

# TREIBSTOFF AUS DEM STAHLWERK

TEXT: PETER HERGERSBERG

64

Rund sechs Prozent des weltweiten CO<sub>2</sub>-Ausstoßes stammen aus der Stahlindustrie. Um deren Klimabilanz zu verbessern, verfolgt das Carbon2Chem-Projekt einen ungewöhnlichen Ansatz: Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler unter anderem des Max-Planck-Instituts für chemische Energiekonversion und der Thyssenkrupp AG untersuchen darin, wie sich das Treibhausgas als Rohstoff für Chemieprodukte nutzen lässt, die bislang aus Erdöl erzeugt werden.

Kohlendioxid – für fast alle ist das ein Problem, für manche könnte es aber auch die Lösung sein. Egal, in welche Bereiche der Gesellschaft und der Ökonomie man blickt, die meisten wollen das Zeug irgendwie loswerden, und viele haben noch keinen perfekten Plan, wie. Zum Beispiel die Stahlindustrie. Sie könnte Eisenerz künftig zwar auch mit Wasserstoff oder vielleicht sogar mit Strom statt Kohle in Eisen verwandeln, doch das ist mit vielen Herausforderungen verbunden, wie oft etwas verharmlosend formuliert wird. Und selbst wenn diese ge-

meistert werden, fallen in anderen Schritten der Stahlerzeugung noch erkleckliche Mengen CO<sub>2</sub> an. Noch größer ist die Not bei Müllverbrennungsanlagen oder Zementwerken – sie können ihren CO<sub>2</sub>-Ausstoß kaum reduzieren. Damit das Treibhausgas nicht in die Atmosphäre gelangt und den Klimawandel weiter anheizt, haben sie nur zwei Möglichkeiten: abfangen und in unterirdische Speicher pressen oder jemanden finden, der damit etwas anfangen kann. Und tatsächlich gibt es einen möglichen Abnehmer – die Chemieindustrie. Sie könnte CO<sub>2</sub> als Rohmaterial nutzen, um daraus Kunststoffe, Farben oder Treibstoffe zu produzieren. Bislang verwendet sie dafür vor allem Erdöl, das letztlich nicht nur den Klimawandel anheizt, sondern zudem auch nur begrenzt verfügbar ist.

Wie sich CO<sub>2</sub>-haltiges Abgas für die Chemieproduktion nutzen lässt – Fachleute sprechen dabei von Carbon Capture and Use, kurz CCU –, das erforschen Wissenschaftlerinnen und

Wissenschaftler im Carbon2Chem-Projekt. Das Anwendungsbeispiel: die Stahlindustrie. Aus diesem Grund ist die Thyssenkrupp AG einer der wesentlichen Partner in diesem Projekt – sie könnte die Technik nicht nur selbst nutzen, sondern auch anderen Stahlproduzenten anbieten. Maßgeblich beteiligt sind außerdem Teams des Max-Planck-Instituts für chemische Energiekonversion in Mülheim und des Oberhausener Fraunhofer-Instituts für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik (kurz: Umsicht). Darüber hinaus haben sich auch weitere Industrieunternehmen und Forschungseinrichtungen dem Vorhaben angeschlossen, das vom Bundesforschungsministerium seit 2016 mit gut 140 Millionen Euro gefördert wird. „Mit Carbon2Chem wollen wir zeigen, dass sich CO<sub>2</sub> auch unter den realen Bedingungen der Industrie für die Synthese etwa von Methanol eignet“, erläutert Robert Schlögl, Direktor am Max-Planck-Institut für chemische Energiekonversion und einer der Initiatoren von Carbon2Chem.

→

Rauchende Rohstoffquelle:  
Im Duisburger Werk von  
Thyssenkrupp erforscht das  
Carbon2Chem-Team, wie  
sich CO<sub>2</sub> aus der Stahlproduk-  
tion sinnvoll nutzen lässt.

