



FOTO: ANDRIY ONUFRIVENKO/GETTY IMAGES

# Wie wird die Industrie klimaneutral?

## CO<sub>2</sub>-neutrale Produktion

Grüne Fertigungsprozesse sind für die Energiewende zwingend nötig – und möglich. Ein Überblick über Ideen, Technologien, Vorreiter, Pilotprojekte und Showstopper

VON MONIQUE OPETZ

**R**auchende Fabrikschlote, glühende Stahlschmelze, staubige Luft – das sind nicht gerade die Assoziationen, die man mit der Energiewende in Verbindung bringt. Die Industrie ist laut Umweltbundesamt verantwortlich für etwa ein Viertel aller Treibhausgasemissionen in Deutschland. Sie steht als CO<sub>2</sub>-Verursacher an zweiter Stelle nach der Energiewirtschaft. Um in Sachen Klimaschutz wirklich voranzukommen, ist der Industriesektor demnach eine wesentliche Stellschraube, an der zwingend gedreht werden muss.

Laut Klimaschutzpaket soll die Industrie in Deutschland bis 2045 treibhausgasneutral werden; EU-weit bis 2050. Von 1990 bis 2018 senkte die deutsche Indust-

rie zwar ihren Ausstoß von Treibhausgasen um mehr als 30 Prozent. Doch das reicht nicht. Für eine klimaneutrale Produktion müssen die Fertigungsprozesse in



### GREEN CHIPS

#### Neue Technologien für eine klimaneutrale Zukunft

Forschungseinrichtungen, Unternehmen, soziale Initiativen, Tüftler oder Erfinder versuchen, den Klimawandel zu stoppen. Sie alle haben eines gemeinsam: Sie sind getrieben von modernsten Technologien. CHIP stellt sie in dieser Rubrik vor.

energieintensiven Branchen wie der Stahl-, Zement- oder Chemieindustrie zum Teil komplett umgestellt werden. Gesucht werden Technologien, die ohne fossile Brenn- und Rohstoffe auskommen oder auf anderen Wegen Emissionen einsparen. Hier kommt die gute Nachricht: Diese Technologien gibt es bereits. Auch gibt es Konzepte zur Minderung von CO<sub>2</sub>-Emissionen, die prozessbedingt entstehen, die sich also selbst mit 100 Prozent Ökostrom nicht verhindern lassen. Doch die Transformation einer gesamten Branche ist zeit- und extrem kostenintensiv.

„Eine besondere Herausforderung gibt es in der Grundstoffindustrie, weil die sehr energieintensiv ist und derzeit auch für einen Großteil der direkten Treibhausgas-



FOTO: FRAUNHOFER UMSICHT

**CO<sub>2</sub> als Rohstoff nutzen**  
 Forscher des Fraunhofer-Instituts UMSICHT nutzen Katalysatoren, um Kohlenstoffdioxid aus der Zementindustrie zu gewinnen

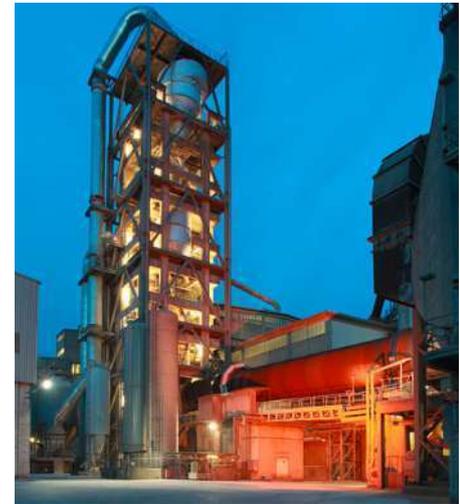


FOTO: PHOENIX ZEMENTWERKE KROEBUMWERK GMBH & CO. KG

**Unvermeidbares CO<sub>2</sub> auffangen**  
 In dem Verbundprojekt „CO<sub>2</sub>-Syn“ arbeiten Fraunhofer-Forscher mit den Phoenix-Zementwerken zusammen

emissionen des Industriesektors verantwortlich ist“, sagt Dr. Sascha Samadi vom Wuppertal Institut für Klima, Umwelt und Energie. Die Branchen, die derzeit die meisten CO<sub>2</sub>-Emissionen verursachen würden, seien die Stahlerzeugung, die Grundstoffchemie und die Zementherstellung, fasst der Co-Leiter des Forschungsbereichs Sektoren und Technologien für zukünftige Energie- und Industriesysteme zusammen. Um Emissionen einzusparen, muss die Industrie neue Prozesstechnologien etablieren.

