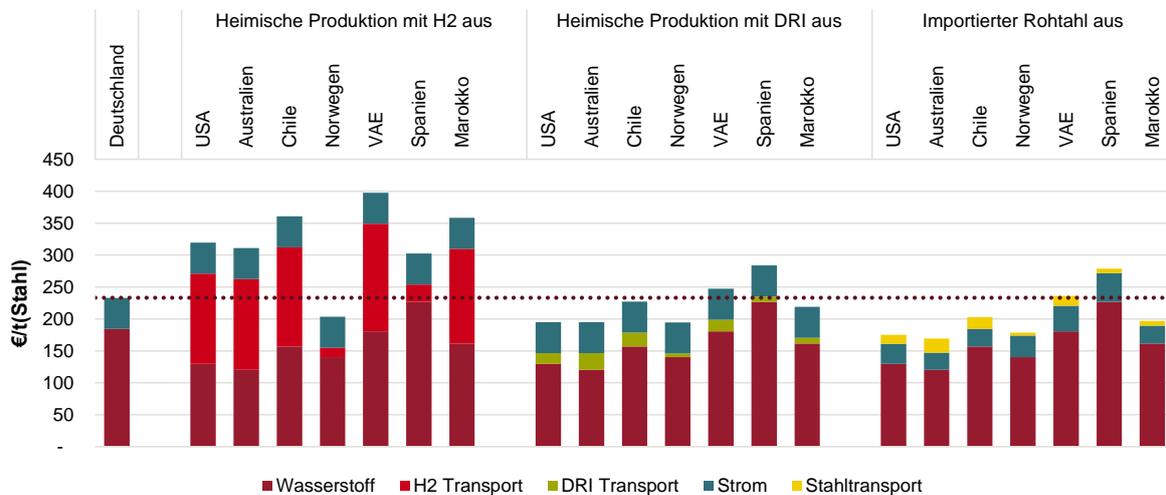
Abbildung 9-10: Kosten für Wasserstoffimporte (Grundlastprodukt) nach Deutschland, 2030



Quelle: Frontier Economics

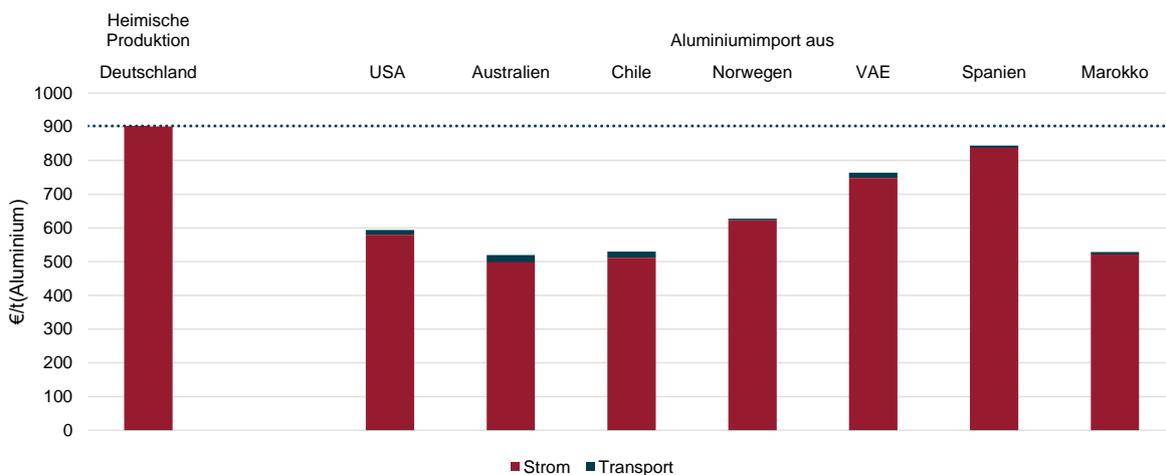
9.3.2 Energie- und Transportkosten energieintensiver Grundstoffe

Abbildung 9-112: Energie- und transportbedingte Kosten für verschiedene Verlagerungsstufen der Rohstahlproduktion im Jahr 2030



