



AMMONIAKPRODUKTION

Orientierungsrahmen für Unternehmensdialoge



Inhalt

PATHWAYS TO PARIS	3
VORWORT: GEMEINSAM FÜR DEN KLIMASCHUTZ	4
DIE AUSGANGSLAGE FÜR KLIMASCHUTZ IN DER AMMONIAKHERSTELLUNG	6
DIE ECKPFEILER DER TRANSFORMATION	8
Dekarbonisierung	12
Elektrifizierung und Wechsel auf Grünstrom	12
Übergangslösung: Carbon Capture and Storage and Usage	13
Energieeffizienzmaßnahmen	14
Defossilisierung	15
Bioenergie	15
Grüner Wasserstoff	15
AUSBLICK UND IMPULSE FÜR DEN DIALOG	16
LITERATURVERZEICHNIS	17

Pathways to Paris

Das Projekt hat zum Ziel, die Transformation der deutschen Wirtschaft hin zur Klimaneutralität in Deutschland zu unterstützen und zu beschleunigen. Dafür wurden verschiedene Werkzeuge erarbeitet, die helfen, die notwendigen Veränderungsbedarfe für die Paris-kompatible¹ Emissionsreduktion in verschiedenen Sektoren und Subsektoren zu verstehen und strategisch umzusetzen. Auf dieser Basis können Unternehmen und Finanzmarktakteure gemeinsam Transformationsstrategien und -maßnahmen diskutieren, Investitionsbedarfe identifizieren und Finanzierungslösungen erarbeiten. Zudem wird es den Finanzmarktakteuren ermöglicht, transformationsbasierte Risiken und Chancen der einzelnen Sektoren besser zu verstehen und in ihren Risikosystemen zu berücksichtigen.

Diese drei Instrumente sind:

- 1** Mit dem webbasierten [Transformationstool](#) können Unternehmen aus den abgedeckten zehn Sektoren in drei Schritten ihre eigenen Pläne zur Emissionsreduktion konkretisieren.
- 2** Eine [Bewertungsmatrix](#) bestehend aus sektorübergreifenden und sektorspezifischen Indikatoren, hilft Finanzinstituten, diese Konkretisierungen und ihre Fortschritte zu bewerten.
- 3** Ergänzende [sektorspezifische Orientierungsrahmen](#) erläutern die zentralen Maßnahmen, die Unternehmen auf dem Weg zur Treibhausgasneutralität umsetzen müssen, und liefern den Finanzmarktakteuren eine fundierte Basis für lösungsorientierte Dialoge mit den Unternehmen.



Bei der **Betrachtung des Chemiesektors** lag im Rahmen des Projektes der Fokus auf der Produktion von Kunststoff und Ammoniak. Der vorliegende Orientierungsrahmen widmet sich der Ammoniakproduktion. Berücksichtigt werden insbesondere die THG-Emissionen von Anlagen zur Herstellung von Ammoniak über Dampfreformierung und partielle Oxidation.

¹ Paris-kompatible Emissionsreduktionspfade sind Treibhausgasreduktionspläne für Unternehmen, die im Einklang mit den Pariser Klimazielen stehen. Sie sind also an einem Ambitionsniveau ausgerichtet, das die Begrenzung des Anstiegs der globalen Durchschnittstemperatur auf deutlich unter 2 °C, wenn möglich auf 1,5 °C relativ zum vorindustriellen Niveau ermöglicht. Wichtig ist zu beachten, dass das Pariser Klimaabkommen neben den Temperaturlimits noch weitere Ziele festlegt: Die Anpassungsfähigkeit an die globale Erwärmung soll erhöht und die globalen Finanzströme sollen so gelenkt werden, dass sie mit den Zielen des Abkommens vereinbar sind. Da der Fokus dieses Leitfadens auf der Treibhausgasreduktion liegt, wird hier Paris-Kompatibilität im Sinne von „im Einklang mit dem Temperaturlimit des Pariser Abkommens“ verwendet.

Vorwort: Gemeinsam für den Klimaschutz



Vanessa Bolmer, Senior Policy Advisor, Sustainable Finance, WWF Deutschland

Beim Klimaschutz geht es längst nicht mehr um das Ob, sondern um das Wie. Viele Unternehmen, ob klein, mittel oder groß, haben bereits Transformationsmaßnahmen eingeleitet. Sie setzen sich mit ihren Prozessen und Geschäftsmodellen auseinander, testen den Einsatz nachwachsender Rohstoffe oder setzen sich für den Aufbau entscheidender Infrastruktur ein. Altbekanntes kritisch zu hinterfragen, birgt Chancen für das Klima. Um die Wettbewerbs- und Zukunftsfähigkeit der deutschen Wirtschaft zu sichern, müssen diese Prozesse beschleunigt und tatsächlich umgesetzt werden. Dafür braucht es eine mutige, zukunftsorientierte Politik, die sich ohne weitere Umschweife für den Klimaschutz und die notwendige Transformation entscheidet und einen verlässlichen Rahmen für die Wirtschaftsakteure setzt. Und es braucht natürlich entsprechendes Kapital.



Dr. Nicole Röttmer, Global Lead Climate Clients & Industries, PWC Deutschland

Die Liquidität ist vorhanden. Doch wie finden die nach zukunftsfähigen Investitionen suchenden Gelder des privaten Finanzsystems den Weg zu gesellschaftlich sinnvollen und zukunftsweisenden Projekten? Eine zentrale Voraussetzung ist, dass entsprechende Investitionen ein wettbewerbsfähiges Risiko-Rendite-Profil haben müssen – auch und gerade im Vergleich zu nicht nachhaltigen, z. B. fossil-basierten Alternativen. Drei Lösungsfelder zeichnen sich ab, die Kapitalgeber:innen auf der Anlage- wie Kreditseite unterstützen, ihre beschleunigende Wirkung auf die Transformation zu entfalten:

Erstens, neben einem regulatorischen Rahmen, der strukturelle Barrieren beseitigt und transformationspositive Investitionen fördert, müssen zweitens, Kenntnisse über die Herausforderungen in den einzelnen Industrien und systematisches, zielorientiertes Engagement in den Fokus rücken. Drittens müssen die klassischen finanzwirtschaftlichen Kennzahlen ergänzt werden um zukunftsgerichtete sektorübergreifende und sektorspezifische Indikatoren, wenn z. B. das Risiko von Stranded Assets, Wertminderung der Vermögensgegenstände oder Kreditausfälle durch Transformationsprozesse erfasst und minimiert werden soll.

Doch noch steckt eine Bewertungspraxis unter Einbeziehung von Dekarbonisierungsszenarien und passgenauen Transformationsbedarfen in den Kinderschuhen. Der Fortschritt unternehmerischer Transformation ist erst über intelligente Indikatoren bewertbar, die nicht nur den Status quo, sondern zusätzlich Elemente wie Klimaziele sowie bewertete Transformations- und Investitionspläne beinhalten.

