

# CCU und CCS – Bausteine für den Klimaschutz in der Industrie

Analyse, Handlungsoptionen  
und Empfehlungen

acatech (Hrsg.)



Das Klimaschutzabkommen von Paris kam aufgrund einer Vielzahl wissenschaftlicher Erkenntnisse über die Ursachen des Klimawandels zustande. Die Bundesregierung hat sich in dem Abkommen von 2015 verpflichtet, die Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) Deutschlands erheblich zu verringern. Ausgangspunkt dieser POSITION ist die Einschätzung, dass trotz der bisher umgesetzten Maßnahmen und der bereits erreichten beachtlichen Erfolge bei der Verminderung von THG-Emissionen die angestrebten Ziele kaum erfüllt werden können. Ohne Einleitung weiterreichender Schritte führt die derzeitige Vorgehensweise aus heutiger Sicht zu einer deutlichen Verfehlung der eingegangenen Verpflichtungen.

Neben dem Sektor der Energiewirtschaft als größter Quelle der THG-Emissionen werden in Deutschland erhebliche Mengen an klimawirksamen Gasen im Industriesektor freigesetzt. Im Klimaschutzplan 2050 hat die Bundesregierung erstmals ein Sektorziel für die energieintensive Industrie festgelegt. Hinsichtlich der Entwicklung von Strategien zum Erreichen einer THG-Neutralität kommt daher auch dem Industriebereich eine hohe Bedeutung zu. Nach jetzigem Kenntnisstand ist absehbar, dass eine konsequente Reduktion des Energieverbrauchs in allen Branchen sowie die Umstellung auf erneuerbare elektrische Energie, wo dies möglich ist, nicht ausreichen werden, um die vereinbarten Ziele zu erreichen.

Die weitere Verringerung der Emissionen im Industriebereich ist technisch höchst anspruchsvoll. Alle für die Minderung von THG-Emissionen infrage kommenden Optionen sind grundsätzlich in Erwägung zu ziehen. Im Wesentlichen lassen sich unterscheiden:

- Vermeidung – durch höhere Effizienz, zunehmende Elektrifizierung sowie Energie, Prozess- und Materialsubstitution;
- Verwertung – durch Verlängern stofflicher Nutzung, im Fall von CO<sub>2</sub> also Carbon Capture and Utilization (CCU);
- dauerhafte geologische Speicherung der restlichen CO<sub>2</sub>-Mengen durch Carbon Capture and Storage (CCS); eingelagertes CO<sub>2</sub> kann im Bedarfsfall als Rohstoff rückgeführt werden.

Die verschiedenen Optionen sind in dieser Priorisierung vorzusehen. Dabei sind geeignete Verfahren und deren Potenziale in Betracht zu ziehen und sowohl Chancen, Risiken und Grenzen der Umsetzung als auch rechtliche und gesellschaftliche Aspekte zu bewerten.

## Auf einen Blick

- Deutschland hat das Ziel, seine Treibhausgasemissionen bis 2050 um 80 bis 95 Prozent zu vermindern. Mit dem Abkommen von Paris orientiert sich die deutsche Klimapolitik am Leitbild einer bis 2050 weitgehenden Treibhausgasneutralität.
- Die bisher vorgesehenen und umgesetzten Maßnahmen sind jedoch nicht ausreichend, um dieses ambitionierte Ziel zu erreichen.
- Neben dem Sektor der Energiewirtschaft setzt in Deutschland vor allem der Industriesektor erhebliche Mengen an klimawirksamen Gasen frei. Im Klimaschutzplan 2050 hat die Bundesregierung erstmals ein Sektorziel für die Industrie festgelegt.
- Die weitere Verringerung der Emissionen im Industriebereich ist technisch höchst anspruchsvoll. Alle infrage kommenden Optionen sind grundsätzlich in Erwägung zu ziehen. Das sind neben der Vermeidung von Treibhausgasemissionen im Wesentlichen die Verwertung von CO<sub>2</sub> (Carbon Capture and Utilization/CCU) und die Speicherung von CO<sub>2</sub> (Carbon Capture and Storage/CCS).
- Es wird empfohlen, zeitnah Diskussionen unter Beteiligung einer breiten Öffentlichkeit zu führen. Nur dann können grundsätzlich geeignete Technologien rechtzeitig fortentwickelt und zur Marktreife gebracht werden, damit die nötige Infrastruktur geplant, genehmigt, finanziert und errichtet werden kann.