FOTO: PICTURE ALLIANCE / JOCHEN TACK



Auf Methanol haben es die Projektpartner abgesehen, weil die Chemie zum einen schon reichlich Erfahrung hat, wie sich dieser Alkohol aus  $\text{CO}_2$  herstellen lässt. Zum anderen dient er der Chemieindustrie als Ausgangsmaterial für einige Kunststoffe und andere Erzeugnisse – 70 Millionen Tonnen verbraucht sie davon weltweit pro Jahr. Das ist zwar nicht gerade viel angesichts der gut zwei Milliarden Tonnen  $\text{CO}_2$ , die Stahlunternehmen auf der ganzen Welt jährlich ausstoßen und die rund 1,4 Milliarden Tonnen Methanol ergäben. Doch 70 Millionen Tonnen sind ein Anfang, und der Bedarf könnte steigen, nicht nur in der Chemieproduktion. Methanol eignet sich auch als Treibstoff für jene Verkehrssparten, die – wie etwa die Luftfahrt – auf absehbare Zeit noch nicht ohne flüssigen Sprit auskommen. Neben Methanol synthetisieren die Carbon2Chem-Partner aus  $\text{CO}_2$  zudem Harnstoff, den die Chemieindustrie ebenfalls im großen Stil benötigt.

hier dem Labor bereits entwachsen. Die Anlage ist in der ersten Phase des Projekts entstanden und erledigt eine wesentliche Aufgabe, wenn es darum geht, Stahlwerke oder andere industrielle  $\text{CO}_2$ -Schleudern als Rohstoffquellen für chemische Produkte anzuzapfen: Sie reinigt etwa das Hüttengas, das von der Pipeline abgezweigt wird. Denn aus den Schornsteinen der Eisenverhüttung, aber auch eines Zementwerks oder einer Müllverbrennungsanlage quillt eine wilde Mischung aller möglicher Substanzen, und das auch noch mit schwankenden Anteilen. Für Chemiker, die einen industriellen Prozess möglichst kontrolliert betreiben wollen, ist das ein Albtraum. Immerhin enthält Hüttengas mit  $\text{CO}_2$ , Kohlenmonoxid und Wasserstoff auch alle Komponenten des sogenannten Synthesegases, das die chemische Indust-

rie bislang aus Erdgas oder Kohle eigens für die Methanolproduktion erzeugt. Im Hüttengas ist allerdings keine ausreichende Menge Wasserstoff enthalten, er muss zugesprochen werden – woher, ist auch ein Thema für Carbon2Chem.

Nina Kolbe, bei Thyssenkrupp für das Carbon2Chem-Teilprojekt „ $\text{CO}_2$ -Quellen und Infrastruktur“ verantwortlich, zeigt, wo in dem Röhrengeirr einzelne Bestandteile des Gasgemisches entfernt und die Komponenten in ein gewünschtes Mengenverhältnis gebracht werden. Da gibt es etwa Module, die schwefelhaltige Substanzen oder Ammoniak entfernen, und solche, die bei Bedarf auch  $\text{CO}_2$  auswaschen. Wie gründlich eine Komponente aus dem Abgas entfernt wird, können die Forschenden steuern. „Wir reinigen das Gas so gut wie

66

## Mehr Produktionsstätte als Chemielabor

Da es in dem Projekt darum geht, die Prozesse industrietauglich zu machen, arbeiten einige der Forscherinnen und Forscher in einem sogenannten Technikum auf dem Werksgelände von Thyssenkrupp in Duisburg. Schon auf den ersten Blick sieht hier alles nach Industrie aus. Zwei Pipelines, so dick wie Kanalrohre und von Brückenpfählern getragen, säumen das Gelände. Durch sie strömen die Gase, die bei der Stahlproduktion entstehen, vor allem Hüttengas aus den Hochöfen. Deren Wärme nutzt Thyssenkrupp unter anderem, um daraus Strom zu erzeugen. Schon beim Blick durch das Werkstor zum Carbon2Chem-Areal fällt eine Anlage auf: So hoch wie ein sechsstöckiges Haus türmen sich da, eingefasst in ein knallgelbes Gerüst, Stahlleitungen und -kessel. Das sieht eher nach einer chemischen Produktionsstätte aus als nach chemischer Forschung, die man eher mit Glaskolben und Reagenzgläsern verbindet. Ganz offensichtlich ist die Wissenschaft