Ebenfalls einfließen müssen die individuelle strukturelle Aufstellung von Unternehmen sowie die konkrete Einschätzung technischer Maßnahmen des jeweiligen Sektors. Zukünftig wird es über den reinen THG-Fußabdruck des eigenen Portfolios weit hinausgehen müssen, um einen relevanten Beitrag zu einer realen Reduktion der Treibhausgase in der Wirtschaft zu leisten. Dies wird von regulatorischen Entwicklungen national wie international begünstigt. Von Unternehmen wird u. a. eine umfassende Offenlegung von Nachhaltigkeitsdaten verlangt (Europäische Kommission, 2021). Gleichzeitig werden Finanzakteure verpflichtet, Auskünfte über die Transitionsrisiken und Nachhaltigkeitsauswirkungen ihrer Investments zu geben (ARUG II, 2019; Richtlinie 2014/65/EU; Verordnung (EU) 2019/2088; Verordnung (EU) 2020/852; GFANZ, 2022).

Im Rahmen von [Pathways to Paris](#) entwickelten WWF Deutschland und PwC Deutschland im Sparring mit 90 Vertreter:innen der Industrie und Finanzwirtschaft drei Instrumente, die beide Akteursgruppen dabei unterstützen sollen, den Wandel zur treibhausgasarmen Wirtschaft im Rahmen ihrer Anlage- und Finanzierungsentscheidungen aktiv zu begleiten. Sie sollen als Grundlage für Dialoge dienen, sodass einschätzbar wird, ob Unternehmen auf den strukturellen Wandel zur Klimaneutralität der Wirtschaft vorbereitet sind. Gefördert wurde das Projekt vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK).

Der Überfall Russlands auf die Ukraine und die gesamtwirtschaftlichen Effekte, wie Inflationsverschiebungen, Preisentwicklungen, Rohstoffzugänge, sowie die bereits sicht- und spürbaren Klimawandelauswirkungen, wie Hitzewellen und Dürren, konnten als kurzfristige Sondereffekte nicht explizit berücksichtigt werden. Nach unserer Einschätzung wirken diese Faktoren verstärkend. Effizienterer Energieverbrauch, Reduktion CO₂-intensiver Energieträger, reduzierte Gasnutzung, Elektrifizierung, Dekarbonisierung von Industrieprozessen – all diese Maßnahmen stünden auch ohne russischen Angriffskrieg auf der Tagesordnung. Gerade die Gasknappheit und die aktuellen Sparmaßnahmen zeigen, welche Reduktionspotenziale bislang ungenutzt geblieben sind.



Wir hoffen, dass der vorliegende Orientierungsrahmen² Ihnen hilft, die Anforderungen an die Transformation im sektorspezifischen Kontext nachzuvollziehen und so in einen systematischen und zielorientierten Dialog mit Unternehmen treten zu können. Wir freuen uns auf Ihr Feedback und Ihre Erfahrungsberichte!

2 Sofern nicht anders angegeben, beruhen sämtliche Angaben, Annahmen, Entwicklungen oder Ableitungen in diesem Dokument auf dem von Agora Energiewende beauftragten [Dekarbonisierungsszenario KN 2045](#) (Prognos, 2021). Da es sich hierbei um eines der ambitioniertesten Szenarien für Deutschland handelt, mit einer umfassenden Sektorabdeckung und Dokumentation, wurde es für die Arbeit von Pathways to Paris als Referenz für Paris-kompatible Entwicklungen in Deutschland ausgewählt. Alle Annahmen, die dem Projekt „Pathways to Paris“ zugrunde liegen, können online abgerufen werden. https://pathwaystoparis.com/wp-content/uploads/2022/05/PtP_Annahmen_Entwicklung_Brennstoffkosten.pdf

Die Ausgangslage für Klimaschutz in der Ammoniakherstellung

Ammoniak (NH_3) ist eine Verbindung von Stickstoff und Wasserstoff. Es ist ein farbloses, stechend riechendes Gas und eine der am häufigsten produzierten Chemikalien. Hauptsächlich wird es für die Produktion von Düngemitteln eingesetzt. Es dient zudem als Grundstoff für Chemikalien wie Salpetersäure oder Natriumkarbonat, und findet für zahlreiche Zwecke Anwendung, wie in der Produktion von Arzneimitteln, der Kältetechnik oder der Rauchgasreinigung. Die Ammoniakherstellung wird der besonders energie- und emissionsintensiven Grundstoffchemie zugeordnet. Sie ist für ca. 2/3 des Gesamtenergieverbrauchs der Chemieindustrie verantwortlich. Die Herstellung von Ammoniak basiert fast ausschließlich auf Erdgas als Ausgangsstoff.

Im Jahr 2020 machten die Industrieemissionen 24 % der gesamten Treibhausgasemissionen in Deutschland aus (Umweltbundesamt, 2022). Von diesen 24 % entfielen 23 % auf den Chemiesektor (absolut 38,9 MtCO₂e) (VCI, 2022). Diese verteilen sich neben der Ammoniakproduktion auf High-Value-Chemicals (HVC) und weitere Chemikalien, wie Methanol, Chlor und die weitere nachgelagerte Verarbeitung. Durch den jahrelang niedrigen Ölpreis und fehlende Anreize, Alternativen zu finden, sind die THG-Emissionen im Chemiesektor in den letzten 20 Jahren konstant geblieben. Nur während der Weltwirtschaftskrise 2008 gab es durch die gesamtwirtschaftlichen Entwicklungen, wie Nachfrage- und Produktionsabfall, einen deutlichen Rückgang.

Die industrielle Herstellung von Ammoniak erfolgt seit den 1930ern grundsätzlich mit dem Haber-Bosch-Verfahren. Kurz gefasst werden Wasserstoff und Stickstoff bei hohen Temperaturen und starkem Druck zu Ammoniak umgesetzt. Es entstehen hohe prozess- sowie energiebedingte THG-Emissionen (**Abbildung 1**). Allein während der Wasserstoffproduktion, die heute vor allem durch Dampfreformierung geschieht, werden 1,3 Tonnen CO₂ pro Tonne Ammoniak freigesetzt. Insgesamt bezieht die Ammoniakproduktion ca. 50 % des in Deutschland produzierten Wasserstoffs und ist in der deutschen Chemieindustrie die wichtigste Abnehmerin.

