

Kurzfassung der Studie von DECHEMA und FutureCamp für den VCI

# Auf dem Weg zu einer treibhausgasneutralen chemischen Industrie in Deutschland



VERBAND DER  
CHEMISCHEN INDUSTRIE e.V.  
WIR GESTALTEN ZUKUNFT.



VCI



# Einleitung

***Klimaschutz ist zu einem zentralen Anliegen der Gesellschaft und zu einem dominierenden Thema der Politik in Deutschland geworden. Die Bundesregierung hat für das Jahr 2050 Treibhausgasneutralität als Ziel ausgerufen. Die chemische Industrie hat von Experten analysieren lassen, ob und wie sie einen Weg zur Treibhausgasneutralität mitgehen kann. Als drittgrößte Industriebranche Deutschlands sieht sie sich in der Verantwortung, Lösungen zu liefern, um zu den langfristigen Klimazielen beizutragen. Durch effizientere Prozesse und eine CO<sub>2</sub>-ärmere Energieversorgung hat die deutsche Chemie bereits einen weiten Weg zurückgelegt: Von 1990 bis 2017 sind die Treibhausgasemissionen aus dem Energiebedarf und den Prozessen um 48 Prozent gesunken.***

Auf dem Weg zur Treibhausgasneutralität steht die Chemie wie andere energieintensive Industriebranchen vor einer großen Herausforderung: Zum einen benötigen die heutigen Verfahren viel Energie, deren Erzeugung mit einem nennenswerten Ausstoß an Treibhausgasen einhergeht. Zum anderen werden in einer zunehmend treibhausgasneutralen Welt auch die CO<sub>2</sub>-Emissionen relevant, die aus dem in den Produkten enthaltenen Kohlenstoff entstehen. Dadurch unterscheidet sich die Chemie von anderen Industrien. Daher bezieht die Studie diesen Aspekt auch in die Emissionsbilanz mit ein.

Um zur Erfüllung der langfristigen Klimaschutzziele bis 2050 beizutragen, steht die Branche vor einer Transformation, die die kommenden Jahrzehnte andauern wird. Die Unternehmen

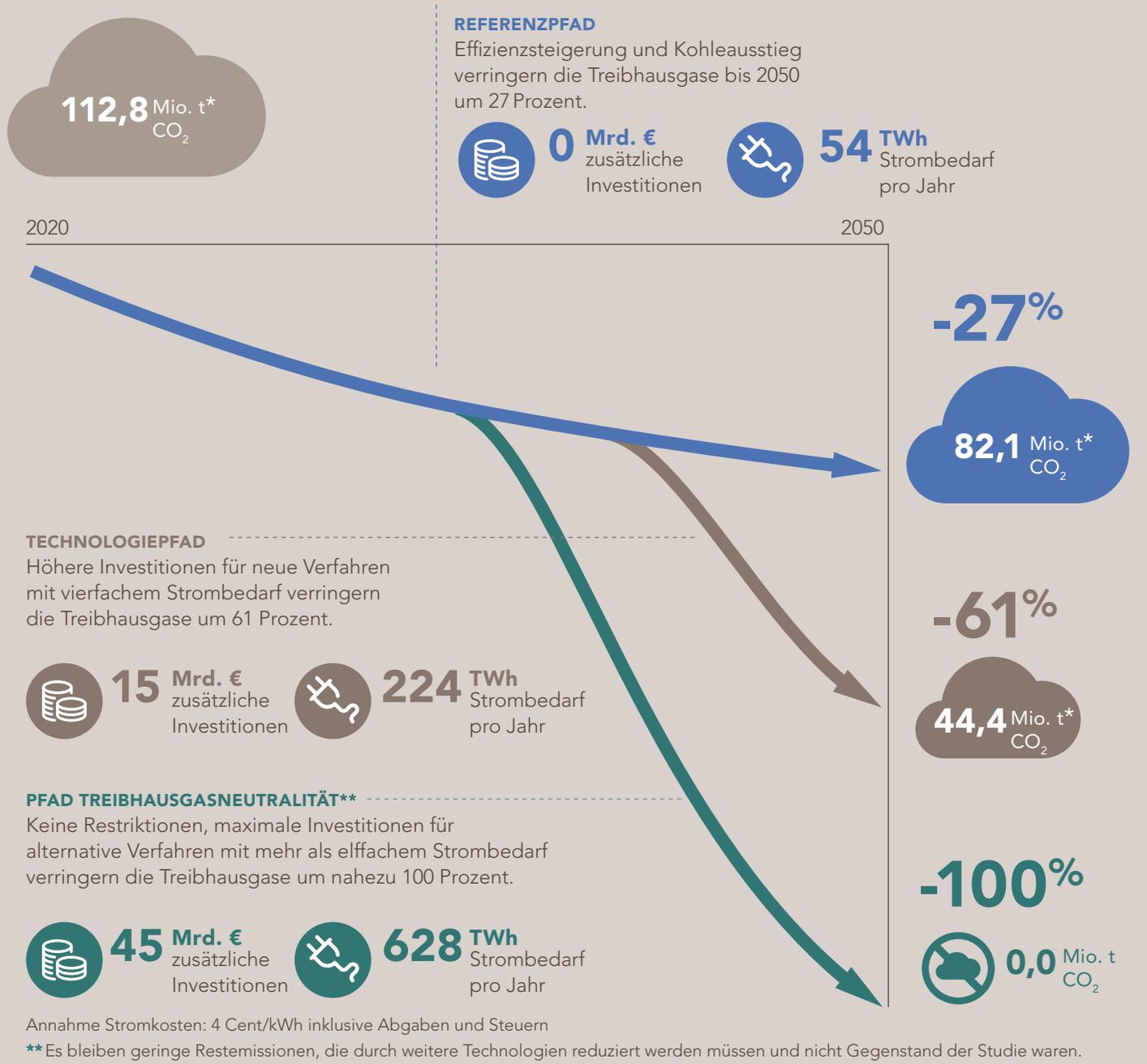
müssen nachhaltige – also ökonomisch, ökologisch und sozial tragfähige – alternative Prozesse entwickeln und diese durch Investitionen in neue Anlagen realisieren. Dazu brauchen sie wirtschaftliche und energiepolitische Rahmenbedingungen, die solche Zukunftsprojekte ermöglichen. Als wichtigste Voraussetzungen müssen Energie und Rohstoffe sowohl ausreichend verfügbar als auch bezahlbar sein.