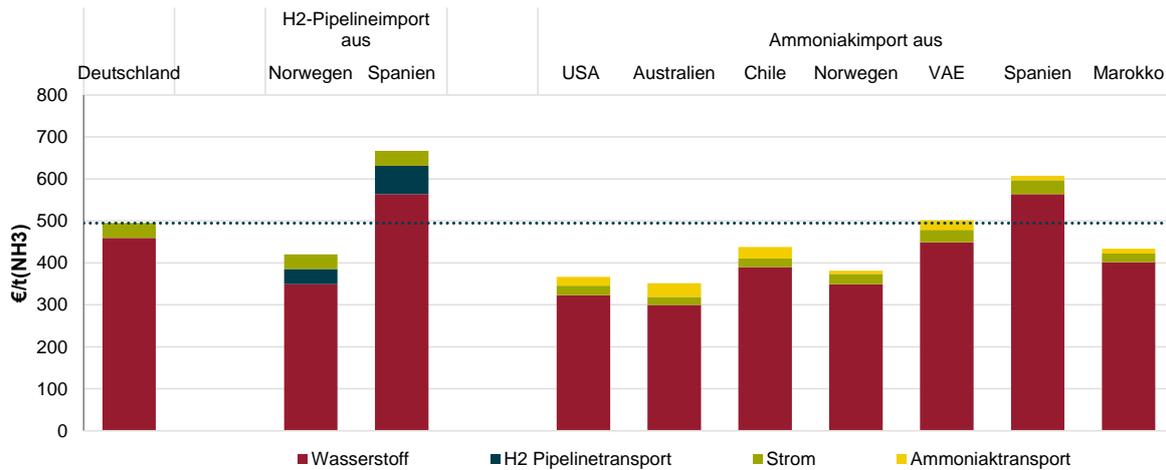
Quelle: Frontier Economics

Abbildung 9-13: Energie- und transportbedingte Kosten für verschiedene Verlagerungsstufen der Aluminiumproduktion im Jahr 2030



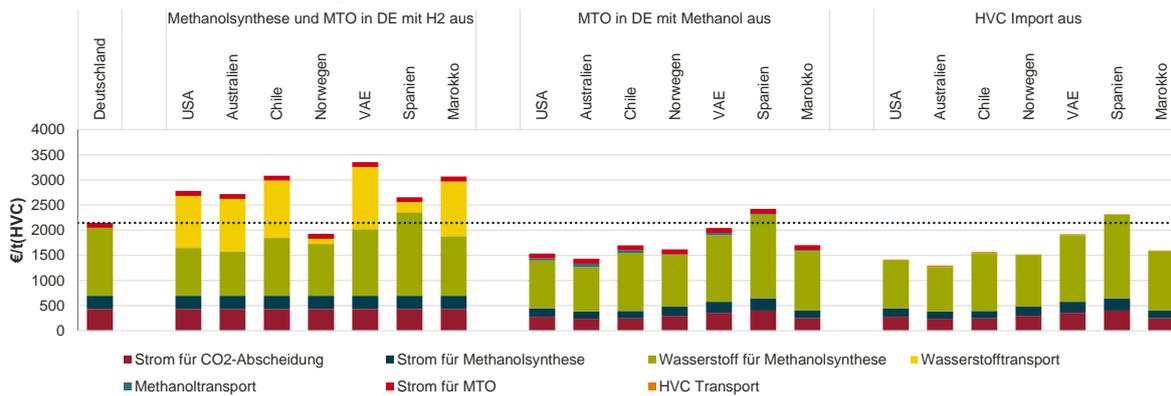
Quelle: Frontier Economics

Abbildung 9-14: Energie- und transportbedingte Kosten für verschiedene Verlagerungsstufen der Ammoniakproduktion im Jahr 2030



Quelle: Frontier Economics

Abbildung 9-15: Energie- und transportbedingte Kosten für verschiedene Verlagerungsstufen der Produktion von High Value Chemicals im Jahr 2030



Quelle: Frontier Economics

9.4 Quellenverzeichnis

Agora Energiewende (2023): Klimaneutrales Stromsystem 2035, <https://www.agora-energie-wende.de/veroeffentlichungen/klimaneutrales-stromsystem-2035/>, abgerufen am 20. August 2023.

Agora Energiewende (2021): Zukünftige Anforderungen an eine energiewendegerechte Netzkostenallokation, https://static.agora-energie-wende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021_07_IND_FlexNetz/A-EW_224_Netzkostenallokation_WEB.pdf, abgerufen am 20. August 2023.

Agora Energiewende, Agora Verkehrswende, Technical University of Denmark und Max-Planck-Institute for Biogeochemistry (2020): Making the most of offshore-wind: Re-evaluating the potential of offshore-wind in the German North Sea.

AIT und Frontier Economics (2022): Importmöglichkeiten für erneuerbaren Wasserstoff. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK).