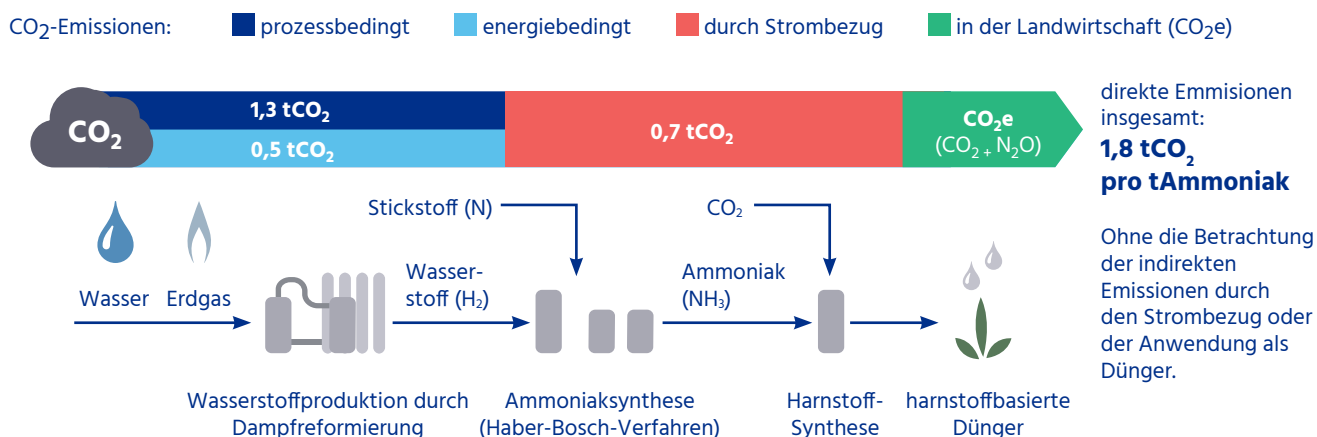


Abbildung 1: THG-Emissionen in der Ammoniakherstellung, Quelle: Agora Energiewende und Wuppertal Institut (2019)

Schlüsselmaßnahmen³ für die Dekarbonisierung werden die Verwendung von Grünstrom im Prozess sowie die Umstellung auf grünen Wasserstoff sein. Begleitet werden muss dieser Prozess durch den bereits stark diskutierten Ausbau der erneuerbaren Energien.



Die EU-Taxonomie für ökologisch nachhaltige Wirtschaftsaktivitäten definiert für Ammoniak selbst keine Schwellenwerte. Orientierung bietet stattdessen die maximale Emissionsintensität für Wasserstoff, der als Grundlage für die Ammoniakherstellung dient. Der Schwellenwert liegt bei größer 3 tCO₂e Life Cycle Emissions⁴ pro Tonne Wasserstoff (Europäische Kommission, 2021b).

Das prognostizierte **Investitionsvolumen** für Klimaschutzmaßnahmen beläuft sich bis 2050 in der deutschen Industrie auf rund 619 Mrd. Euro. Mit einer Summe von 135 Mrd. Euro entfällt ein erheblicher Teil auf den Chemiesektor (Prognos, 2021). Allein BASF plant, bis 2030 bis zu 4 Mrd. Euro in treibhausgasreduzierende Maßnahmen zu investieren (BASF, 2022). Der Ausbau der Infrastruktur, die Umstellung bzw. der Neubau teils großer Anlagen ist verbunden mit langen Investitionszyklen und Laufzeiten.

3 Dieser Leitfaden diskutiert die Anforderungen der Transformation in der Ammoniakproduktion. Dennoch wird immer wieder auf den Kontext des gesamten Chemiesektors oder der Grundstoffchemie bzw. der HVC-Herstellung verwiesen, da zum Teil nur auf dieser Ebene aussagekräftige Informationen zu Verfügung stehen. Fast alle aufgeführten Maßnahmen sind auf andere HVCs übertragbar.

4 Life Cycle Emissions: Emissionen über den gesamten Lebensweg des Produkts. Die Systemgrenzen bei der Analyse der Lebenszyklusemissionen von Wasserstoff werden in Artikel 28(5) der Richtlinie (EU) 2018/2001 festgelegt.

Die Eckpfeiler der Transformation

Das Dekarbonisierungsszenario⁵ „Klimaneutralität in Deutschland 2045“, erstellt für Agora Energiewende (im Folgenden KN 2045), modelliert für die Ammoniakproduktion bis 2045 eine Reduktion der THG-Emissionen um –100 %. Bis 2030 wird eine Emissionsminderung um 68 % erwartet, 2045 wird Treibhausgasneutralität erlangt (**Abbildung 2**). Parallel dazu verläuft der Reduktionspfad der Emissionsintensität etwas kontinuierlicher, sodass bis 2030 im Vergleich zu 2018 eine Reduzierung um –49 % erfolgt und bis 2045 die Netto-Null erreicht wird (**Abbildung 3**). Die Entwicklungen beruhen auf dem Rückgang der Produktionsmengen sowie auf der fortschreitenden Dekarbonisierung des Herstellungsprozesses. Trotz aller Bemühungen wird es in Deutschland über alle Sektoren hinweg 2045 Residualemissionen geben, vor allem im Landwirtschaftssektor und prozessbedingt in der Industrie. Um Klimaneutralität im deutschen Binnenland zu erreichen, müssen diese Restemissionen durch negative Emissionen⁶ ausgeglichen werden. Als Kohlenstoffsenke kommen nicht viele Sektoren infrage, die Ammoniakproduktion gehört unter bestimmten Voraussetzungen jedoch dazu.

▼ THG-Emissionen (MtCO₂e)

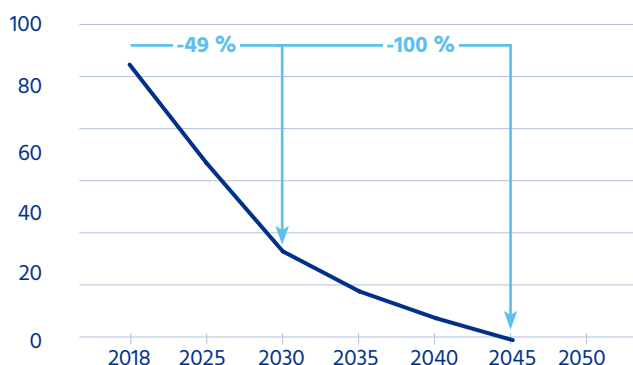


Abbildung 2: Reduzierung der absoluten THG-Emissionen in der Ammoniakherstellung nach KN 2045

▼ THG-Emissionsintensität (tCO₂e/tAmmoniak)

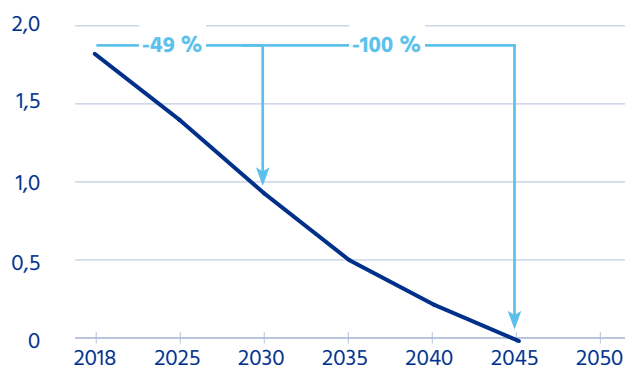


Abbildung 3: Reduzierung der THG-Intensität nach KN 2045

5 Die Ergebnisse der Klimaszenarien und die ihnen zugrunde liegenden Annahmen bilden eine wichtige Grundlage für die Ableitung von Maßnahmenplänen mit Blick auf die Kalibrierung zwischen Kosten, Nutzen und Wirksamkeit in Bezug auf die Emissionsreduzierung. Wichtige Stellschrauben in der Umsetzungsplanung von Dekarbonisierungsstrategien hängen von einer Reihe makroökonomischer und energiespezifischer Annahmen ab. Auch Preisentwicklungen spielen zur Abwägung und Beurteilung von Dekarbonisierungsmaßnahmen eine wichtige Rolle.