**Wasserstoff für die Stahlindustrie**

Ein Stahlhersteller, der das bereits umsetzt, ist das weltweit größte Stahl- und Bergbauunternehmen ArcelorMittal. Momentan wird in Deutschland und Europa Primärstahl, also nicht recycelter Stahl, überwiegend in Kokskohle-Hochöfen hergestellt. Nicht so am Standort Hamburg, einem der energieeffizientesten Werke des Unternehmens: Hier setzt die Mannschaft auf einen elektrisch betriebenen Lichtbogenofen. Außerdem nutzt es als einziges westeuropäisches Stahlwerk eine mit Erdgas betriebene Direktreduktionsanlage.

In diesem speziellen Schachtofen entsteht zunächst das Vorprodukt Eisenschwamm. Hierfür wird der Rohstoff Eisenerz mithilfe eines Reduktionsmittels umgewandelt. Während des Prozesses wird der Sauerstoff entzogen, ohne dass der Rohstoff schmilzt. Der dabei entstandene Eisenschwamm wird schließlich im Elektrolichtbogenofen zu Stahl weiterverarbeitet. Pro Tonne Stahl stößt das Hamburger Werk nur etwa 800 Kilogramm Kohlendioxid aus. Zum Vergleich: Konventionelle Stahlhersteller, die auf klimaschädliche Kohle-Hochöfen setzen, erzeugen durchschnittlich 1.800 Kilogramm CO<sub>2</sub> pro Tonne Stahl.

Dabei geht es noch besser, sagt Forscher Samadi: „Es gibt auch die Möglichkeit, Schritt für Schritt das Erdgas durch Wasserstoff zu ersetzen.“ Wenn dieser Wasserstoff grün ist, also auf Basis erneuerbarer Energien CO<sub>2</sub>-frei hergestellt wird – dann sei das für die Stahlindustrie eine wesentliche Möglichkeit, klimaneutral zu werden. Denn am Ende entsteht anstelle von CO<sub>2</sub> nur noch Wasserdampf.

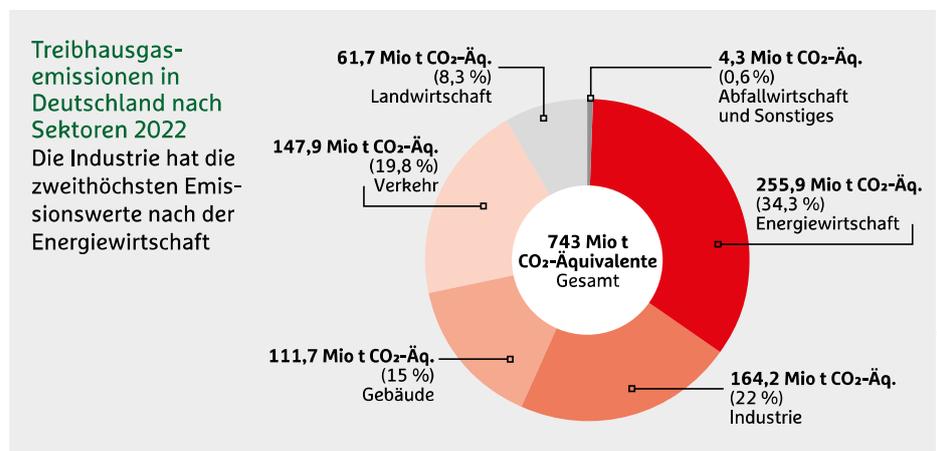
ArcelorMittal plant genau das. 55 Millionen Euro Bundesförderung hat die EU-Kommission für eine Pilotanlage Anfang des Jahres freigegeben. Auch die Salzgitter AG und Europas größtes Stahlwerk von ThyssenKrupp planen die klimafreundliche Umstellung ihrer Stahlproduktion. Sie wollen ebenfalls Direktreduktionsanlagen bauen und damit nach und nach die alten Hochöfen ersetzen. Um diese Pläne zu realisieren, muss allerdings die grüne Wasserstoffproduktion angekurbelt und die Infrastruktur zur Verteilung geschaffen werden.