Aluminium Deutschland (2023): Aluminiumproduktion in Q4 2022 deutlich eingebrochen; <https://www.alu-web.de/aluminiumproduktion-in-q4-2022-deutlich-eingebrochen>, abgerufen am 19. Juni 2023.

Ariadne (2022): Szenarien zur Klimaneutralität: Vergleich der „Big 5“-Studien, <https://ariadneprojekt.de/news/big5-szenarienvergleich/>, abgerufen am 20. Juli 2023.

Ariadne (2021): Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität – Szenarien und Pfade im Modellvergleich, <https://ariadneprojekt.de/publikation/deutschland-auf-dem-weg-zur-klimaneutralitat-2045-szenarienreport/>, abgerufen am 20. Juli 2023.

ASSET (2019): Technology pathways in decarbonisation scenarios, advanced system studies for energy transition, July 2018.

Bazanella, Alexis Michael und Florian Ausfelder (2017): Low carbon energy and feedstock for the European chemical industry, Study commissioned by Cefic. Juni 2017.

BDI (2021): Klimapfade 2.0, <https://bdi.eu/themenfelder/energie-und-klima/klimapfade> sowie <https://www.bcg.com/germany/klimapfade>, abgerufen am 14. Juni 2023.

Bernacki, Dariusz (2021): Revealing the impact of increased tanker size on shipping costs.

Blengini, G. A. et al (2020): Study on the EU's list of critical raw materials, Publications Office of the European Union.

BMWK (2023a): Das Klimaschutzabkommen von Paris, <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Artikel/Industrie/klimaschutz-abkommen-von-paris.html>, abgerufen am 14. Juni 2023.

BMWK (2023b): Wettbewerbsfähige Strompreise für die energieintensiven Unternehmen in Deutschland und Europa sicherstellen, in: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/W/wettbewerbsfaehige-strompreise-fuer-die-energieintensiven-unternehmen-in-deutschland-und-europa-sicherstellen.pdf?__blob=publicationFile&v=6; abgerufen am 24. August 2023.

BMWK (2023c): Förderprogramm Klimaschutzverträge, <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Artikel/Klimaschutz/klimaschutzvertraege.html>, abgerufen am 23. August 2028.

BMWK (2023d): Transformation zu einer klimaneutralen Industrie: Grüne Leitmärkte und Klimaschutzverträge, Gutachten des Wissenschaftlichen Beirats beim Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK), https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Ministerium/Veroeffentlichung-Wissenschaftlicher-Beirat/transformation-zu-einer-klimaneutralen-industrie.pdf?__blob=publicationFile&v=8, abgerufen am 28. August 2023.

Brändle, Gregor, Max Schönfisch, und Simon Schulte (2021): Estimating long-term global supply costs for low-carbon hydrogen, Applied Energy 302 (2021): 117481.

Brunsbüttel Ports (2020): Port charges for the ports of Brunsbüttel, Januar 2020.

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2020): Aluminum – Sustainability Information. Juli 2020.

Bundesregierung (2021): <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/klimaschutzgesetz-2021-1913672>, abgerufen am 13. Juni 2023.

Damodaran, Aswath (2023): Country Default Spreads and Risk Premiums, https://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datafile/ctryprem.html, abgerufen am 13. Januar 2023.

Ember (2023): Breaking borders: The future of Europe’s electricity is in interconnectors, <https://ember-climate.org/insights/research/breaking-borders-europe-electricity-interconnectors/>, abgerufen am 20. August 2023.

Ember (2022): New Generation: Building a clean European electricity system by 2035, <https://ember-climate.org/insights/research/new-generation/>, abgerufen am 20. August 2023.

Energate Messenger (2023): EEX Phelix-DE Futures Base, [EEX Phelix-DE Futures Base - Marktdaten – energate messenger+ \(energate-messenger.de\)](https://energate-messenger.de), abgerufen am 25. August 2023.

Energieintensive (2023): Die energieintensiven Industrien in Deutschland – Impulsgeber für den Industriestandort Deutschland, <https://www.energieintensive.de/publikationen>, abgerufen am 16. Juni 2023.

European Commission, Directorate-General for Energy, Cihlar, J., Villar Lejarreta, A., Wang, A., et al (2021): Hydrogen generation in Europe: Overview of costs and key benefits, Publications Office, 2021.

Europäische Kommission (2023): European Green Deal, https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/climate-action-and-green-deal_de, abgerufen am 12. Juni 2023.