6 Negativemissionen ist ein vom Weltklimarat geprägter Begriff, der Aktivitäten beschreibt, die Treibhausgasemissionen aus der Atmosphäre binden. Dies sind zum Beispiel Aufforstung, Humusaufbau und die technische Fixierung und Speicherung von Kohlenstoff. Da fraglich ist, ob umfangreiche globale Negativemissionen erreicht werden können (Anderson und Peters, 2016), sind Szenarien, die sie in einem geringeren Ausmaß veranschlagen, als belastbarer anzusehen (Fuss et al., 2014).

KN 2045 kommt für die weitere Entwicklung der Ammoniakherstellung zu fünf wesentlichen Schlüssen:

- 1** Die Herstellungsmenge von Ammoniak sinkt in Deutschland bis 2030 um 37 % und bis 2045 um 44 % im Vergleich zum Basisjahr 2018.⁷ Eine verstärkt regenerative Landwirtschaft wird weniger chemisch synthetische Düngemittel einsetzen und biologische Alternativen bevorzugen. Unterstützt wird diese Entwicklung durch Vorgaben zur Ammoniakminderung in einschlägigen Düngeverordnungen. Der Markt für Düngemittel und somit die Produktion der Grundstoffe wie Ammoniak und Salpetersäure geht zurück.
- 2** Die Produktionsstätten von Ammoniak werden sich möglicherweise aus Mitteleuropa weg verlagern. Die Produktion von grünem Wasserstoff benötigt große Mengen grünen Stroms und wird teilweise im Ausland aufgebaut. Ammoniak besitzt Eigenschaften, die es als Träger für den Transport von Wasserstoff attraktiv machen.⁸

Verschiebungen auf dem Weltmarkt der Grundstoffchemikalien

Diese Verlagerung findet bereits statt, da der Sektor durch die Globalisierung unter starkem Kosten- bzw. Preisdruck steht. Schon heute werden Ersatz- oder Erweiterungsinvestitionen im Ausland getätigt, die Zugang zu Hafenstandorten mit direktem Anschluss an den Weltmarkt garantieren.

KN 2045 sieht vor, dass deutsche Hersteller Weltmarktanteile insbesondere an die Standorte Rotterdam und Antwerpen verlieren werden. Die beiden Hafenstädte werden ihre Infrastruktur leichter für den Bezug von importierten synthetischen Rohstoffen umrüsten können. Die bereits bestehenden landesübergreifenden Verbundproduktionen mit Rohstoffbezug aus Nordwesteuropa, an denen deutsche Unternehmen maßgeblich beteiligt sind, werden weiterhin bestehen. Der hohe Spezialisierungsgrad auf insbesondere hochwertige Produkte in den deutschen Automobil- und Baubranchen sollte den Erhalt der deutschen Binnenstandorte sichern können.

- 3** Das Haber-Bosch-Verfahren ist ein bewährter und weitverbreiteter Prozess. Das energieintensive Verfahren kann durch den Bezug von Grünstrom recht zügig dekarbonisiert werden.

7 Neue Märkte für Ammoniak, z. B. als Schiffstreibstoff oder im Ausland im Stromsektor, werden in KN 2045 nicht berücksichtigt. Andere Szenarien, wie die der Internationalen Energieagentur (IEA), diskutieren die steigende Nachfrage nach Ammoniak zum Beispiel im Schiffsverkehr. Das Below 2 °C Szenario der IEA nimmt an, dass die Ammoniakherstellung in den OECD-Staaten in etwa gleich bleibt bis 2050 (IEA, 2017). Weltweit sieht die IEA in dem Szenario ein starkes Wachstum in der Ammoniakherstellung um 20 % bis 2050 (IEA, 2020).

8 Auch wenn es auf den ersten Blick logischer wäre, den produzierten Wasserstoff direkt einzusetzen, wird diskutiert, Ammoniak als Transportträger für Wasserstoff zu nutzen. Ammoniak ist weniger leicht entflammbar, weist eine geringere Explosionsgefahr auf und verfügt über eine höhere Energiedichte bei Umgebungstemperatur. Es stellt insgesamt geringere Anforderungen an Transportwege, wie Pipelines oder (Schiffs-)Tanks.

4

Der Verwendung von treibhausgasfrei (oder mittelfristig treibhausgasarm) erzeugtem Wasserstoff kommt eine zentrale Rolle zu. Die Dampfreformierung mit Kohlenstoffabscheidung sollte alsbald durch die Wasserelektrolyse mit erneuerbarem Strom abgelöst werden.

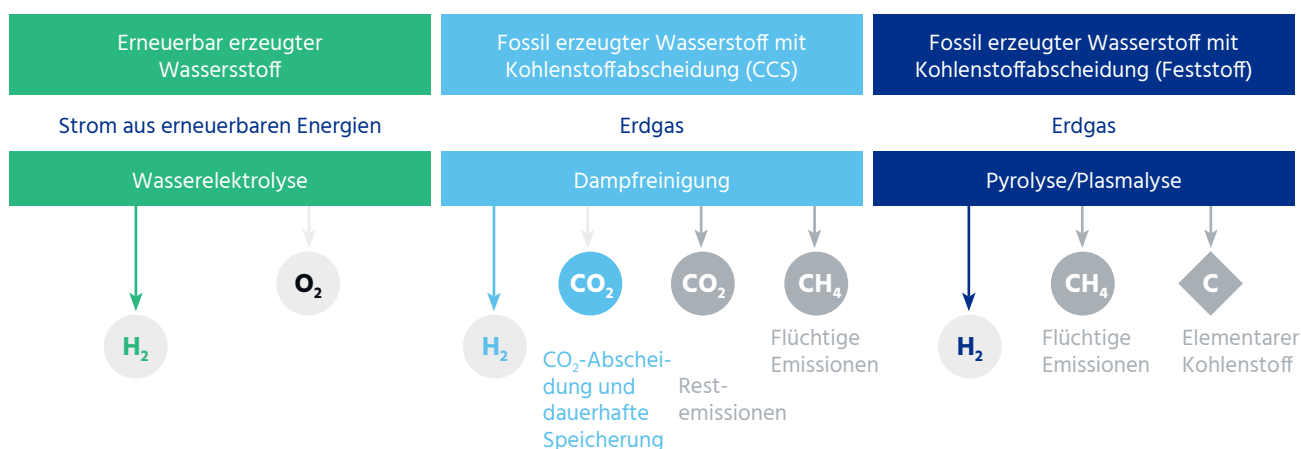


Abbildung 4: Treibhausgasfreie und -arme Verfahren zur Gewinnung von Wasserstoff nach KN 2045^{9,10}

5

Als Übergangslösung sollen die verbleibenden Prozessemissionen vorerst durch den Einsatz von (Bioenergy and) Carbon Capture and Storage sowie Direct Air Capture and Carbon Storage (BECCS, DACCS)¹¹ aufgefangen werden.

9 Alle erdgasbasierten Wasserstoffrouten haben direkte Restemissionen und indirekte Emissionen durch die Vorkettenemissionen des Erdgases.