Auf der Suche nach Störfaktoren: Im Carbon2Chem-Labor am Fraunhofer-Institut Umsicht analysiert ein Max-Planck-Team unter anderem, welche Bestandteile des Hüttengases die Methanolsynthese beeinträchtigen. Zu diesem Zweck mischen die Forschenden in einer eigens konstruierten Anlage nach Bedarf schmutziges Synthesegas aus verschiedenen Komponenten, die aus Gasflaschen im gelben Schrank (rechts im Bild) zugeführt werden.



nötig und so kostengünstig wie möglich“, sagt Nina Kolbe. Ob das Gas sauber genug ist, überprüfen Mitarbeitende von Holger Ruland, Leiter der Carbon2Chem-Arbeitsgruppe in Robert Schlögl's Abteilung, in einem Labor nebenan. Es ist vollgepackt mit Messinstrumenten und Elektronik, um die Eigenschaften des Gases zu analysieren. Vor allem nutzen die Forschenden hier ein Protonentransfer-Massenspektrometer, das auch knifflige Gasmixturen im laufenden Betrieb analysieren kann und unter einer Million Teilchen einige wenige eines bestimmten Gases aufspürt.

Wie sich die Methanolsynthese mit Hüttengas möglichst effizient fahren lässt und woran es liegt, wenn sie stottert, sind Fragen, denen Ruland's Team ebenfalls nachgeht – am zweiten Standort des Projekts, dem Carbon2-

Chem-Labor am Fraunhofer-Institut Umsicht, etwa eine halbe Stunde Autofahrt vom Duisburger Technikum entfernt. In der Halle, die einem Basketballfeld Platz bieten dürfte, deutet Holger Ruland auf einen Kasten, der einen kleinen Frachtcontainer nicht ganz zur Hälfte ausfüllen würde: „Das ist Schmusy.“ Von der Decke führen fingerdicke Stahlrohre in die maßgefertigte Apparatur, in der zahlreiche Ventile, Leitungen, Regler und elektronische Steuerelemente auszumachen sind. „Damit können wir schmutziges Synthesegas erzeugen – daher der Name Schmusy“, erklärt er. Anders als in Hüttengas oder anderen Abgasen von Industrieanlagen können die Forschenden mit Schmusy die Verunreinigungen genau dosieren und so ermitteln, welche Komponenten etwa des Hüttengases in welchen Mengen den industriell bereits etab-

lierten Prozess der Methanolsynthese beeinträchtigen. „Vor allem die üblichen Verdächtigen stören“, sagt Holger Ruland. Das sind zum Beispiel alle schwefelhaltigen Substanzen und größere Mengen Sauerstoff, von denen schon bekannt ist, dass sie Probleme machen. Denn sie vergiften den Katalysator aus Kupfer-, Zink- und Aluminiumoxid, der das denkbar reaktionsträge  $\text{CO}_2$  und den Wasserstoff aktiviert, damit diese sich zu Methanol und Wasser vereinigen.