Europäische Kommission (2023b): METIS 3, study S5, The impact of industry transition on a CO2-neutral European energy system, <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/72954c87-327a-11ee-83b8-01aa75ed71a1/language-en>, abgerufen am 28. August 2023.

Eurostat (2022): Figaro-Tabellen, Jährliche EU-Länderübergreifende EU-Input-Output-Tabellen nach Wirtschaftszweigen für das Jahr 2020: [https://ec.europa.eu/eurostat/web/esa-supply-use-input-tables/database#Excel-Format%20\(FIGARO%20Ausgabe%202022\)](https://ec.europa.eu/eurostat/web/esa-supply-use-input-tables/database#Excel-Format%20(FIGARO%20Ausgabe%202022)).

Fraunhofer IWES (2017): Mittel- und langfristige Potenziale von PtL- und H2-Importen aus internationalen EE-Vorzugsregionen. Teilbericht im Rahmen des Projektes: Klimawirksamkeit Elektromobilität - Entwicklungsoptionen des Straßenverkehrs unter Berücksichtigung der Rückkopplung des Energieversorgungssystems in Hinblick auf mittel- und langfristige Klimaziele. August 2017.

GTAI (2023): China will Klimaschutz vorantreiben, <https://www.gtai.de/de/trade/china/specials/china-will-klimaschutz-vorantreiben-829280>, abgerufen am 14. Juni 2023.

Gorre, Jachin, Fabian Ruoss, Hannu Karjunen, Johannes Schaffert, Tero Tynjälä (2020): Cost benefits of optimizing hydrogen storage and methanation capacities for power-to-gas plants in dynamic operation: Applied Energy, Volume 257, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113967>.

Gorre, Jachin, Felix Ortloff, Charlotte van Leeuwen (2019): Production costs for synthetic methane in 2030 and 2050 of an optimized power-to-gas plant with intermediate hydrogen storage, Applied Energy, Volume 253, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113594>.

Guidehouse (2021): European hydrogen backbone - Analysing the future demand supply and transport of hydrogen. A Cooperation with Gas for Climate.

IEA, 2022, World Energy Outlook (2022): IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>.

IRENA (2022): Global hydrogen trade to meet the 1.5°C climate goal: Part II – Technology review of hydrogen carriers, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

iwd (2023): Energieintensive Industrien in Deutschland geschwächt, <https://www.iwd.de/artikel/energieintensive-branchen-in-deutschland-geschwaecht-576449/>, abgerufen am 19. Juni 2023.

IW Köln (2023): MINT-Frühjahrsreport 2023, https://www.nationalesmintforum.de/fileadmin/medi-enablage/user_upload/MINT-Fruehjahrsreport_2023.pdf, abgerufen am 28. August 2023.

IW Köln (2022a): Gasverbrauch- Gemeinsam gegen die Gasmangellage; <https://www.iwkoeln.de/presse/iw-nachrichten/presse/iw-nachrichten/default-22af3a3fe7.html>, abgerufen am 12. Juli 2023.

IW Köln (2022b): Wie stark beeinträchtigen Infrastrukturprobleme die Unternehmen in Deutschland?, in: IW Trends Nr. 4, 22. November 2022.

IW Köln (2020): IW-Analysen 139 – Industriepolitische Herausforderungen: Horizontale Ansätze und neue Aufgaben für den Staat, <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/228911/1/1745151036.pdf>, abgerufen am 21. August 2023.

Jansen, Jannik, Philipp Jäger und Dr. Niels Redeker (2023): For climate, profits, or resilience? Why, where and how the EU should respond to the Inflation Reduction Act, Hertie School Policy Brief, Mai 2023.

Kompetenzzentrum Klimaschutz in Energieintensiven Industrien (2023): Arbeitspapier, <https://www.klimaschutz-industrie.de/>, abgerufen am 13. Juni 2023.

Ludwig Bölkow (2022): Systemtechnik: Emissionsfreie Stahlerzeugung - Metastudie zu den technischen, technologischen und wirtschaftlichen Parametern für die Umstellung der deutschen Stahlindustrie auf eine emissionsarme Stahlproduktion auf Basis von grünem Wasserstoff, Im Auftrag des Deutscher Wasserstoff und Brennstoffzellen-Verband (DWV), gefördert aus Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU – jetzt BMUV), März 2022.

Mandras et al. (2019): The RHOMOLO-IO Modelling Framework: A flexible input-output tool for policy analysis (No. 06/2019), JRC Working Papers on Territorial Modelling and Analysis.