10 Spaltung des CH₄-Moleküls thermisch (Pyrolyse) oder elektromagnetisch (Plasmalyse). Hinweis: Der auf diesen drei unterschiedlichen Wegen erzeugte Wasserstoff wird auch als – von links nach rechts – „grüner“, „blauer“ und „türkiser“ Wasserstoff bezeichnet.

11 Für Bioenergie mit CO₂-Abscheidung und -Speicherung (Bioenergy with Carbon Capture and Storage, BECCS) werden zur CO₂-Bindung Pflanzen angebaut, geerntet und anschließend in Anlagen verbrannt, wobei das dabei anfallende CO₂ entzogen und unterirdisch verpresst wird. Bei der direkten CO₂-Abscheidung- und -Speicherung (Direct Air Capture and Carbon Storage, DACCS) wird CO₂ direkt aus der Luft entnommen und dann unterirdisch verpresst.

Exkurs: Ammoniakherstellung

Als Ausgangsstoffe für die industrielle Herstellung von Ammoniak werden meist Erdgas (Methan) oder Naphtha genutzt, es kann jedoch auch schweres Erdöl verwendet werden. An den ersten Produktionsschritt, die Reinigung oder „Entschwefelung“, schließt sich die notwendige Gleichgewichtsreaktion von Wasserstoff mit Stickstoff an. Sie geschieht in einem von vier möglichen technischen Verfahren: Dampfreformierung, partielle Oxidation, Elektrolyse von Wasser oder Wassergaserzeugung. Die ersten beiden sind die derzeit häufigsten Verfahren. Der hohe Druck und die hohen Temperaturen, die für eine effiziente Gewinnung des Synthesegases in diesen Verfahren notwendig sind, sind die zu betrachtenden Treiber der THG-Emissionen im Herstellungsprozess von Ammoniak. Im Sinne einer Paris-kompatiblen Transformation sollte die Industrie künftig verstärkt Elektrolyse für die Wasserstoffproduktion einsetzen, bei der Wasserstoff aus Wasser gewonnen und kein CO₂ in die Atmosphäre abgegeben wird.

1 Dampfreformierung

Über die Dampfreformierung wird derzeit der Großteil der Wasserstoffproduktion in Deutschland gestemmt. Für die Dampfreformierung (oder auch Steam Reforming) werden die Synthesegase Stickstoff (N₂) aus der Luft und Wasserstoff (H₂), i. d. R. aus Methan (CH₄), und Wasserdampf benötigt. Der Prozess für die Umwandlung der Gasgemische in Kohlendioxid (CO₂) und Wasserstoff sowie die spätere Trennung erfordert Temperaturen von 700–950 °C und einen Prozessdruck von bis zu 50 bar. Die Dampfreformierung benötigt dadurch eine dauerhaft hohe Energiezufuhr, die zum Großteil noch aus fossilen Energieträgern gewonnen wird. CO₂ ist ein Abfallprodukt der Dampfreformierung, das in die Atmosphäre gelangt. Die Dampfreformierung ist derzeit die wirtschaftlich günstigste Option. Die relative Ausbeute ist im Vergleich zur partiellen Oxidation (siehe unten) höher. Erdgas, das einen hohen Anteil Methan enthält, ist in der Dampfreformierung der häufigste Ausgangsstoff. Andere leichte Kohlenwasserstoffe (z. B. Flüssiggas, Naphtha) spielen kaum eine Rolle (Navigant, 2020).

2 Partielle Oxidation

Das zweite Verfahren, die partielle Oxidation, gewinnt den Wasserstoff mithilfe von reinem Sauerstoff bzw. Luft aus längeren Kohlenwasserstoffen (wie Altöle, schweres Heizöl, Raffinerienebenprodukte oder auch Kohle). Die Wasserstoffausbeute fällt jedoch geringer aus. Abhängig vom Schwefelanteil im fossilen Rohstoff findet die Oxidation mit einem Katalysator bei Reaktionstemperaturen von 800–900 °C oder ohne Katalysator bei 1300–1500 °C (Universität Augsburg, n.d.).

Die anschließend stattfindende Ammoniaksynthese erfolgt seit den 1930ern durch das Haber-Bosch-Verfahren in einer meist elektrisch betriebenen Luftzerlegungsanlage. Erst wird aus der Luft Stickstoff abgeschieden, dann reagiert dieser mit dem aus einem der vorgenannten Verfahren gewonnenen Wasserstoff unter Druck von etwa 300 bar bei Temperaturen von 350–550 °C an einem Eisenkatalysator zu Ammoniak.

Die Schritte der Transformation im Ammoniaksektor

Die industrielle Ammoniakproduktion ist äußerst energieintensiv. Eine erfolgreiche Transformation des Sektors stellt Anforderungen insbesondere an zwei Handlungsfelder¹²:

- » **Dekarbonisierung**, insbesondere Elektrifizierung der Prozesse und Einsatz von Grünstrom
- » **Defossilisierung**, insbesondere Einsatz von grünem Wasserstoff



Im Unternehmensdialog bietet es sich an, zu adressieren, ob ein möglichst hoher Anteil der Produktion strombasiert erfolgt, und der Anteil grünen Stroms am Gesamtverbrauch sukzessive steigt.

Dekarbonisierung

Die derzeit meistgenutzten Verfahren im Herstellungsprozess, die Dampfreformierung und die partielle Oxidation, arbeiten mit hohem Druck und hohen Temperaturen. Maßnahmen zur Reduzierung der THG-Emissionen fokussieren sich daher auf die Herkunft der eingesetzten Energie sowie die Substitution der fossilen Rohstoffe durch regenerative Quellen.

Elektrifizierung und Wechsel auf Grünstrom

Die Dampfreformierung wird derzeit überwiegend mit Erdgas als Brennstoff betrieben. Das Erdgas kann übergangsweise vollständig durch Elektrizität substituiert werden. Soweit technisch möglich sollten bis 2045 alle Dampfreformierungsanlagen elektrifiziert sein.



Der eingesetzte Strom sollte aus erneuerbaren Quellen stammen bzw. sollte der Anteil des grünen Stroms sukzessive steigen. Verglichen mit heutigen durchschnittlichen Anlagen zur Dampfreformierung entsteht dadurch ein Reduktionspotenzial von 34, (IEA, 2017; Deutsche Energie-Agentur, 2018).

Durch die Umstellung auf Strom sinken die operativen Kosten. Nennenswerte Investitionskosten entstehen vor allem dann, wenn der Grünstrom nicht nur zugekauft wird, sondern eigene Photovoltaik- oder Windparks errichtet werden. Sobald wasserstoffbasierte Anlagen realisierbar sind, fällt diese Maßnahme weg. Neue Anlagen sollten dann ausschließlich auf grünem Wasserstoff basieren, um Lock-in-Effekten vorzubeugen.

12 Die im Projekt Pathways to Paris identifizierten Maßnahmen wurden in sektorspezifischen Arbeitsgruppen mit Akteuren aus der Industrie, Finanzwirtschaft und Wissenschaft diskutiert. Mithilfe sogenannter Vermeidungskostenkurven (MACCs) können im Transformations-tool für jede Technologie die Maßnahmen mit den geringsten Kosten und dem größten Potenzial zur Vermeidung von THG-Emissionen betrachtet werden. Neben KN 2045 basieren die Ergebnisse u. a. auf: Umweltbundesamt (2019), Europäische Kommission (2008), Fleiter et al. (2013).