Alles in allem hat sich die Methanolsynthese bislang als ziemlich unempfindlich gegenüber dem meisten Schmutz in den fraglichen Abgasen erwiesen. „Viele haben bezweifelt, dass der Standardkatalysator mit  $\text{CO}_2$  aus den Abgasen funktioniert, weil ihn die größere Menge Wasser, die dann entsteht, deaktivieren sollte“, sagt Ru-



FOTO: THOMAS HOHRK/MPI FÜR CHEMISCHE ENERGIEKONVERSION



Läuft: Christian Froese, Forscher des Max-Planck-Instituts für chemische Energiekonversion, kontrolliert im Oberhausener Carbon2Chem-Labor eine Methanolsynthese. Die Vakuumröhren im Vordergrund sind Teil eines Massenspektrometers.

land. Dass dies nicht geschieht, ist für die industrielle Umsetzung des Carbon2Chem-Konzepts eine gute Nachricht, denn einen neuen Katalysator zu suchen, kann ziemlich mühsam sein. Trotzdem ist die Arbeit der Chemiker noch nicht getan. Denn nicht nur, dass die Forschenden um Holger Ruland und Robert Schlögl den Prozess im Detail verstehen wollen, sie möchten ihn möglichst auch noch verbessern und an andere Abgase als die der Eisenverhüttung anpassen. Ein praktisch relevantes Problem haben die Chemiker beobachtet. „In Experimenten über mehrere Tau-

send Stunden verliert der Katalysator manchmal seine Aktivität, und irgendwann kommt sie wieder“, sagt Schlögl. Die Forscher haben schon einen Verdacht, woran es liegen könnte: an zu viel Sauerstoff. „Vielleicht reichen unsere Maßnahmen, den variierenden Sauerstoffanteil zu entfernen, nicht aus“, so Schlögl. Allerdings ist auch noch unklar, ob sich die unkontrollierten Aussetzer in einer industriellen Anlage überhaupt bemerkbar machen würden. „Wenn in einer Anlage mit 25 Tonnen Katalysator mal ein Kilo nicht funktioniert, ist das kein Problem“, so Schlögl.

## AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Mit CO<sub>2</sub> aus Abgasen der Stahlindustrie – aber auch von Müllverbrennungsanlagen und Zementwerken – Methanol und andere chemische Grundstoffe zu produzieren, könnte den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck dieser Branchen reduzieren.

Im Carbon2Chem-Projekt haben Forschende festgestellt: Die etablierte Methanolsynthese mit Industrieabgasen ist möglich.

Ob das Konzept weit verbreitete Anwendung findet, hängt unter anderem davon ab, ob sich dafür genügend günstiger Wasserstoff mit erneuerbaren Energien erzeugen lässt.

Ob das launische Verhalten auch im großtechnischen Betrieb relevant ist und ob unter diesen Bedingungen vielleicht noch andere Schwierigkeiten auftreten, sind Fragen, die Forschende des Fraunhofer-Instituts Umsicht mit einer kleinen Demoanlage, aus der pro Stunde zwei Liter Methanol fließen, untersuchen. Der nächste Schritt soll eine Demoanlage im Duisburger Technikum sein, die mehrere Tausend Tonnen pro Jahr produziert. „Damit wollen wir beweisen, dass der Prozess auch im großen Maßstab und auf lange Zeit stabil arbeitet“, sagt Holger Ruland.

Dann wird die Methanolsynthese aus Hüttengas auch mit Wasserstoff gefüttert, der im Technikum erzeugt wird. Denn dem Klimaschutz dient der Prozess nur, wenn der Wasserstoff grün ist, also mithilfe von regenerativ erzeugtem Strom aus Wasser gewonnen wird. Das Problem ist, dass Windkraft und Fotovoltaik derzeit nur selten mehr Strom liefern, als gebraucht wird. Um im großen Stil grünen Wasserstoff produzieren zu können, müssten erneuerbare Stromquellen massiv ausgebaut werden, zu-

mal viele Bereiche der Wirtschaft bei ihrer klimafreundlichen Neuausrichtung auf Wasserstoff setzen, nicht zuletzt die Eisenverhüttung. Und selbst wenn es genügend Anlagen gibt, die den Bedarf prinzipiell decken könnten, wird das Angebot immer schwanken. Das bedeutet: Die Elektrolyse, die Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff spaltet, muss flexibel arbeiten und in einer windstillen Nacht wahrscheinlich sogar ganz gestoppt werden. Solche unkalkulierbaren Bedingungen machten den Betreibern von Elektrolyseuren bislang Sorgen: Sie fürchteten, dass die Anlagen damit nicht klarkämen und schnell den Dienst einstellen. Ob ihre Bedenken berechtigt sind, haben Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Thyssenkrupp AG und des Duisburger Zentrums für Brennstoffzellen-Technik ebenfalls untersucht.

Wo, kann man zurück im Duisburger Technikum sehen – in einer Halle, die etwa so hoch ist wie die Gasreini-

gungsanlage und nur ein paar Schritte davon entfernt steht. Um sie zu betreten, sind spezielle Sicherheitsvorkehrungen nötig, weil die Anlage mit Hochspannung und ätzender Lauge arbeitet. Aber ein Blick durchs Tor ist erlaubt. Im Elektrolyseur, der, eingehegt von einem Gerüst, nur relativ wenig Platz in der großen Halle braucht, sind brusthohe, hintereinander aufgereichte Platten zu erkennen. Zwischen ihnen entsteht der Wasserstoff. Das Gerät hat eine Tochterfirma von Thyssenkrupp entwickelt – sie vertreibt es bereits kommerziell. Und es ist flexibler als gedacht: Selbst bei unzeitigem Stromangebot läuft es einwandfrei. Ein weiteres Ergebnis, das der Anwendung des Carbon-2Chem-Konzepts den Weg ebnet.

Technisch steht dem CCU-Vorhaben, Abgase etwa der Stahlindustrie als Rohstoffquelle für Teile der Chemieproduktion zu nutzen, also nicht mehr viel im Wege. Ob die beiden Branchen das Konzept künftig umsetzen wer-

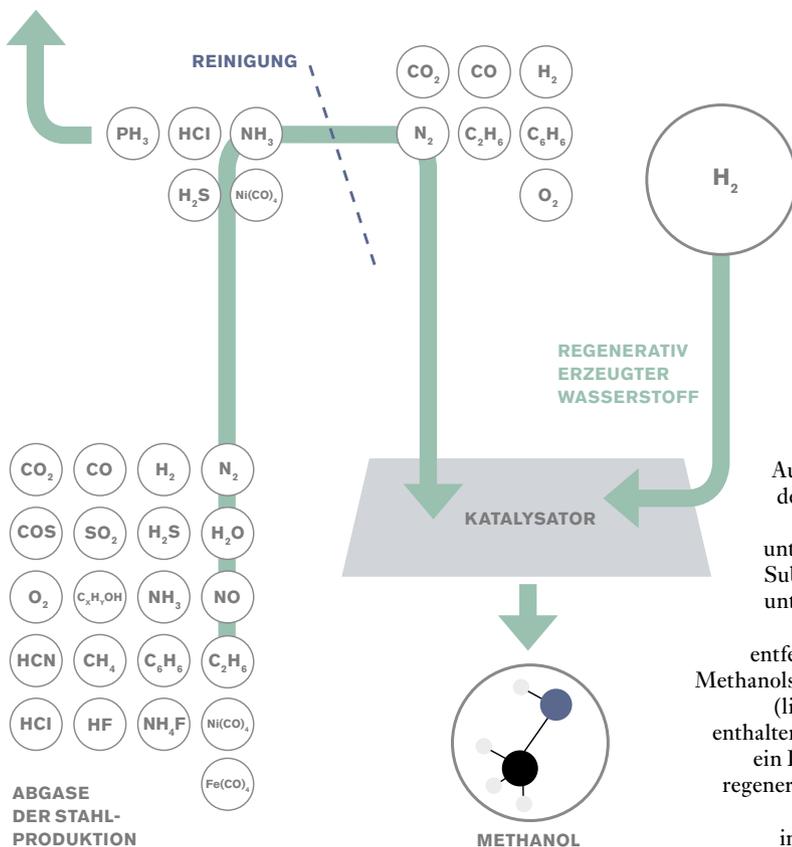
den, ist trotzdem noch offen. Da geht es um langfristige Investitionssicherheit und natürlich um die Kosten. „Sind die Kunden bereit, für grünen Stahl oder grünes Methanol einen Aufschlag zu zahlen?“, fragt Nina Kolbe. Der Klimaschutzbeitrag würde etwa beim Kauf eines Autos vielleicht ein paar Hundert Euro ausmachen. Unter den richtigen politischen und ökonomischen Rahmenbedingungen könnten solche Güter auch bei höheren Produktionskosten konkurrenzfähig sein. Der künftige CO<sub>2</sub>-Preis ist hier ein Faktor, aber nicht der wichtigste. „Eine entscheidende Frage ist, ob wir genügend günstigen Wasserstoff und dafür genügend regenerativ erzeugten Strom haben“, betont Holger Ruland ebenso wie andere Fachleute, die sich mit solchen CCU-Techniken beschäftigen.