Moritz, Michael, Max Schönfisch, Simon Schulte (2023): Estimating global production and supply costs for green hydrogen and hydrogen-based green energy commodities, International Journal of Hydrogen Energy, Volume 48, Issue 25, 2023, Pages 9139-9154, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.12.046>.

Panteia (2020): Cost figures for freight transport – Final Report, Study commissioned by the Netherlands Institute for Transport Policy Analysis (KiM).

Passarini, F. et al., 2018, Material flow analysis of aluminium, copper, and iron in the EU-28, EUR 29220 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg.

Schmidt, Oliver, Sylvain Melchior, Adam Hawkes, Iain Staffell (2019): Projecting the future levelized cost of electricity storage technologies, Joule 3, 81–100, Januar 16, <https://doi.org/10.1016/j.joule.2018.12.008>.

Schwarz, H.-G. (2004): Aluminum production and energy, 10.1016/B0-12-176480-X/00372-7.

SCI4climate.NRW (2023): Treibhausgasneutralität bis 2045- Ein Szenario aus dem Projekt SCI4climate.NRW, https://www.energy4climate.nrw/fileadmin/Service/Publikationen/Ergebnisse_SCI4climate.NRW/Szenarien/2023/treibhausgasneutralitaet-in-deutschland-bis-2045-szenario-cr-sci4climate.nrw.pdf, abgerufen am 14. Juni 2023.

Statistisches Bundesamt (2023a): Fachserie 18, Reihe 1.4, Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen, Inlandsproduktberechnung, Detaillierte Jahresergebnisse 2022.

Statistisches Bundesamt (2023b): Produktionswert, -menge, -gewicht und Unternehmen der Vierteljährlichen Produktionserhebung im Verarbeitenden Gewerbe: Deutschland, Jahre, Güterverzeichnis (9-Steller).

Statistisches Bundesamt (2023): Fachserie 18 Reihe 2, Input-Output-Rechnung.

Stiftung Familienunternehmen (2023): Länderindex Familienunternehmen, 9. Auflage, https://www.familienunternehmen.de/media/public/pdf/publikationen-studien/studien/Laenderindex-2022_Studie_Stiftung-Familienunternehmen.pdf, abgerufen am 28. August 2023.

Süddeutsche Zeitung (2022): Wie die Großmächte beim Klima zusammenfinden sollen, 11. November 2022, <https://www.sueddeutsche.de/politik/klimaschutz-weltklimakonferenz-usa-1.5694360>, abgerufen am 14. Juni 2023.

TrendsNAfrica (2023): Africa's first 'Industrial Green Steel' production plant in Namibia, <https://trendsnafrica.com/africas-first-industrial-green-steel-production-plant-in-namibia/>, abgerufen am 28. August 2023.

Van Leeuwen, Charlotte, und Machiel Mulder (2018): Power-to-gas in electricity markets dominated by renewables, *Applied Energy* 232 (2018): 258-272.

Vartiainen, Eero & Masson, Gaetan & Moser, David & Roman, Eduardo. (2019): Impact of weighted average cost of capital, capital expenditure, and other parameters on future utility-scale PV levelised cost of electricity, *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*. 28.

VCI (2019): Roadmap Chemie 2050, <https://www.vci.de/services/publikationen/broschueren-faltblaetter/vci-dechema-futurecamp-studie-roadmap-2050-treibhausgasneutralitaet-chemieindustrie-deutschland-langfassung.jsp>, abgerufen am 15. Juni 2023.

Verpoort, Philipp C., Lukas Gast, Anke Hofmann, und Falko Ueckerdt (2023): Estimating the renewables pull in future global green value chains.

Wirtschaftsdienst EU (2022): Gas- und Strompreise, <https://www.wirtschaftsdienst.eu/inhalt/jahr/2022/heft/11/beitrag/gas-und-strompreise.html>, abgerufen am 19. Juni 2023.

Worldbank (2023): Connecting to compete: Trade logistics in the global economy, https://lpi.worldbank.org/sites/default/files/2023-04/LPI_2023_report.pdf, abgerufen am 21. August 2023.

Wuppertal Institut (2019): Klimaneutrale Industrie: Ausführliche Darstellung der Schlüsseltechnologien für die Branchen Stahl, Chemie und Zement, Analyse im Auftrag von Agora Energiewende, Berlin, November 2019.

Zachmann, G. und C. Heussaff (2023): Phased European Union electricity market reform, Policy Brief 06/2023, Bruegel, https://www.bruegel.org/sites/default/files/2023-03/PB%2006%202023_4.pdf, abgerufen am 28. August 2023.