Die hier näher betrachteten Optionen CCU und CCS werden häufig in einem Atemzug genannt und ihnen damit vergleichbare Absichten und Wirkungen zugesprochen – dies ist jedoch nicht der Fall. CCU-Maßnahmen sind in Deutschland ein Element der Energiewende, deren Fokus sich auf den zunehmenden Verzicht auf kohlenstoffhaltige fossile Energieträger und eine dominierende Rolle von Windkraft und Photovoltaik bei der Stromerzeugung richtet. Bedeutende Industrien in Deutschland sind weiterhin in vielfältiger Weise auf Kohlenstoff angewiesen. CO<sub>2</sub> ist daher grundsätzlich neben Biomasse eine alternative Kohlenstoffquelle, auch wenn die Verwertung von CO<sub>2</sub> meist mit hohem energetischem Aufwand verbunden ist. Die Power-to-Gas-Technologie ist technisch schon weit entwickelt. Allerdings kann sie kurz- bis mittelfristig nicht in großem Maßstab als Klimaschutztechnologie eingesetzt werden, da die erforderlichen Mengen emissionsfrei erzeugter elektrischer Energie nicht verfügbar sind. CCU-Technologien bieten auch Möglichkeiten, CO<sub>2</sub> längerfristig zu binden, etwa in PVC-Erzeugnissen oder durch die CO<sub>2</sub>-Mineralisierung zu einem Zuschlagstoff von Beton. Zudem könnten Karbonfasern in Zukunft in Verbundwerkstoffen als Ersatz für viele Stahl-, Aluminium- und Zementverwendungen genutzt werden. Wird CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre entnommen – etwa auf Algenbasis – und das energieintensive Cracking auf Basis regenerativer Energie durchgeführt, könnte dies ein Pfad für den Einstieg in eine CO<sub>2</sub>-neutrale Kreislaufwirtschaft sein.

Somit können CCU-Technologien zu einer Transformation der Energiesysteme in Richtung erneuerbarer Quellen beitragen. Öffentliche Debatten über die im Einzelfall sehr unterschiedlichen CCU-Anwendungen haben bisher kaum stattgefunden. Nach jetzigem Kenntnisstand lässt sich nicht sagen, wann die benötigten sehr großen Mengen kostengünstiger regenerativ erzeugter elektrischer Energie zur Verfügung stehen werden, damit durch CCU ein maßgeblicher Beitrag zu den Klimaschutzzielen von Paris geleistet werden kann.

Die CCS-Technologie ist andernorts großmaßstäblich erprobt, in Deutschland in dem Pilotvorhaben Ketzin. Sie bietet die Möglichkeit, vergleichsweise große Mengen CO<sub>2</sub> im geologischen Untergrund zu lagern und damit nachhaltig der Atmosphäre zu entziehen. Einen Beitrag zur Transformation der Energiesysteme leistet sie indes nicht. Die Akzeptanz von CCS ist insbesondere aufgrund früherer Diskussionen zum Einsatz von CCS im Kohlekraftwerkssektor schwach ausgeprägt. Fachleute aus den Ingenieur- und Geowissenschaften verweisen jedoch auf langjährige Erfahrungen in der sicheren CO<sub>2</sub>-Speicherung, unter anderem unter der Nordsee, der Norwegischen See sowie in Kanada und den USA. Klar ist, dass CCS-Maßnahmen als Elemente einer Strategie zum Erreichen der THG-Neutralität nur umgesetzt

werden können, wenn große Teile von Zivilgesellschaft, Industrie, Politik, Verbänden und Wissenschaft ihren Einsatz unterstützen. Dies ist beispielsweise für Branchen zu erwarten, die nach Ausschöpfen aller sonstigen Optionen keine Möglichkeiten haben, ihren CO<sub>2</sub>-Ausstoß weiter zu verringern. Für den möglichen Einsatz von CCS sollte daher geklärt werden, ob und, wenn ja, für welche Emittenten der Industrie die Technologie prioritär zur Verfügung stehen soll, für welchen Zeitraum (Brückentechnologie), wer die Infrastruktur für Transport und Speicherung von CO<sub>2</sub> bereitstellt, wie dies bei Gewährleistung höchster Sicherheitsstandards ökonomisch und ökologisch zu erreichen ist, an welchen Standorten und in welchen Regionen dies vorzugsweise geschehen soll und wer die Kosten hierfür trägt. Forschungsbedarf sowie Herausforderungen bestehen vor allem hinsichtlich der politischen und gesellschaftlichen Akzeptanz.

Deutsche Firmen tragen weltweit durch innovative Produkte und Systemlösungen zum Klimaschutz bei. Sie sichern und schaffen damit Wachstum und Arbeitsplätze im Maschinen- und Anlagenbau sowie in der Elektroindustrie, beispielsweise mit intelligenter Steuerungstechnik. Bestehende Wertschöpfungsketten und erfolgreiche Industriecluster sollten mit den erforderlichen Anpassungen erhalten werden, THG-Neutralität und industrielle Wettbewerbsfähigkeit gilt es miteinander in Einklang zu bringen. Auf dieser Grundlage sind die Regierungen von Bund und Ländern gefordert, Rahmenbedingungen zu schaffen, die Innovationen und Technologiewettbewerb fördern und insgesamt eine kosteneffiziente Emissionsminderung in der Industrie ermöglichen. Rechtliche Voraussetzungen und der gezielte Einsatz von Förderinstrumenten sind bedeutende Steuerungsparameter. Der frühzeitige Aufbau notwendiger Infrastrukturen kann das Vertrauen in den Fortbestand und den künftigen Erfolg industrieller Produktionslinien und -cluster erhöhen und dazu beitragen, die Vorbildfunktion des Technologiestandorts Deutschland zu erhalten.

Hierzu sind zeitnah Diskussionen unter Beteiligung einer breiten Öffentlichkeit zu führen. Nur dann können grundsätzlich geeignete Technologien rechtzeitig fortentwickelt, zur Marktreife gebracht und die nötige Infrastruktur geplant, genehmigt und errichtet werden – pragmatisch über Unternehmens- und Sektor Grenzen hinweg. Auch Fragen bezüglich Geschäftsmodellen und der Finanzierung von Infrastrukturen müssen schon bald beantwortet werden. Für ausgewählte Industriezweige (chemische Industrie, Eisen- und Stahlbranche, Zementindustrie) bietet es sich an, geeignete bestehende Entwicklungsplattformen zu erweitern oder neue mit Vorreiterfunktion zu erstellen. Insgesamt muss aber in der Gesellschaft eine Verständigung darüber erzielt werden, inwieweit CCU und CCS wichtige Elemente eines übergreifenden Pfades zur THG-Neutralität werden sollen.



## Handlungsoptionen und Empfehlungen

Deutschland hat das Ziel, seine THG-Emissionen bis 2050 um 80 bis 95 Prozent zu vermindern. Mit dem Abkommen von Paris orientiert sich die deutsche Klimapolitik am Leitbild einer bis 2050 weitgehenden THG-Neutralität. Für das Jahr 2030 hat die Bundesregierung ein Emissionsminderungsziel im Industriesektor von circa 50 Prozent gegenüber 1990 definiert. Die über dieses Zwischenziel hinausgehenden Verringerungen von THG-Emissionen sind technisch höchst anspruchsvoll und bedürfen frühzeitiger Planungen und Investitionen: Die Technologien müssen zur Marktreife entwickelt und notwendige Infrastrukturen aufgebaut werden.

- Um die anspruchsvollen Klimaschutzziele erreichen zu können, gilt es, in der jetzigen Legislaturperiode die im Koalitionsvertrag genannten Strategien zur Dekarbonisierung der Industrie (im Sinne einer THG-Neutralität) zu entwickeln und Wege zu finden, die zugleich die Innovations-, Leistungs- und Wettbewerbsfähigkeit des Industriestandorts Deutschland gewährleisten.
- Neben der weiteren Effizienzsteigerung, der zunehmenden Elektrifizierung von Industrieprozessen, Energie-, Prozess- und Materialsubstitutionen, der gezielten Förderung von innovativen Reduktionstechnologien sowie dem Einsatz von Verfahren zur stofflichen Verwertung von CO<sub>2</sub> (Carbon Capture and Utilization, CCU) im Sinne einer Kreislaufwirtschaft sollte eine Strategie zur THG-Neutralität der Industrie auch die geologische Speicherung von anderweitig nicht vermeidbaren CO<sub>2</sub>-Prozessemissionen (Carbon Capture and Storage, CCS) in Betracht ziehen.
- Zwar kann die stoffliche Verwertung von CO<sub>2</sub> einen Beitrag zur THG-Neutralität liefern. In der Gesamtbilanz kann CCU aber nur dann einen substantiellen Anteil zum Klimaschutz leisten, wenn sehr große Mengen kostengünstiger regenerativer Energien zur Verfügung stehen. Wann dies der Fall sein wird, ist derzeit schwer abschätzbar. Hierdurch steigt der Handlungsbedarf, bis zur Jahrhundertmitte andere Lösungen umzusetzen.
- Ist das Transformationspotenzial der betroffenen industriellen Branchen zur Verminderung beziehungsweise Beseitigung

ihrer Prozessemissionen mit Bestimmtheit ausgenutzt und wurde außerdem geprüft, ob sich die Emissionen nicht durch den Übergang zu neuen Materialien und Technologien weiter reduzieren lassen, ist die Option der geologischen Speicherung von CO<sub>2</sub> in Betracht zu ziehen. CO<sub>2</sub> kann in wesentlichen Mengen sowohl land- als auch seeseitig (on- beziehungsweise offshore) im tiefen Untergrund gespeichert und bei Bedarf wieder rückgefördert werden.