Einen möglichen Weg für diese Transformation hat der Verband der Chemischen Industrie von DECHEMA und Future-Camp im Rahmen der Studie „Auf dem Weg zu einer treibhausgasneutralen chemischen Industrie in Deutschland“ untersuchen lassen. Diese arbeitet heraus, mit welchen Maßnahmen und Technologien die Chemie auf dem Weg zur vollständigen Treibhausgasneutralität wie weit kommen kann und welche Investitionen dafür erforderlich sind. Die Roadmap skizziert die Aufgaben, vor denen die chemische Industrie in den kommenden Jahrzehnten steht. Und sie skizziert die nötigen politischen und ökonomischen Rahmenbedingungen, welche diesen Weg befördern müssen.

Nicht Gegenstand der Roadmap sind die Leistungen, welche die chemische Industrie durch ihre Produkte für den Klimaschutz erbringt – zum Beispiel durch Werkstoffe für Wind- und Solarenergie, Stromspeicher, Leichtbaumaterialien für den Fahrzeugbau und Dämmmaterialien für Gebäude. Insgesamt sparen Chemieprodukte in der Anwendung deutlich mehr Treibhausgase ein, als bei ihrer Produktion heute entstehen. Klimaschutz geht nicht ohne Chemie.

# Die Ergebnisse in Kurzform

## Treibhausgasemissionen aus Prozessen, Energiebedarf und Produkten\*



# Ergebnisse der Wegstrecken

**Die Roadmap zeichnet ein detailliertes Bild der Entwicklung in der chemischen Industrie auf dem Weg zur Treibhausgasneutralität 2050. Unabhängig davon, welche Wegmarken bis zur Mitte des Jahrhunderts erreicht werden, zeigt sich: Die Chemie wird ihre Treibhausgasemissionen auch in Zukunft weiter senken können. Allerdings kommt sie je nach getroffenen Maßnahmen unterschiedlich weit. Mit jedem der drei Ambitionsniveaus schreitet die Chemie etwa ein Drittel weiter voran in Richtung Treibhausgasneutralität.**

## Referenzpfad

Optimiert die Branche ihren heutigen Anlagenpark weiter und bezieht immer CO<sub>2</sub>-ärmeren Strom, kann sie zwischen 2020 und 2050 ihren CO<sub>2</sub>-Ausstoß um 27 Prozent von 112,8 Millionen auf 82,1 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> senken. Bezogen auf die bisherige Klimabilanz der Chemie (ohne die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Kohlenstoffgehalt der Produkte) bedeutet das einen Rückgang der Treibhausgasemissionen um etwa 80 Prozent seit 1990 (siehe Grafik Seite 9). Die Chemiebilanz profitiert hier auch von der Umsetzung des Kohleausstiegs in Deutschland.