**Unvermeidbare CO<sub>2</sub>-Emissionen**

Doch es gibt Sparten, bei denen sich CO<sub>2</sub>-Emissionen nicht vermeiden lassen. Wie

beispielsweise in der Zementindustrie, bei der prozessbedingte Emissionen erzeugt werden. Das heißt, um Zement herzustellen, ist sogenannter Zementklinker notwendig. Dieser entsteht bei etwa 900 Grad in Drehrohröfen, in denen Kalkstein und Ton gebrannt werden. Das wandelt den Kalkstein in Branntkalk um und setzt dabei das darin gebundene CO<sub>2</sub> frei. Diese prozessbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen machen über die Hälfte der gesamten Treibhausgasemissionen bei der Zementproduktion aus. Der Rest entsteht durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe, um die hohen Temperaturen zu erzeugen. Das Problem: Es gibt aktuell keine technologischen Alternativen, um Zement herzustellen.

Für diese unvermeidbaren Emissionen schlägt das Wuppertal Institut für Klima, Umwelt und Energie die CO<sub>2</sub>-Abscheidung und Speicherung vor, das sogenannte Carbon Capture and Storage (CCS). Diese



QUELLE: AGENTUR FÜR ERNEUERBARE ENERGIEN E. V.



FOTO: MONTY BAKUSEN/GETTY IMAGES

**Neue Möglichkeiten für die Stahlindustrie**  
Mit Direktreduktionsanlagen anstelle von Hochöfen kann Stahl klimaneutral hergestellt werden

Technik soll verhindern, dass das Treibhausgas in die Atmosphäre gelangt. Es gibt bereits verschiedene Verfahren für die Abscheidung. Das Baustoffunternehmen HeidelbergCement baut derzeit am Standort Hannover eine Demonstrationsanlage. Die Technologie des Abscheideprojekts LEILAC 2 fängt das bei der Zementherstellung freigesetzte CO<sub>2</sub> in hochreiner Form über einen separaten Abgasstrom auf. Das Verfahren nutzt keinerlei Chemikalien und es benötigt nur wenig zusätzliche Energie. Bis 2025 sollen 20 Prozent der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Zementwerks aufgefangen werden. Das entspricht etwa 100.000 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr.

Um Zementwerke in Zukunft mit CO<sub>2</sub>-Speicherstätten wie dem Meeresgrund der Nordsee zu verbinden, ist ein Pipeline-Netz nötig. Solch eine Infrastruktur gibt es allerdings noch nicht. Anstelle der Kohle für die Öfen kann zukünftig verstärkt Biomasse, Wasserstoff oder auch Strom eingesetzt werden.

### CO<sub>2</sub> für alternative Treibstoffe nutzen

Eine weitere Möglichkeit ist, das Kohlendioxid aufzufangen und als Rohstoff für neue Produkte zu nutzen. Diese Idee des Carbon Capture and Utilization (CCU) verfolgt das Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT in seinem Projekt „CO<sub>2</sub>-Syn“. Der Koordinator des Verbundprojektes Dr. Kai junge Puring erklärt, dass für bisherige CCU-Prozesse zunächst eine Abscheidung gemacht werde, um das CO<sub>2</sub> zu reinigen – und die sei enorm energieintensiv. „Hier setzen wir mit unserem Projekt an: Wir lassen die Capture-Einheit weg und versuchen, direkt mit dem verdünnten CO<sub>2</sub> in Abgasen zurechtzukommen“, sagt

er. Das Ziel sei, die Gase nicht vorher abzutrennen – wie normalerweise üblich –, sondern sie direkt im Prozess zu verwenden und so die teure Gastrennung zu vermeiden. Die Hoffnung: den CCU-Prozess energieeffizienter und somit wirtschaftlicher zu gestalten.

Das Verfahren ist ein zweistufiger Prozess vom Zementwerk-Abgas über die Elektrolyse zum Synthesegas. Katalysatoren seien dabei ein Schlüssel, erklärt junge Puring. „Wobei das Synthesegas der Zugang zur chemischen Industrie ist, da beinahe alle chemischen Produkte in irgendeiner Form aus Synthesegas gewonnen werden“, sagt Professor Ulf-Peter Apfel, Abteilungsleiter für Elektrosynthese am Fraunhofer UMSICHT. Und das werde heutzutage meistens aus fossilen Rohstof-



FOTO: WUPPERTAL INSTITUT / S. MICHAELIS

**„Wir müssen fossile durch klimaneutrale Energieträger ersetzen.“**

**Dr. Samir Samadi**

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie



FOTO: WITTHAVA PRASONGS/GETTY IMAGES

**Mammutaufgabe: Dekarbonisierung**  
Rund 22 Prozent der in Deutschland ausgestoßenen Treibhausgase werden durch die Industrie verursacht

fen gewonnen. Auch Olefine („ungesättigte“ Kohlenwasserstoffe) und höhere Alkohole stehen am Ende des Verfahrens zur Verfügung, die für Lösungsmittel, Farbverdünner oder für alternative Flugzeug-Treibstoffe verwendet werden können.

CO<sub>2</sub> aufzufangen und zu nutzen ist keine Lösung für Morgen, weil es noch einen sehr großen Forschungsbedarf gibt. Die Wissenschaftler sprechen von einer mittel- bis langfristigen Möglichkeit, die Zementindustrie klimaneutral zu gestalten. Ihre Vision ist eine Kreislaufwirtschaft: Sie wollen den Kohlenstoff als Kohlenstoffquelle der Industrie wieder zuführen und nutzbar machen. „Es ist die sinnvollste Option, erst mal den Kohlenstoff aus unvermeidbaren CO<sub>2</sub>-Quellen zu nehmen, weil er dort hoch konzentriert ist“, sagt Apfel. Und: „Wir werden immer Kohlenstoffbedarfe haben, gerade in der chemischen Industrie“, ergänzt junge Puring. In neue Methoden müsse zwar investiert werden, „aber kann man sie und den Verkauf von CO<sub>2</sub>-Produkten nicht nutzen, um das Zement-Kerngeschäft weiterhin profitabel zu betreiben?“, fragt er. Schließlich ließen sich so Kosten für teure CO<sub>2</sub>-Emissionszertifikate sparen.

### Emissionen vermeiden durch Kooperationen

Dass Industriesparten auch voneinander profitieren können, zeigt das Projekt „Westküste 100“. Die Erdöl-Raffinerie Heide will in den kommenden Jahren das europaweit größte industrielle Wasserstoffprojekt aus dem Boden stampfen und aus erneuerbaren Energien grünen Wasserstoff produzieren. Bisher nutzt die Raffinerie klimaschädlichen grauen Wasserstoff, der mit Erdgas hergestellt wird. Eine nachhaltige Produktion soll mithilfe von



FOTO: LONGHUA LIAO/GETTY IMAGES

**Essenziell: Erneuerbare Energien**  
Damit in Zukunft mehr grüner Strom genutzt werden kann, müssen Wind- und Solarenergie im Industriekontext mitgedacht werden

sollte zukünftig ein Großteil der Wärme durch Strom bereitgestellt werden.

### Wettbewerbsfähig durch Klimaschutzverträge

Unter den derzeitigen Rahmenbedingungen sind viele dieser neuen Prozesse jedoch nicht wirtschaftlich. Aktuell liegt der CO<sub>2</sub>-Preis in der EU bei etwa 100 Euro pro Tonne – zu niedrig, um mit nachhaltigen Fertigungsprozessen wettbewerbsfähig zu sein. Das heißt, entweder müsste der CO<sub>2</sub>-Preis deutlich ansteigen und dauerhaft sehr hoch bleiben oder die Umstellung auf eine klimaneutrale industrielle Produktion wird durch staatliche Förderung unterstützt. Ein Instrument dafür sind sogenannte Contracts of Difference, die gerade von der Bundesregierung initiiert werden. Diese Klimaschutzverträge geben den Unternehmen Sicherheit, dass sie mit ihrer klimafreundlichen Produktion konkurrenzfähig sein können, indem ein ausreichend hoher CO<sub>2</sub>-Preis über einen längeren Zeitraum garantiert wird. Wenn der tatsächliche CO<sub>2</sub>-Marktpreis im Emissionshandel niedriger liegen sollte, werden den Unternehmen die Differenzkosten der klimaneutralen Produktion erstattet.

Dabei gilt: Ob mit oder ohne Förderung – Summen, die heute investiert werden, prägen die Industrie für die kommenden Jahrzehnte, denn Maschinen und Anlagen haben eine Laufzeit von 30 Jahren und mehr. Die Umstellung auf erneuerbare Energien und grüne Fertigungsprozesse muss jetzt passieren. Investments in neue alte Technologien sind ein No-Go.

[redaktion@chip.de](mailto:redaktion@chip.de)

Windenergie und Elektrolyse-Anlagen gewinnen. Das Ziel: jährlich eine Million Tonnen CO<sub>2</sub> einzusparen und die Dekarbonisierung in den Bereichen Wärme, Verkehr, Industrie und Chemie voranzutreiben.

Damit der Wasserstoff durchgehend genutzt werden kann, ist ein unterirdischer Speicher geplant, eine sogenannte Kaverne. Die Pilotanlage soll eine Leistung von 30 Megawatt haben. Wenn alles klappt, soll eine 700-Megawatt-Anlage dazukommen. Zum Vergleich: Die europaweit größte Anlage steht derzeit in Spanien und powert mit 20 Megawatt.

Neben dem Wasserstoff will die Raffinerie künftig umweltfreundliche, synthetische Kraftstoffe für den Flug- und Schiffsverkehr herstellen. Dafür benötigt sie grünen Wasserstoff und Kohlendioxid. An dieser Stelle kommt der Zementhersteller Holcim in Spiel, der ganz in der Nähe ansässig ist – und jede Menge CO<sub>2</sub> abzugeben hat, damit er so seine Emissionen senken kann. Und um das CO<sub>2</sub> möglichst rein abzuscheiden, wird Sauerstoff benötigt. Der wiederum fällt bei der Herstellung von Wasserstoff in der Raffinerie als Abfallprodukt an. Eine eindeutige Win-win-Situation für beide Seiten.

### Politik und Gesellschaft ins Boot holen

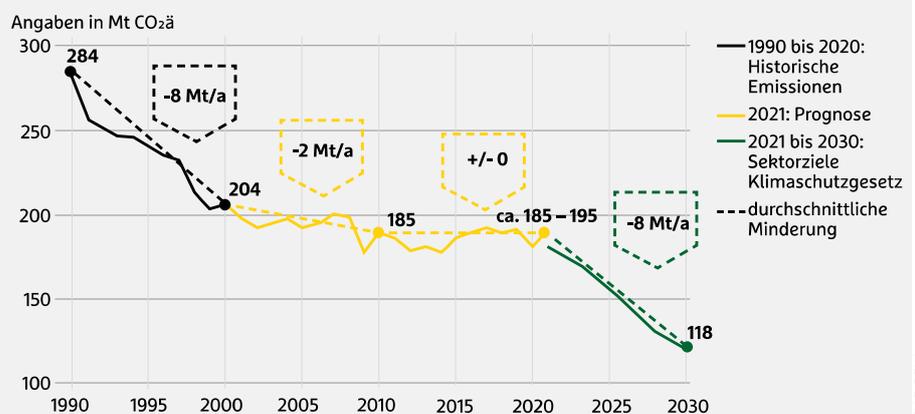
An Ideen, Konzepten und umweltfreundlichen Technologien mangelt es nicht. Das machen auch vom Wuppertal Institut erarbeitete Klimaschutzenszenarien deutlich. „Sie zeigen, dass es möglich ist, mit den Technologien, die heute bereits auf dem Markt verfügbar sind oder absehbar in den nächsten Jahren verfügbar sein werden, die Industrie bis 2045 weitgehend treibhausgasneutral zu betreiben“, sagt Samir Samadi. Dafür seien jedoch starke Verän-

derungen notwendig, zudem sei ein ausreichend gesellschaftlicher und politischer Konsens wichtig. „Wenn es dann konkret wird, sind der politische Wille und die gesellschaftliche Unterstützung dafür ausreichend groß, dass wir diese Schritte auch gehen?“, fragt er und schiebt ein „ich hoffe es“ hinterher.

Damit zukünftig mehr grüner Strom genutzt werden kann, seien der Ausbau erneuerbarer Energien sowie weiter steigende CO<sub>2</sub>-Zertifikatspreise nötig. Dort, wo es umsetzbar ist, sollten bei der Nutzung von Strom für die Wärme- und Dampfbereitstellung auch Hochtemperatur-Wärmepumpen eingesetzt werden, zählt er auf. Diese würden den Strombedarf deutlich reduzieren. Außerdem könnten sie für viele – wenn auch nicht alle – Prozesse in der chemischen Industrie und auch in anderen Industriebranchen ein ausreichendes Temperaturniveau bereitstellen. Generell gelte: In der Industrie

### Treibhausgasemissionen der Industrie und Ziele bis 2030

Damit die Industrie bis 2045 klimaneutral produziert, müssen Fertigungsprozesse weiterentwickelt oder durch neue Prozesstechnologien ersetzt werden. Der Energiebedarf sollte größtenteils aus Wasserstoff und Strom gedeckt werden



QUELLE: DENA