Übergangslösung: Carbon Capture and Storage and Usage

Dekarbonisierungsszenarien setzen für eine zusätzliche Reduzierung der THG-Emissionen auch auf den Einsatz von CCS und CCU¹³, die flächendeckend spätestens ab 2030 verfügbar sein werden. Es ist stets abzuwägen, inwiefern ihr Einsatz zu einem Lock-in-Effekt emissionsintensiver Technologien beitragen würde. Der Einsatz darf die Lebensdauer der THG-intensiven Anlagen nicht künstlich verlängern, sondern sollte Teil eines umfänglichen Transformationsplanes sein.



Als Option für den Ammoniaksektor dient CCS/CCU lediglich als Übergangslösung bis grüner Wasserstoff ausreichend zur Verfügung steht, vor allem für Standorte, die nicht schnell an die Wasserstoffinfrastruktur angeschlossen werden können. Sobald dies der Fall ist, wird der Dampfreformer zur Produktion des (blauen) Wasserstoffes nicht mehr benötigt und die Luftzerlegungsanlage kann direkt mit grünem Wasserstoff gespeist werden.

Grundsätzlich können ab 2025 für die Produktion des Wasserstoffes CC-Technologien zum Einsatz kommen. Sie können mit überschaubarem Aufwand an Anlagen zur Dampfreformierung sowie der partiellen Oxidation angeschlossen werden, um blauen Wasserstoff zu produzieren.

CCS und CCU sind derzeit noch mit hohen Investitions- und operativen Kosten verbunden. Zum einen gehen sie mit einem deutlich höheren Strombedarf einher. Zum anderen verursacht die CO₂-Sequestrierung zusätzliche Kosten bei Transport und Speicherung, deren Träger noch nicht geklärt sind. CCS/CCU-Verfahren stehen in der Kritik: Kann CCS eingesetzt werden, ist zu beachten, dass die energieintensiven Abscheidungs- und Verdichtungsanlagen mit erneuerbaren Energien betrieben werden. Das abgeschiedene CO₂ darf zudem nach seiner Speicherung nicht entweichen. Eine Weiternutzung des CO₂ (CCU) ist nicht uneingeschränkt und unüberlegt zu forcieren. Vielmehr sind die einzelnen Technologien unter Berücksichtigung der individuellen Rahmenbedingungen mittels ökobilanzieller Untersuchungen zu vergleichen. Nur so kann für jede Anlage und jeden Anwendungszweck individuell abgewogen werden, ob und welche Technologien ökologisch sinnvoll sind (WWF Deutschland, 2019).

¹³ KN 2045 schließt den Einsatz von CCU aus. Unter CCU wird die Abscheidung, der Transport und die anschließende Nutzung von CO₂ verstanden. Am Ende der Nutzungskette gelangt das CO₂ wieder in die Atmosphäre. Wichtig ist daher die Betrachtung des Lebenszyklus der Endprodukte. Für die stoffliche Verwertung von CO₂ stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung, die sich jedoch in unterschiedlichen Entwicklungsstadien befinden. Eine Auswahl möglicher Anwendungsgebiete wird hier beschrieben: WWF Deutschland (2019).

Energieeffizienzmaßnahmen

Viele Unternehmen haben in der Vergangenheit Energieeffizienzmaßnahmen umgesetzt. Wie hoch das verbleibende Reduktionspotenzial ist, hängt vom Betrieb ab. Expert:innen schätzen, dass in Deutschland über Effizienzmaßnahmen Potenziale in Höhe von etwa 15–20 % gehoben werden können. Der Strauß der möglichen Effizienzmaßnahmen umfasst:

- » Dampfreformierung ohne Sekundärreformer
- » innovative Absorptionsmittel für CO₂-Abscheidung
- » Entspannungsturbine im Absorptionsmittelkreislauf
- » Wasserstoffrückgewinnung aus dem Synthesekreislauf
- » modellprädiktive Prozessregelung
- » autotherme Reformierung
- » isotherme Kohlenmonoxidkonvertierung
- » adiabatische Vor-Reformierung
- » Niedrigdruck-Synthese-Reaktor
- » Dual-Druck-Synthesekreislauf: abhängig vom Betrieb, erfordert ein Dual-Druck-Synthesekreislauf einen Neubau der Anlage, statt eines einfachen Umbaus

Auch an bestehenden Anlagen der partiellen Oxidation können Energieeffizienzmaßnahmen vorgenommen werden. Dazu zählen:

- » innovative Absorptionsmittel für CO₂-Abscheidung
- » Entspannungsturbine im Absorptionsmittelkreislauf
- » Wasserstoffrückgewinnung aus dem Synthesekreislauf
- » modellprädiktive Prozessregelung
- » Niedrigdruck-Synthese-Reaktor
- » Dual-Druck-Synthesekreislauf



Defossilisierung

Der Herstellungsprozess von Ammoniak basiert zu großen Teilen noch auf fossilen Ausgangsstoffen. Diese können ersetzt werden durch verschiedene erneuerbare Rohstoffe. Unter alternative erneuerbare Rohstoffe fallen lediglich nachhaltige Bioenergie (BE) aus landwirtschaftlichen Abfallprodukten und/oder grüner Wasserstoff.



Im Unternehmensdialog bietet es sich an, zu adressieren, wie hoch der Anteil erneuerbarer Rohstoffe derzeit ist und wie er zukünftig erhöht werden soll.

Bioenergie

Neben den technischen Umstellungen können im Prozess die eingesetzten Rohstoffe vollständig mit erneuerbaren Alternativen substituiert werden. In der Dampfreformierung kann anstelle des Erdgases Biomethan verwendet werden. In der partiellen Oxidation kann das Erdöl durch Biodiesel ersetzt werden. Beiden Alternativen wird ein Emissionseinsparpotenzial von rund 60 % zugeschrieben. Der Einsatz von Biodiesel oder Biogas¹⁴ darf jedoch nicht in Konkurrenz mit der Lebensmittelproduktion stehen.

Es sind nur geringfügige zusätzliche Investitionskosten notwendig, um bestehende Anlagen entsprechend auszurichten. Der Rohstoffeinsatzpfad sollte so gewählt werden, dass, sobald verfügbar, grüner Wasserstoff genutzt werden kann (H₂-ready).

Grüner Wasserstoff

Das größte Emissionseinsparpotenzial bei der Herstellung von Ammoniak entsteht durch den Wechsel auf grünen Wasserstoff. Er wird nicht aus Kohlenwasserstoffen aus Erdgas gewonnen, sondern durch elektrolytische¹⁵ Spaltung von Wasser in Sauerstoff und Wasserstoff. Die Trennung der Wasserstoff- und Sauerstoffmolekülen in Elektrolyseuren, die mit erneuerbaren Energien betrieben werden, gilt als einzige THG-neutrale und umweltfreundliche Möglichkeit zur Produktion von Wasserstoff.