Die Stilllegung von Kohlekraftwerken und der weitere Aufbau von erneuerbaren Energien senken die Emissionen der allgemeinen Stromerzeugung und damit auch die für die Erzeugung des Stroms, den die Chemie von außen zukaft. In ihren eigenen Kraftwerken fahren die Unternehmen die Nutzung von Öl und Kohle zurück. Zudem reizen sie das Effizienzpotenzial der heutigen Anlagen in der Basis- und der Spezialchemie weiter aus, wodurch sie knapp fünf Prozent Energie einsparen. Fortschritte in der zirkulären Wirtschaft wirken sich ebenfalls positiv aus.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse des Referenzpfads, dass sich die Klimabilanz der deutschen Chemie durch Effizienzmaßnahmen und Kohleausstieg und in den Anlagen bereits bis 2030 deutlich verbessern wird. Nach 2030 sinkt das Emissionsniveau aber nur noch langsam. Dies macht deutlich, dass die Chemie in den vergangenen Jahrzehnten bereits hohe Vorleistungen erbracht hat: Das Minderungspotenzial durch die weitere Optimierung der konventionellen Prozesse ist nahezu ausgereizt.



27 Prozent weniger Treibhausgase durch Effizienzsteigerung und Kohleausstieg

## Technologiepfad

Die Treibhausgasreduzierung ab 2030 wird deutlich stärker ausfallen, wenn die deutsche Chemie stark in neue Prozesstechnologien in der Basischemie investiert. Sie kann dadurch energiebedingte und Prozessemissionen, die der Chemie bisher zugeordnet wurden, stark reduzieren. Es verbleiben Treibhausgasemissionen aus der Nutzung fossiler Ressourcen als Rohstoffquelle und für Verbrennungsprozesse. Auch diese können teilweise durch alternative Quellen ersetzt werden. Weitere Fortschritte erreicht die Branche, indem sie Kunststoffe durch ein verbessertes mechanisches und chemisches Recycling wieder als Ausgangsmaterial für die Produktion von Basischemikalien verwendet.

Kommen diese Maßnahmen zu jenen aus dem Referenzpfad hinzu, können die Emissionen der Chemie von 2020 bis 2050 um 61 Prozent sinken. Das Ziel weitgehender Treibhausgasneutralität bis 2050 wird in diesem Pfad nicht erreicht. Auf die enger gefasste bisherige Klimabilanz bezogen ergibt sich aber eine Reduktion von 95 Prozent im Vergleich zu 1990. Es verbleiben praktisch nur noch die neubetrachteten Emissionen aus dem Kohlenstoffgehalt der Produkte.

Erste Anlagen der nächsten Generation könnten etwa 2035 installiert werden. Sie senken vor allem ab Anfang der 2040er Jahre den CO<sub>2</sub>-Ausstoß in der chemischen Produktion. Für die Umstellung der Prozesse ist allerdings erneuerbarer Strom in erheblichem Umfang erforderlich: Allein die deutsche Chemie müsste ab 2040 eine Strommenge von 224 TWh jährlich beanspruchen (2018: 54 TWh). Dies entspricht in etwa der gesamten Menge erneuerbaren Stroms, die 2018 in Deutschland produziert wurde, beziehungsweise dem heutigen Stromverbrauch der gesamten deutschen Industrie.

Damit die Technologien 2040 bereitstehen, müssen sie bis dahin zur Marktreife weiterentwickelt werden. Während dieses Vorlaufs werden Unternehmen erheblich in Forschung und Entwicklung der Verfahren investieren müssen. In diesen Bemühungen werden sie staatliche Förderung und Unterstützung benötigen. Für den Bau neuer Anlagen der sechs in der Studie untersuchten Basischemieprodukte muss die Chemie ihr Investitionsbudget stark erhöhen. Insgesamt sind bis 2050 mindestens 15 Milliarden Euro an zusätzlichen Mitteln nur für die Markteinführung nötig (ohne Entwicklungskosten), der größere Teil davon ab 2040. Und: Zusätzlich zu den in der Studie thematisierten Prozessen der Basischemie harren noch weitere Verfahren in anderen Teilen der Produktionskette auf Umsetzung. Das reale Investitionsvolumen erhöht sich dadurch noch.

Angesichts der Kosten für die Unternehmen ist die Umstellung der Basischemie auf emissionsarme Prozesse nur denkbar, wenn politische Rahmenbedingungen dazu unterstützend beitragen: Über die im Referenzpfad beschriebenen Entlastungsregeln hinaus müsste es zur Umsetzung der Maßnahmen im Pfad zwei auch Regeln zum Schutz europäischer Produktionsstandorte geben.

**-61%**  
**44,4** Mio. t  
CO<sub>2</sub>

61 Prozent weniger Treibhausgase durch höhere Investitionen für neue Verfahren mit vierfachem Strombedarf

## Pfad Treibhausgasneutralität

Um die deutsche Chemie 2050 weitgehend treibhausgasneutral zu stellen, müssen die im limitierten Technologiepfad beschriebenen Anstrengungen noch intensiviert werden. Technologien werden in diesem Pfad schon dann eingeführt, wenn sich aus ihrem Einsatz eine CO<sub>2</sub>-Ersparnis ergibt, unabhängig von der Wirtschaftlichkeit. Von 2035 bis 2050 werden so alle konventionellen Verfahren der Basischemie durch alternative Verfahren ohne CO<sub>2</sub>-Emissionen ersetzt. Die größten CO<sub>2</sub>-Minerungen würden erst in den 2040er Jahren erbracht, wenn die Technologien in der Breite wirken und der deutsche Strommix weitgehend dekarbonisiert ist.

Die Kehrseite der Medaille: Die neuen, strombasierten Verfahren lassen den Strombedarf der deutschen Chemie ab Mitte der 2030er Jahre auf 628 TWh jährlich steigen, was mehr als

der gesamten deutschen Stromproduktion von 2018 entspricht. Auch die Kosten steigen im Vergleich zu Wegstrecke zwei rasant. Die Unternehmen müssten allein für die Herstellung der sechs in der Studie untersuchten Produkte von 2020 bis 2050 rund 45 Milliarden Euro mehr investieren, den größten Teil davon wiederum ab 2040.

**-100%**  **0,0** Mio. t CO<sub>2</sub>

Nahezu 100 Prozent weniger Treibhausgase durch 45 Milliarden Euro Investitionen für alternative Verfahren mit effachtem Strombedarf

### TECHNOLOGIEPORTFOLIO

für den Technologiepfad und den Pfad Treibhausgasneutralität

#### STROMBASIERTE VERFAHREN

- Methanol aus Elektrolyse-Wasserstoff und CO<sub>2</sub>
- Ammoniak und Harnstoff aus elektrischem H<sub>2</sub> und CO<sub>2</sub>
- Elektrisch beheizter Cracker
- Elektrisch beheizte Dampfreformierung
- Synthetisches Naphtha/Methan aus elektrischem H<sub>2</sub> und CO<sub>2</sub>

#### ALTERNATIVE ROHSTOFFE/VERFAHREN

- Chemisches Recycling von Kunststoffen (Pyrolyse, Vergasung, Depolymerisation)
- Thermokatalytische Biomassekonversion zu BTX
- Synthetisches Naphtha/Methan aus Biomasse
- Co-Feuerung mit Biomasse
- Methanpyrolyse

#### NACHGELAGERTE VERFAHREN

- Ethylen/Propylen über Methanol zu Olefinen (MTO)
- BTX über Methanol zu Aromaten (MTA)
- Olefine über synthetisches Naphtha und Cracker
- Olefine über synthetisches Methan + oxidativer Methankopplung

# Übergreifende Ergebnisse

**Die Roadmap der deutschen chemischen Industrie zeigt, dass eine weitgehend treibhausgasneutrale Chemieproduktion in Deutschland bis 2050 technologisch denkbar ist. Neue Methoden der Kreislaufführung, eine CO<sub>2</sub>-freie Wasserstoffherstellung und die Nutzung von CO<sub>2</sub> als Rohstoff machen dies möglich. Inwieweit die Chemie dieses technische Potenzial auch realisieren kann, hängt von mehreren Faktoren ab.**

Grundvoraussetzung dafür, dass Unternehmen die alternativen Prozesstechnologien erforschen, entwickeln und schließlich in den Markt bringen, ist deren Wirtschaftlichkeit. Je ambitionierter das Ziel Treibhausgasneutralität verfolgt wird, umso stärker steigen die damit verbundenen Kosten. Allein die Umstellung der in der Roadmap untersuchten Prozesse der Basischemie zieht Zusatzinvestitionen von bis zu 45 Milliarden Euro nach

sich. In der Anlaufphase können neue Anlagen nicht mit älteren, abgeschriebenen Anlagen konkurrieren, durch die Produkte noch günstiger herzustellen sind. Die Mehrkosten für alternative Verfahren können angesichts von Weltmarktpreisen für Basischemikalien kaum an die Kunden weitergegeben werden.

Unternehmen können die Transformation hin zu null Emissionen daher nur vorantreiben, wenn sie in jeder Phase wettbewerbsfähig bleiben und optimale Rahmenbedingungen vorfinden. Aber auch dann stehen einer Treibhausgasneutralität der Chemie hohe Hürden im Weg: Eine wichtige Voraussetzung für nahezu alle neuen Technologien ist die Verfügbarkeit erneuerbaren Stroms in aus heutiger Sicht gigantischen Mengen und zu Kosten von 4 Cent je Kilowattstunde. Ohne diese Randbedingungen lohnt sich die Einführung der neuen Technologien zur CO<sub>2</sub>-Minderung nicht. Ist der Strom teurer, wird sich die

## CO<sub>2</sub> ALS ROHSTOFF NUTZEN

Blick in eine deutsche Chemieranlage, die Kohlenstoffdioxid für die Herstellung von Produkten nutzt

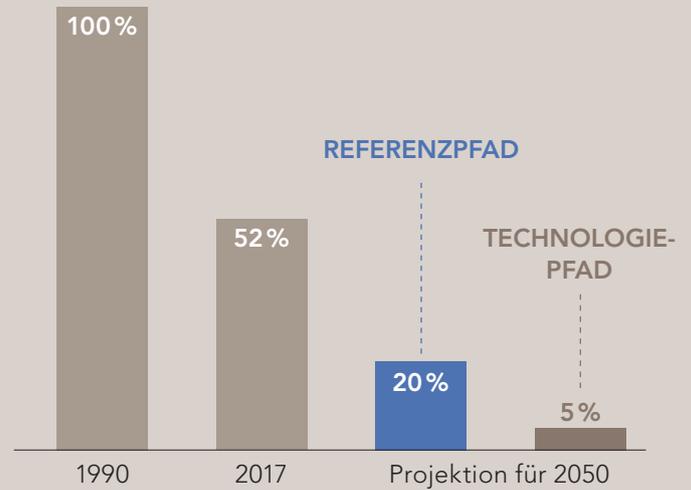


Implementierung neuer Verfahren auf deutlich nach 2050 verzögern. Die Konsequenz: Die heutigen Entlastungs- und Carbon Leakage-Regeln werden allein nicht ausreichen, um wettbewerbsfähige Strompreise für die Industrie zu schaffen. Die Politik wird zunehmend weitere Maßnahmen treffen müssen, um die Stromkosten für die Industrie zu dämpfen.

Sie hat es auch durch Förderung in der Hand, die Transformation der Chemie unterstützend zu begleiten. Die neuen Verfahren sind laut Analyse der Roadmap allesamt erst nach 2030, teilweise nach 2040 unter den gegebenen Annahmen wirtschaftlich und damit marktfähig. Fördert die Politik diesen Prozess sowohl in der Entwicklungsphase als auch in der Markteinführung, könnten bestimmte Verfahren auch früher im Einsatz sein.

## TREIBHAUSGASBILANZ DER BRANCHE

Emissionen aus Prozessen und Energiebedarf  
(ohne Kohlenstoffgehalt der Produkte)



# Methodik

*Die Roadmap untersucht im Detail die Produktionsprozesse und die Rohstoffe der chemischen Industrie, die besonders energie- und emissionsintensiv sind. Konkret wurden alternative Verfahren für die Herstellung der wichtigsten Basischemikalien überprüft. Analysiert wurden sowohl die Treibhausgasemissionen, die in der Produktion selbst entstehen, wie auch die Emissionen, die aus dem Bezug von Strom und Wärme (Dampf) herühren. Als wichtiges Novum bezieht die Roadmap erstmals auch den Kohlenstoffgehalt der chemischen Erzeugnisse als CO<sub>2</sub>-Quelle mit ein. Sie bildet somit die Situation vollständiger ab, als es für die bisherige Klimastatistik der deutschen Chemie möglich war. Dadurch steigt der Anteil der Emissionen, die der Chemie zugerechnet werden, deutlich. Die Angaben zur zukünftigen Minderung der Studie lassen sich daher nicht direkt mit der historischen Bilanz vergleichen. Eine Umrechnung (siehe Grafik Seite 9) ist aber möglich.*

Neben den Emissionen werden auch die Investitionen für die Reduktion der Treibhausgase ermittelt. Beim Einsatz neuer Technologien kommt es wesentlich darauf an, wann sie im Vergleich zu herkömmlichen Verfahren wirtschaftlich werden. Der Analyse liegen mehrere Annahmen zugrunde: So fließen die Umwälzungen in der Energiewirtschaft durch einen geänderten Strom- und Brennstoffmix durch den Kohleausstieg und den Ausbau erneuerbarer Energien in die Bilanz ein. Die Studie nimmt zudem einen steigenden CO<sub>2</sub>-Preis bis 2050 an. Für die industrielle Produktion geht die Roadmap bis 2050 von einer konstanten Produktionsmenge in der Basischemie und einem leichten Zuwachs der Spezialchemie aus. Zudem setzt die Studie voraus, dass die Unternehmen der chemischen Industrie weiterhin einen Carbon Leakage-Schutz erhalten, sofern nicht auch Wettbewerbsregionen vergleichbare Klimaschutzanstrengungen unternehmen wie die EU und Deutschland.

Die Roadmap beschreibt den Weg zur Treibhausgasneutralität von 2020 bis 2050 in drei „Wegstrecken“, die als verschiedene Ambitionsniveaus zu verstehen sind. Sie unterscheiden sich durch spezifische Grundannahmen und beeinflussen so, inwieweit die chemische Industrie CO<sub>2</sub>-mindernde Technologien entwickeln und realisieren kann:

## ■ Referenzpfad

Die Unternehmen produzieren weiterhin ausschließlich mit den heutigen Technologien. Ihre Investitionen bleiben auf dem gegenwärtigen Niveau von 7 Milliarden Euro pro Jahr und dienen der Erhaltung und Effizienzsteigerung der Anlagen. Die Unternehmen setzen zudem auf mehr Recycling. Durch das angenommene Ende der Kohleverstromung in Deutschland 2038 wird die deutsche Stromversorgung kontinuierlich emissionsärmer, was sich auch auf die Chemie auswirkt.

## ■ Technologiepfad

Es wird dargestellt, wie weit die Chemie beim Klimaschutz kommen kann, wenn sie zusätzlich in neue Produktionstechnologien für Basischemikalien wie Ammoniak und Methanol investiert. Dabei unterliegt sie aber betriebswirtschaftlichen und technischen Restriktionen:

Es werden maximal 224 Terawattstunden (TWh) erneuerbarer Strom für die chemische Produktion als zur Verfügung stehend angenommen. Zudem ist das zusätzliche Investitionsbudget aus betriebswirtschaftlichen Gründen begrenzt. Neue Technologien zur CO<sub>2</sub>-Minderung werden eingeführt, wenn sie wirtschaftlich sind. Es wird unterstellt, dass der Staat die Entwicklung der Technologien fördert. Zudem spielen erneuerbare Energien in der Eigenenergieversorgung und eine verstärkte Kreislaufführung kohlenstoffhaltiger Produkte durch chemisches Recycling eine Rolle.

## ■ Pfad Treibhausgasneutralität

Alle Restriktionen fallen weg, Treibhausgasneutralität ist als Ziel zur Mitte des Jahrhunderts vorgegeben. Dazu wird ermittelt, welche Technologien mit welchen Investitionen erforderlich sind und wie viel Strom dafür benötigt wird, um 2050 auf null Emissionen zu kommen. Alle konventionellen Verfahren der Basischemie werden vollständig durch alternative Verfahren ersetzt. Die Annahmen hierfür fallen optimistischer aus, neue Technologien werden beispielsweise schneller in den Markt gebracht.

# Politische Voraussetzungen, um neue Verfahren schneller verfügbar zu machen

## Verfügbarkeit von bezahlbarem erneuerbarem Strom

- Neue, emissionsarme Verfahren in der Basischemie sind nur möglich, wenn der dafür nötige Strom vorhanden ist. Bis zur Treibhausgasneutralität wächst der jährliche Strombedarf der Chemie auf mehr als das Elffache (628 TWh) des heutigen Wertes (54 TWh) an.
- Stromkosten müssen dauerhaft niedrig bleiben. Die Roadmap geht von einem Strompreis für die Industrie von 4 Cent pro kWh aus – ein aus heutiger Sicht sehr niedriger

## Förderung neuer Technologien

- Neue Verfahren sollten in jeder Phase beginnend vom Forschungs- und Entwicklungsstand über Demonstrationsanlagen bis zur Großanlage gefördert werden.

## Politische Rahmenbedingungen

- Günstige Rohstoffkosten wirken sich positiv auf die Wirtschaftlichkeit neuer Verfahren aus. Einwirken kann die Politik zum Beispiel auf wettbewerbsfähige Preise für die Bereitstellung von emissionsarmem Wasserstoff, der nicht mit Abgaben belastet wird.
- Neue Technologien müssen regulatorisch als Fortschritt anerkannt und dürfen nicht mit zusätzlichen Hürden gebremst werden.

Wert. Liegt der Strompreis bei 6 Cent, ist eine treibhausgasneutrale Chemie bis 2050 nicht möglich, da entsprechende Anlagen nicht wirtschaftlich sind. Eine Absenkung unter 4 Cent könnte neue Technologien dagegen schneller wirtschaftlich machen.

- Je früher die CO<sub>2</sub>-Emissionen in der deutschen Stromerzeugung sinken, desto schneller führen neue Verfahren auch in der Chemie zur CO<sub>2</sub>-Minderung.
- Ihre Markteinführung beschleunigt sich durch staatliche Zuschüsse für Investitionen.
- Deutschland und die EU müssen auf eine internationale Klimaschutzvereinbarung hinwirken, um für die Industrie vergleichbare Wettbewerbsbedingungen zu schaffen. Ohne globale Regeln müssen bestehende Carbon Leakage-Maßnahmen erhalten und verbessert werden.
- Hürden für die Nutzung und Eigenerzeugung von erneuerbaren Energien in der Industrie sind abzubauen.



Chemie ist Zukunft. Damit diese Aussage auch morgen noch gilt, hat der VCI drei Studien in Auftrag gegeben. Die Ergebnisse sollen helfen, die Zukunftsfähigkeit der Branche am Standort Deutschland zu sichern:

- Erwartungen der Kundenbranchen an die Chemieindustrie (Studiennehmer: Santiago)
- Auf dem Weg zu einer treibhausgasneutralen chemischen Industrie in Deutschland (Studiennehmer: DECHEMA und FutureCamp)
- Wege in die Zukunft – Weichenstellung für eine nachhaltige Entwicklung in der chemisch-pharmazeutischen Industrie in Deutschland (Studiennehmer: Prognos)

Die Ergebnisse der ersten beiden Studien fanden Eingang in die VCI-Prognos-Studie. Unter Berücksichtigung des immer stärkeren Nachhaltigkeitsgedankens in der Gesellschaft untersucht letztere, welche Chancen diese Entwicklung langfristig der Branche bietet.

Die Studien stehen im Internet zum Download zur Verfügung:  
[www.vci.de](http://www.vci.de)

### Verband der Chemischen Industrie e. V. (VCI)

Mainzer Landstraße 55  
60329 Frankfurt am Main  
Telefon: +49 69 2556-0  
Telefax: +49 69 2556-1612

**E-Mail:** [dialog@vci.de](mailto:dialog@vci.de)

**Internet:** Weitere Informationen finden Sie unter [www.vci.de](http://www.vci.de) und [www.chemiehoch3.de](http://www.chemiehoch3.de)

### Ansprechpartner

Dr. Jörg Rothermel  
Telefon: +49 69 2556-1463

**Fotonachweis:** © covestro; iStock: © baona, © frentusha

**Auflage:** 3.500 **Stand:** September 2019

Klimaneutral gedruckt auf Papier aus nachhaltiger Waldwirtschaft.