## Ein Weltmarkt für erneuerbare Energie

Robert Schlögl geht zwar davon aus, dass Wasserstoff deutlich billiger würde, wenn Elektrolyseure nicht mehr mit Manufaktur-, sondern mit moderner Fertigungstechnik gebaut werden. Doch das ändert nichts daran, dass es in Deutschland auch künftig wahrscheinlich nicht genügend grünen Strom gibt. Dem Mangel könnten Länder mit mehr Sonne und Wind abhelfen – zum Beispiel Namibia. Die Bundesregierung hat gerade eine Wasserstoffkooperation mit dem Staat im südlichen Afrika vereinbart: Eine Machbarkeitsstudie und ein Pilotprojekt sollen aufzeigen, ob Namibia zum Wasserstoffexporteur werden kann.

Das wäre auch ein Schritt hin zu einem Weltmarkt für erneuerbare Energie, so wie es ihn derzeit für fossile Brennstoffe gibt. In einem globalen Handel etwa mit Wasserstoff sieht Robert Schlögl, der die Wasserstoffstrategie der Bundesregierung mitentwickelt hat, das beste Mittel, Produkte aus Deutschland im weltweiten Wettbewerb konkurrenzfähig zu halten – ein besseres noch als EU-Zölle auf klimaschädliche Importe: „Dann bezahlen

GRAPHIK: GCGO NACH HOLGER RULAND/MPI FÜR CHEMISCHE ENERGIEKONVERSION



Aus den Abgasen der Stahlproduktion mit vielen unterschiedlichen Substanzen (links unten) werden die Komponenten entfernt, die bei der Methanolsynthese stören (links oben). Das enthaltene CO<sub>2</sub> wandelt ein Katalysator mit regenerativ erzeugtem Wasserstoff in Methanol um.





Industriennahe Forschung: Mit dieser Anlage im Carbon2Chem-Technikum untersuchen Forschende schon beinahe im großtechnischen Maßstab, wie gut sich Gase, die bei der Stahlproduktion entstehen, reinigen lassen.

70

alle die erhöhten Preise.“ Das setzt natürlich voraus, dass es auch eine globale Nachfrage gibt, weil sich die Welt von fossilen Energieträgern abwendet. Schlögl ist da recht zuversichtlich: „Keiner kann die Berichte des Weltklimarats und die offensichtlichen Zeichen des Klimawandels mehr ignorieren.“

Allerdings genügt die Einsicht allein nicht, gerade Schwellenländer müssen sich die klimafreundliche Umgestaltung der Industrie auch leisten können. Zudem sind die Carbon2Chem- und andere CCU-Techniken gerade in puncto Klimaschutz vielleicht noch nicht effektiv genug. „Jedes System, das am Anfang fossile Rohstoffe nutzt und am Ende CO<sub>2</sub> freisetzt, ist problematisch, wenn wir klimaneutral werden wollen“, sagt Stefan Lechtenböhrer, der am Wuppertal Institut erforscht, wie sich Energie- und Industriesysteme klimafreundlich umgestalten lassen. Kurz- und mittelfristig könne CCU auf dem Weg zur klimaneutralen Wirtschaft

durchaus helfen, vor allem wenn das CO<sub>2</sub> in langlebige Produkte verwandelt wird: „Auf jeden Fall hat man das CO<sub>2</sub> dann gewissermaßen zweimal genutzt, und je nach Produkt auch für einige Jahrzehnte gespeichert.“ Der Wirtschaftswissenschaftler gibt aber zu bedenken, dass Kohlenstoff auf Dauer nur noch dort eingesetzt werden sollte, wo es keine Alternativen gibt. Stahl kann jedoch mit Wasserstoff erzeugt werden, nahezu ohne den Einsatz von Kohlenstoff. „Weil die Investitionszyklen in der Stahlindustrie lang sind, sollten wir gerade auch auf diese Lösung setzen. Wir könnten sonst Probleme bekommen, wenn wir bis 2045 netto kein CO<sub>2</sub> mehr ausstoßen wollen.“

Um künftig einmal verschiedene Routen nehmen zu können, findet Lechtenböhrer ein Projekt wie Carbon2Chem dennoch wichtig. Diese Haltung teilt Nina Kolbe selbstredend – auch in der Frage, ob die Stahlindustrie Eisen mit Wasserstoff statt Kohle erzeugen und damit CO<sub>2</sub> vermeiden

oder ob sie das Treibhausgas nutzen soll: „Beim Klimaschutz passiert in der Industrie weltweit derzeit sehr viel“, sagt die Wissenschaftlerin. „Wir sollten die beiden Ansätze verfolgen, um die CO<sub>2</sub>-Emissionen möglichst schnell und kostengünstig reduzieren zu können.“

←

---

## GLOSSAR

*CARBON CAPTURE AND USE (CCU)*  
nutzt CO<sub>2</sub> aus Industrieabgasen für die Chemieproduktion.

*HÜTTENGAS*  
entsteht im Hochofenprozess, in dem Eisenerz mit Kohlekoks zu Roheisen reduziert wird, und macht den größten Teil der CO<sub>2</sub>-haltigen Abgase im Stahlwerk aus. Daneben fallen bei der Umwandlung von Kohle in Koks Kokereigas und von Eisen in Stahl Konvertergas an.

---

# Warum so nachlässig?



Im Alter wird die biochemische Qualitätskontrolle in menschlichen Zellen nachlässig und das kann zu Alzheimer führen – eine gefürchtete Diagnose.

Franz-Ulrich Hartl und Ralf Jungmann wollen die Entstehungsprozesse dieser Mülldeponien in den Zellen besser verstehen.

Wir unterstützen ihr Projekt am Max-Planck-Institut für Biochemie, denn die tiefere zellbiologische Erkenntnis kann wichtige Hinweise auf mögliche Therapieformen liefern.

Die Max-Planck-Förderstiftung unterstützt seit über zehn Jahren die Max-Planck-Gesellschaft, indem sie an den mehr als 80 Instituten gezielt innovative und zukunftsweisende Spitzenforschung fördert und so Durchbrüche in der Wissenschaft ermöglicht. Im weltweiten Wettbewerb der Wissenschaften können Sie als privater Förderer einen entscheidenden Unterschied machen und Freiräume schaffen. Gehen Sie mit uns diesen Weg!

**Max-Planck-Förderstiftung**  
**Deutsche Bank**  
**IBAN DE46 7007 0010 0195 3306 00**

[www.maxplanckfoundation.org](http://www.maxplanckfoundation.org)



**MAX PLANCK**  
Förderstiftung