Die emissionsintensive Wasserstoffgewinnung durch Dampfreformierung oder partielle Oxidation wird bei Umstellung auf Elektrolyse nicht länger benötigt. Der Umstellung des Prozesses werden Emissionseinsparpotenziale von 87 % (Dampfreformierung) sowie 90 % (partielle Oxidation) zugeschrieben. Die Umstellung auf Elektrolyse geht mit einer Verdreifachung der Investitionskosten einher. Heute finden die Wasserstoffproduktion und das anschließende Haber-Bosch-Verfahren meist in einer Anlage statt. Künftig wird der grüne Wasserstoff vermutlich vermehrt über die noch zu entwickelnde Infrastruktur an die Werke geliefert. Zudem erhöhen sich die operativen Kosten. Für den flächendeckenden Einsatz der Elektrolyse ist ein zügiger Ausbau regenerativer Energien notwendig.

14 Es ist nur Biogas zu verwenden, welches in vollem Umfang als nachhaltig klassifiziert ist. Für die Produktion der benötigten Biomasse dürfen keine Grünlandflächen mit hoher Biodiversität, Waldflächen oder Torfmoor zu Anbauflächen umgewandelt werden. Damit kann eine nahezu CO₂-neutrale Herstellung des Biogases sichergestellt und negative Skaleneffekte abgewendet werden. Die Möglichkeit dieser negativen Skaleneffekte rührt daher, dass Biogas (wie Biokohle) in vielen Sektoren als Möglichkeit zur Dekarbonisierung betrachtet wird, nachhaltiges Biogas aber nicht zur umfangreichen Versorgung aller interessierten Sektoren ausreicht.

15 Derzeit existieren drei Verfahren, die infrage kommen: AEL-Elektrolyse, HTE-Elektrolyse und PEM-Elektrolyse. Sie unterscheiden sich insbesondere in ihrem Wirkungsgrad. In Deutschland startet 2021 der größte PEM-Elektrolyseanlage Europas (Lohse, 2021).

Ausblick und Impulse für den Dialog

Grundsätzlich kann der emissionsintensive Produktionsschritt der Ammoniakherstellung bereits transformiert werden. Der Wasserstoffherstellung auf Basis von Biomethan oder Biodiesel und der Elektrifizierung der Dampfreformierung mit Grünstrom stehen keine technischen Hürden mehr entgegen. Technologien zur CO₂-Sequestrierung (CCS/CCU) als Übergangslösung sollten in wenigen Jahren marktfrei zur Verfügung stehen. Eine vollumfängliche Dekarbonisierung ist an eine zügige Entwicklung im Stromsektor gebunden sowie den Auf- und Ausbau erneuerbarer Energien und der entsprechenden Infrastruktur. Die Infrastruktur und die Produktionskapazitäten für eine ausreichende und konstante Verfügbarkeit grünen Wasserstoffs sind noch aufzubauen.

Vor diesem Hintergrund sollte im Unternehmensdialog bei der Analyse und Bewertung transformationsbezogener Risiken und Chancen der Sektoren und Unternehmen sowie bei der Vorbereitung, Durchführung und Bewertung von Unternehmensdialogen insbesondere auf folgende Erfolgskriterien einer Paris-kompatiblen Transformation im Sektor geachtet werden:



Erfolgskriterien einer Paris-kompatiblen Transformation

- » Elektrifizierungsgrad der Anlage
- » Anteil des Grünstroms
- » Einsatz alternativer Rohstoffe
- » übergangsweise der Einsatz von Kohlenstoffabscheidung und -speicherung
- » Einsatz von bzw. Umrüstung auf grünem/n Wasserstoff

In allen Dialogen sollte nach dem Stand der entsprechenden Maßnahmen bzw. konkreten Zeitplänen und Investitionsvorhaben gefragt werden.

Literaturverzeichnis

- Agora Energiewende und Wuppertal Institut. (2019). Klimaneutrale Industrie: Schlüsseltechnologien und Politikoptionen für Stahl, Chemie und Zement. https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2018/Dekarbonisierung_Industrie/164_A-EW_Klimaneutrale-Industrie_Studie_WEB.pdf. Abgerufen am 26. September 2022.
- Anderson, K., und Peters, G. (2016). The trouble with negative emissions. *Science*, 354(6309), 182–183. <https://doi.org/10.1126/science.aah4567>. Abgerufen am 26. September 2022.
- ARUG II. (2019). Gesetz zur Umsetzung der zweiten Aktionärsrechterichtlinie. https://www.bmj.de/SharedDocs/Gesetzgebungsverfahren/Dokumente/BGBL_ARUG_II.html. Abgerufen am 26. September 2022.
- BASF. (2022). Im Fokus: Unser Weg zur Klimaneutralität. Konzernlagebericht. <https://bericht.basf.com/2021/de/konzernlagebericht/unsere-strategie/im-fokus-unser-weg-zur-klimaneutralitaet.html>. Abgerufen am 26. September 2022.
- Brunke, J. C. (2017). Energieeinsparpotenziale von energieintensiven Produktionsprozessen in Deutschland: Eine Analyse mit Hilfe von Energieeinsparkostenkurven. Dissertation. Universität Stuttgart. https://elib.uni-stuttgart.de/bitstream/11682/9259/5/BRUNKE_ENERGIEEINSPARKOSTENKURVEN_209.pdf. Abgerufen am 26. September 2022.
- Deutsche Energie-Agentur (dena). (2018). dena-Leitstudie Integrierte Energiewende Impulse für die Gestaltung des Energiesystems bis 2050. https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9262_dena-Leitstudie_Integrierte_Energiewende_Ergebnisbericht.pdf. Abgerufen am 26. September 2022.
- Europäische Kommission. (2008). Energy Sources, Production Costs and Performance of Technologies for Power Generation, Heating and Transport. Commission Staff Working Document. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52008SC2872&from=EN>. Abgerufen am 26. September 2022.
- Europäische Kommission. (2021a). Vorschlag für eine Änderung der Richtlinie hinsichtlich der Nachhaltigkeitsberichterstattung von Unternehmen. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52021PC0189>. Abgerufen am 26. September 2022.
- Europäische Kommission. (2021b). Delegierte Verordnung (EU) der Kommission zur Ergänzung der Verordnung (EU) 2020/852 des Europäischen Parlaments und des Rates durch Festlegung des Inhalts und der Darstellung der Informationen, die von Unternehmen, die unter Artikel 19a oder Artikel 29a der Richtlinie 2013/34/EU fallen, in Bezug auf ökologisch nachhaltige Wirtschaftstätigkeiten offenzulegen sind, und durch Festlegung der Methode, anhand deren die Einhaltung dieser Offenlegungspflicht zu gewährleisten ist. C/2021/4987 final. [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=PI_COM:C\(2021\)4987](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=PI_COM:C(2021)4987). Abgerufen am 26. September 2022.
- Fleiter, T., Schlomann, B. und Eichhammer, W. (2013). Energieverbrauch und CO₂-Emissionen industrieller Prozesstechnologien – Einsparpotenziale, Hemmnisse und Instrumente. ISI-Schriftenreihe »Innovationspotenziale«. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI. https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/ccx/2013/Umweltforschungsplan_FKZ-370946130.pdf. Abgerufen am 26. September 2022.
- Fuss, S., Candell, J. G., Peters, G. P., Tavoni, M., Andrew, R. M., Ciais, P., ... Yamag. (2014). Betting on negative emissions. *Nature Climate Change*, 4(10), 850–853. <https://doi.org/10.1038/nclimate2392>. Abgerufen am 26. September 2022.
- Glasgow Financial Alliance for Net Zero (GFANZ). (2022). Financial Institution Net-zero Transition Plans. https://assets.bbhub.io/company/sites/63/2022/06/GFANZ_Recommendations-and-Guidance-on-Net-zero-Transition-Plans-for-the-Financial-Sector_June2022.pdf. Abgerufen am 26. September 2022.
- International Energy Agency (IEA). (2017). Energy Technology Perspectives 2017. <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2017>. Abgerufen am 26. September 2022.