- Bei Vorlaufzeiten von mindestens zehn Jahren bis zu einem breiten Einsatz von CCU und CCS müssen die Möglichkeiten beider Technologien und kostengünstige Synergien (beispielsweise die Nutzung einer gemeinsamen Transportinfrastruktur) in der aktuellen Legislaturperiode geprüft und bewertet werden. Andernfalls werden CCU und CCS nicht rechtzeitig im erforderlichen Umfang zur Verfügung stehen.
- Der Aufbau einer CCS-Infrastruktur, die für den CO<sub>2</sub>-Transport auch CCU-Vorhaben zur Verfügung stünde, könnte durch die Schaffung von Marktbereiter-Institutionen koordiniert und umgesetzt werden. Als zentrale Vermittlungsstellen würden Marktbereiter die Abstimmung zwischen Abscheidungs-, Transport- und Speicherungsprojekten ermöglichen und bestehende ökonomische Risiken reduzieren. Durch Umsetzung eines Cluster-Ansatzes kann ein kostensenkender Skaleneffekt entstehen.
- CCS-Maßnahmen können als Elemente einer Strategie zum Erreichen von THG-Neutralität nur dann umgesetzt werden, wenn große Teile der Zivilgesellschaft, der Industrie, der Politik, der Verbände und der Wissenschaft den Einsatz dieser Technologie unterstützen. Neben technologischen, ökonomischen, geologischen und politisch-rechtlichen Anforderungen sind eine grundsätzliche Befürwortung und Akzeptanz unter Bürgerinnen und Bürgern wichtige Voraussetzungen.

Angesichts der anspruchsvollen Verpflichtungen aus dem Klimaabkommen von Paris erscheint es dringend geboten, in der laufenden Legislaturperiode die Chancen, Risiken und Grenzen des Einsatzes von CCU und CCS im Rahmen einer umfassenden Strategie zur THG-Neutralität zu prüfen und daraus resultierende Handlungsoptionen zeitnah mit allen gesellschaftlichen Akteuren zu beraten.



## Methodische Grundlagen

Diese acatech POSITION ist in zweijähriger Projektgruppenarbeit entstanden, in einer Reihe intensiver Workshops mit Vorträgen, Diskussionen und inhaltlichen Abstimmungen. Mitgewirkt haben im Kern rund 30 Expertinnen und Experten auf dem Gebiet der behandelten Fragestellungen, vielfach leitende Angehörige aus Forschungseinrichtungen, Ämtern und Behörden, der Industrie, Umweltverbänden, Gewerkschaften, eines Norminstituts und Consultants. Seitens der Industrie waren Vertreter von Unternehmen und Verbänden der Chemiebranche, der Eisen- und Stahlbranche, der Zementindustrie und eines Technologieunternehmens an den Workshops beteiligt. Die mitwirkenden Umweltverbände waren die Bellona Foundation, die European Climate Foundation, Germanwatch und WWF Deutschland. Das Vorhaben wurde gefördert von der European Climate Foundation, BASF SE, Covestro Deutschland AG, The Linde Group und dem acatech Förderverein.

## Herausgeber: acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, 2018

### Geschäftsstelle

Karolinenplatz 4  
80333 München

T +49 (0)89/52 03 09-0

F +49 (0)89/52 03 09-900

### Hauptstadtbüro

Pariser Platz 4a  
10117 Berlin

T +49 (0)30/2 06 30 96-0

F +49 (0)30/2 06 30 96-11

### Brüssel-Büro

Rue d’Egmont /Egmontstraat 13  
1000 Brüssel (Belgien)

T +32 (0)2/2 13 81-80

F +32 (0)2/2 13 81-89

[www.acatech.de](http://www.acatech.de)

[info@acatech.de](mailto:info@acatech.de)

Diese Kurzfassung entstand auf Grundlage von: acatech (Hrsg.): *CCU und CCS – Bausteine für den Klimaschutz in der Industrie* (acatech POSITION), München: Herbert Utz Verlag 2018. Die Publikation ist erhältlich unter [www.acatech.de/publikationen](http://www.acatech.de/publikationen) oder [www.utzverlag.de](http://www.utzverlag.de).