International Energy Agency (IEA). (2020). Energy Technology Perspectives 2020. <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2020>. Abgerufen am 26. September 2022.

Lohse, A. (2021). Shell startet PEM-Wasserstoff-Elektrolyse mit zehn Megawatt Leistung. Power-to-X. <https://power-to-x.de/shell-startet-pem-wasserstoff-elektrolyse-mit-zehn-megawatt-leistung/>. Abgerufen am 26. September 2022.

Navigant. (2020). Energiewende in der Industrie Potenziale und Wechselwirkungen mit dem Energiesektor. Bericht an: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. in Zusammenarbeit mit: Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft & BBG und Partner. https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/E/energiewende-in-der-industrie-ap2a-branchensteckbrief-chemie.pdf?__blob=publicationFile&v=4. Abgerufen am 26. September 2022.

Prognos. (2021). Beitrag von Green Finance zum Erreichen von Klimaneutralität in Deutschland. Im Auftrag der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW). In Zusammenarbeit mit: Nextra Consulting & Institut für nachhaltige Kapitalanlagen. <https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Konzernthemen/Research/PDF-Dokumente-Studien-und-Materialien/Green-Finance-und-Klimaneutralitaet.pdf>. Abgerufen am 26. September 2022.

Prognos, Öko-Institut und Wuppertal-Institut. (2021). Klimaneutrales Deutschland 2045. Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann. Langfassung im Auftrag von Stiftung Klimaneutralität, Agora Energiewende und Agora Verkehrswende. <https://www.agora-energiewende.de/veroeffentlichungen/klimaneutrales-deutschland-2045-vollversion/>. Abgerufen am 26. September 2022.

Richtlinie 2014/65/EU des Europäischen Parlaments und des Rates über Märkte für Finanzinstrumente sowie zur Änderung der Richtlinien 2002/92/EG und 2011/61/EU. (2014). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:32014L0065>. Abgerufen am 26. September 2022.

Richtlinie (EU) 2018/2001 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Dezember 2018 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen (Neufassung). (2018). <http://data.europa.eu/eli/dir/2018/2001/oj>. Abgerufen am 26. September 2022.

Umweltbundesamt. (2019). Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität – RESCUE: Langfassung. <https://www.umweltbundesamt.de/rescue>. Abgerufen am 26. September 2022.

Umweltbundesamt. (2022). Emissionsübersichten in Sektoren. Daten der Treibhausgasemissionen des Jahres 2021 nach KSG. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/treibhausgas-emissionen>. Abgerufen am 26. September 2022.

Universität Augsburg. (n.d.). Partielle Oxidation. <https://www.uni-augsburg.de/de/forschung/einrichtungen/institute/amu/wasserstoff-forschung-h2-unia/h2lab/h2-er/pox/>. Abgerufen am 26. September 2022.

Verband der Chemischen Industrie. (2022). Chemiewirtschaft in Zahlen. <https://www.vci.de/services/publikationen/broschueren-faltblaetter/chemiewirtschaft-in-zahlen.jsp>. Abgerufen am 26. September 2022.

Verordnung (EU) 2019/2088 des Europäischen Parlaments und des Rates über nachhaltigkeitsbezogene Offenlegungspflichten im Finanzdienstleistungssektor. (2019). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:32019R2088>. Abgerufen am 26. September 2022.

Verordnung (EU) 2020/852 des Europäischen Parlaments und des Rates über die Einrichtung eines Rahmens zur Erleichterung nachhaltiger Investitionen und zur Änderung der Verordnung (EU) 2019/2088. (2020). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:32020R0852>. Abgerufen am 26. September 2022.

WWF Deutschland. (2019). Klimaschutz in der Beton und Zementindustrie. https://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/WWF_Klimaschutz_in_der_Beton-_und_Zementindustrie_WEB.pdf. Abgerufen am 26. September 2022.

Impressum

Herausgeber:	WWF Deutschland
Stand:	Oktober 2022
Gesamtverantwortung:	Matthias Kopp, Director Sustainable Finance, WWF Deutschland; Dr. Nicole Röttmer, Global Lead Climate Clients & Industries, PwC Deutschland
Autor:innen/Mitarbeit:	Vanessa Bolmer, Leonie Ederli-Fickinger (beide WWF Deutschland); ao. Prof. Dr. Jürgen Peterseim, Mark Kielgast (beide PwC Deutschland)
Kontakt:	Vanessa Bolmer (Senior Policy Advisor, Sustainable Finance, WWF Deutschland); ao. Prof. Dr. Jürgen Peterseim (Senior Manager Sustainability Services, PwC Deutschland); info@pathwaystoparis.com
Gestaltung:	Anita Drbohlav (www.paneemadesign.com)
Bildnachweise:	Cover, S. 7, 12, 13, 14: iStock/Getty Images

Disclaimer

Pathways to Paris ist ein vom Bundeswirtschaftsministerium (BMWK) gefördertes Projekt mit einer Laufzeit von zwei Jahren. Die aktive Projektphase endete im Oktober 2022.

WWF Deutschland und PwC Deutschland begleiteten und unterstützten die teilnehmenden Unternehmen bei der Entwicklung von Transformationspfaden, die für die Erreichung der Ziele des Pariser Klimaschutzabkommens notwendig sind. Neben der Schaffung eines gemeinsamen Verständnisses und breiter Akzeptanz für die Anforderungen einer erfolgreichen Klimawende wurden sektorspezifische, reproduzierbare Transformationspfade beleuchtet, die öffentlich zugänglich sind.

Eine exklusive Beratung mit unmittelbarer Wirkung auf z. B. Produktionstechnologien, Strategieplanung oder Wertschöpfungsketten einzelner Unternehmen fand nicht statt. Des Weiteren bestehen im Rahmen des Projektes keine finanziellen Verbindlichkeiten zwischen den teilnehmenden Unternehmen und den Projektinitiatoren, so dass etwaige Interessenkonflikte ausgeschlossen sind.

Die Inhalte des vorliegenden Orientierungsrahmens wurden mit größtmöglicher Sorgfalt erstellt. Der Anbieter übernimmt jedoch keine Gewähr für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der bereitgestellten Inhalte. Die Nutzung des Orientierungsrahmens erfolgt auf eigene Gefahr des Nutzers.

Eine Kooperation von:



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages