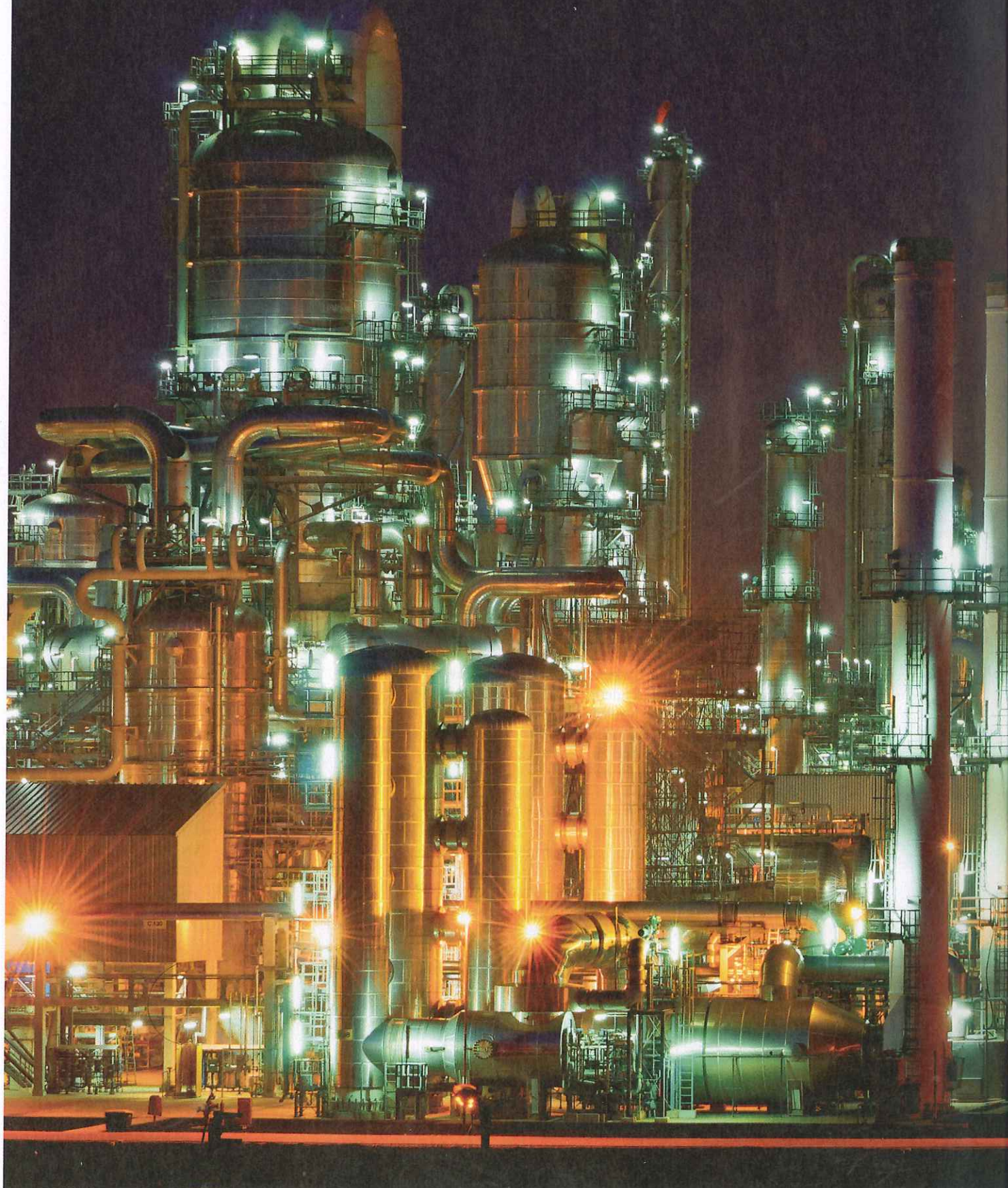


In der chemischen Industrie ist CO₂ allgegenwärtig. Was läge daher näher, als das Abgas in Zukunft als Wertstoff zu nutzen?



CO₂, gepackt in DOSEN

Der Kraftwerksbetreiber EVN will TREIBHAUSGASE einer neuen Bestimmung zuführen: Künftig soll CO₂ nicht mehr aus Schloten himmelwärts steigen, sondern als Wertstoff weiterverkauft werden.

TEXT: DANIEL POHSELT UND MARTIN KUGLER

Im kalorigen Kraftwerk Dürnrohr hatte man für Innovationen immer schon ein offenes Ohr. Und so erzeugt die EVN bei Zwentendorf nicht nur Energie für mehrere 100.000 Haushalte. Sie verwertet auch die bei der Stromerzeugung anfallenden Nebenprodukte: Flugasche geht in die stoffliche Verwertung der Zementindustrie, der Anfall des verwendeten Rauchgasentschwefelungsprodukts findet als Bergbaumörtel in Gipswerken neue Anwendung. „Nur Kohlendioxid (CO₂) verwerten wir noch nicht“, erzählt Gerald Kinger.

Dass sich das bald ändern könnte, daran glaubt der Chemiker in der Abteilung Kraftwerksbau der EVN fest: In einer angekoppelten Versuchsanlage wäscht man seit Mitte 2009 CO₂ aus den Abgasen und reinigt es anschließend. Vorerst ist es nur ein kleiner Teil der Hunderttausende von Tonnen CO₂, die hier jährlich emittiert werden. Doch sind einmal größere Mengen möglich, könnte das abgetrennte CO₂ der Industrie als Rohstoff angeboten werden. Ein Hoffnungsschimmer, denn Brüssel will Kraftwerksbetreiber schon ab 2013 für die Emissionen zur Kasse bitten: CO₂-Zertifikate müssten dann zugekauft werden.

Noch ist freilich kein kommerzielles Abscheideverfahren verfügbar, mit dem man Kohlendioxid an einer CO₂-Abgabe „vorbeischummeln“ könnte. „Selbst auf die Frage, welche Technologie sich durchsetzen wird, gibt es derzeit keine eindeutige Antwort“, sagt Günter Gronald, F&E-Projekt-



CO₂ IST LEBEN

KOHLENDIOXID ist in den letzten Jahren als „Bösewicht“ in das öffentliche Bewusstsein gerückt: als Auslöser für die globale Erwärmung. Ganz vergessen wird, dass CO₂ zum einen eine lebenswichtige Substanz ist. Pflanzen stellen aus CO₂ und Lichtenergie Zucker, Proteine etc. her. Auch unser Körper war einmal CO₂ – und wird wieder zu CO₂ (und zu Staub) werden.

ZUM ANDEREN IST CO₂ auch ein wichtiger Grundstoff in der chemischen Industrie. Das Gas ist Ausgangspunkt für die Herstellung vieler Kunststoffe, Düngemittel, Medikamente oder Lebensmittel. Hergestellt wird das dafür benötigte CO₂ derzeit fast durchwegs aus Erdgas. In Zukunft könnte aus Rauchgasen abgetrenntes CO₂ für solche Zwecke eingesetzt werden.



FOTO: FOTOLIA/ERIC MIDDELKOOP, FOTOLIA/DKIMAGES

LEXIKON

CARBON CAPTURE. Darunter versteht man Verfahren, mit denen man CO_2 aus Verbrennungsprozessen abtrennt. Es gibt grundsätzlich zwei Möglichkeiten: Bei „Pre-Combustion“-Methoden wird Kohlenstoff noch vor der Verbrennung aus dem Brennstoff entfernt, bei „Post-Combustion“-Methoden wird CO_2 hingegen erst aus dem Rauchgas abgetrennt.

SEQUESTRATION. Viele Energieunternehmen versuchen, das abgetrennte CO_2 tief unter die Erdoberfläche zu pumpen und dort langfristig zu lagern. Infrage kommen beispielsweise geleerte Erdgasfelder oder Sedimentschichten, deren Poren mit Salzwasser gefüllt sind.

CCS lautet der Überbegriff über Verfahren, mit denen CO_2 abgetrennt und in die Erde verpresst wird („Carbon Capture and Storage“ oder „Carbon Capture and Sequestration“). Einen allgemein akzeptierten deutschen Begriff dafür gibt es nicht.

» manager bei Austrian Energy & Environment (AE&E) Austria. Neben drei alternativen Verfahren setzen Experten große Hoffnungen in die CO_2 -Wäsche. In Dürnröhr testet man Letztere im Rahmen eines vom Infrastrukturministerium geförderten Projekts im Rahmen des Programms „Fabrik der Zukunft“. Partner der EVN sind der Anlagenbauer AE&E, der Hersteller ionischer Flüssigkeiten proionic und die Montanuniversität Leoben.

Forscher zerbrechen sich seit vielen Jahren den Kopf darüber, wie man das bei der Verbrennung unvermeidlich anfallende CO_2 abfangen kann, damit es nicht in die Atmosphäre gelangt. Grundsätzlich werden zwei Richtungen verfolgt: Bei „Post-Combustion“-Technologien wird das CO_2 aus dem Rauchgas herausgeholt. Bei „Pre-Combustion-Technologien“ dagegen wird der Kohlenstoff bereits vor der Verbrennung aus dem Brennstoff entfernt. Das kann z. B. dadurch geschehen, dass man feste Brennstoffe vergast – Holz oder Kohle zerfallen bei bestimmten Bedingungen zu einem Gemisch aus Kohlendioxid und Wasserstoff. Das CO_2 wird aus diesem Gasstrom abgetrennt, der Wasserstoff wird in Spezialturbinen zur Strom- und Wärmeabgewinnung verbrannt. Dieser Prozess benötigt freilich Energie – was den Wirkungsgrad dieser Kraftwerke senkt (siehe Kasten Seite 8).

Gleiches gilt auch für „Post-Combustion“-Technologien. Um den Energieverlust zu minimieren, wird derzeit intensiv an verschiedenen Methoden geforscht. Die meisten sind sogenannte „Wäsche“-Verfahren. Dabei wird CO_2 an bestimmte Chemikalien (etwa Amine, Karbonate oder Kalk) angelagert und von ihnen absorbiert. Im zweiten Schritt gelangen die gebildeten Verbindungen in einen Abscheider („Stripper“), wo sie erhitzt werden und wieder zerfallen. Die Chemikalie geht in den Prozess zurück, das CO_2 liegt dann in hochkonzentrierter Form als Reingas vor und kann weiterbehandelt werden.

Die CO_2 -Wäsche in Dürnröhr zählt zu diesen „Post-Combustion“-Technologien. „Man kann es sich wie eine große Waschmaschine vorstellen“, schildert Kinger. „Das Rauchgas – in Zukunft könnten es mehr als eine Million Kubikmeter pro Stunde sein – gelangt in eine große Kolonne, in der bei 40 Grad Celsius ein Waschmittel durchgerieselt wird“, führt der Chemiker aus. Es kommt zur Reaktion, CO_2 wird gebunden und gelangt in eine zweite Kolonne. Dort gewinnt man bei Temperaturen von bis zu 150 Grad reines CO_2 .

„Ein Vorteil der CO_2 -Wäsche ist die einfache Nachrüstbarkeit für bestehende Anlagen“, erläutert Günter Gornald (AE&E). Ein weiterer, dass sie seit Jahrzehnten in der chemischen

Bei der Wäsche können **90 Prozent** des CO_2 abgetrennt werden.

Industrie eingesetzt wird. Allerdings unter völlig anderen Bedingungen: Bis zu fünfzig Mal höhere Drücke und andere Gaszusammensetzungen sind dort auf der Tagesordnung.

Effizientere Absorptionsmittel.

Volle Aufmerksamkeit galt in Dürnröhr deshalb zuletzt der Suche nach neuen Absorptionsmitteln. Ein beinhardter Ausleseprozess kam in die Gänge. Zunächst führte man Messungen mit Monoethanolamin (MEA) durch. Der Stoff – in der Literatur bestens bekannt – wird als ideale Benchmark gehandelt. Im 50-Liter-Tank betrachtete man unter anderem Querreaktionen mit anderen Verbindungen. Doch MEA ist kein Waschmittel, das alle Dämme der Begeisterung bricht: Es kommt aus dem petrochemischen Bereich, um dort Sauer gasbestandteile abzutrennen. „Wir bevorzugen aber kraftwerkstaugliche Lösungsmittel, bei denen das Personal nicht

Kraftwerke kann man nicht einfach abdrehen, nur weil es plötzlich ein Problem mit CO_2 gibt. Man benötigt daher Übergangstechnologien.



Im niederösterreichischen Kraftwerk Dürnröhr wird derzeit CO_2 -Abscheidung im Pilotmaßstab untersucht.



auf Chemiewerker umgeschult werden muss“, erklärt EVN-Mann Kinger. Welche Waschflüssigkeiten in den Tests zu neuer Prominenz aufgestiegen sind, hält man streng geheim – „wir sind in der so wichtigen Patentphase“, sagt Kinger. Die Tests auf ihre CO₂-Aufnahmefähigkeit liefen jedenfalls abenteuerlich ab. Sie dokumentieren aufs Anschaulichste, was im Labor alles nicht geht: Einige Kandidaten zersetzten sich beim Desorbieren prompt in ihre Bestandteile. Auch MEA landete im geschlagenen Feld: Bis zu drei Liter mussten die Forscher jede Woche nachfüllen, um konstant 90 Prozent des CO₂ abzutrennen. Wieder andere Waschmittel gingen „wegen ihrer extremen Schaumbildung leer aus“, verrät Kinger.

Suche nach CO₂-Käufern. Die nächste Zündstufe ist nun der Bau einer CO₂-Verflüssigungsanlage im kleinen Maßstab. „Denn um CO₂ zu verwerten, müssen wir es in den flüssigen Zustand überführen“, so Kinger. Zugleich beginnt die Suche nach Industriepartnern mit Bedarf an CO₂ – für Großkunden liegen die Preise für Industrie-CO₂ bei nicht unattraktiven 130 bis 150 Euro pro Tonne. „Wir wollen nicht als technischer Gaselieferant einsteigen“, sagt der EVN-Mann zwar resolut. Trotzdem glaubt man, dass sich mit CO₂ Geld machen lässt: So will man mit Firmen ins Geschäft

kommen, die CO₂ „in Tanks vertreiben“.

Worauf die EVN hier setzt, ist die Tatsache, dass CO₂ nicht nur ein Abfallprodukt bei Verbrennungen, das zunehmend Probleme macht, sondern zugleich auch ein wertvoller Rohstoff ist: Das Gas ist Ausgangsstoff für viele chemische Synthesen. Beginnend bei Methanol – der Jahresbedarf dafür liegt bei zumindest zwei Millionen Tonnen. Auch manche Kunststoffe werden aus CO₂ gemacht: Die Produktion von Polykarbonaten – etwa für CDs oder DVDs – erfordert jährlich 40.000 Tonnen Kohlendioxid. CO₂ steckt aber auch in Produkten, an die man in diesem Zusammenhang niemals denken würde. So werden für die Herstellung des Schmerzmittels Acetylsalicylsäure (Aspirin etc.) nicht weniger als 25.000 Tonnen CO₂ pro Jahr benötigt.

Daneben ist CO₂ in vielen anderen Bereichen von Bedeutung. In CO₂-Feuerlöschern rettet das Gas Leben, bei bestimmten Lasern dient Kohlendioxid als Schutzgas, bei der Erdölproduktion werden bisweilen große Mengen CO₂ in die Lagerstätten gepresst, um die Ölausbeute zu erhöhen (EOR; „Enhanced Oil Recovery“). Und nicht zu vergessen ist die Lebensmittelindustrie: Softdrinks wären ohne Kohlendioxid undenkbar. Und Kaffee wird mit überkritischem CO₂ von Koffein befreit. »

CO₂ im heimischen Boden

Die OMV untersucht in Österreich und Rumänien verschiedenste Teilaspekte der CO₂-Abscheidung und Endlagerung.



CCS IN ÖSTERREICH

GROSSE AUFREGUNG. Die Nachricht hat in den vergangenen Monaten zu einigem Wirbel geführt: Umweltgruppen reagierten empört, dass in der neuen österreichischen Energiestrategie auch „Carbon Capture and Storage“ (CCS) enthalten ist. Die Umweltschützer sehen dahinter den Versuch, quasi durch die Hintertür neue (schmutzige) Kohlekraftwerke bauen zu können, weil das CO₂ aus dem Rauchgas abgetrennt und im Boden gelagert wird.

GEGEN DIE KRITIK half auch nicht, dass in dem Strategiepapier festgehalten ist, dass es um eine „Verbesserung der Grundlagenkenntnisse zu CCS“ gehe – wobei die Realisierung in Österreich „ergebnisoffen“ sei. Aus Sicht der Industrie ist CCS jedenfalls interessant: In Wahrheit zählen ja zu den größten Problemen der österreichischen CO₂-Bilanz die Emissionen der Stahl- und Zementindustrie: Dort fällt Kohlendioxid nicht nur durch den Energieverbrauch an, sondern ist auch prozessbedingt, wird also unvermeidlich bei den chemischen Vorgängen frei, die zum Endprodukt führen.

VORREITER in Sachen CCS ist in Österreich die OMV. Der „Future Energy Fund“ des Öl- und Gaskonzerns fördert eine Reihe von Projekten, die sich mit Teilaspekten der Technologie beschäftigen. So wird etwa untersucht, ob sich ein „saliner Aquifer“, also eine salzwasserhaltige Schicht im Untergrund, als Speicher für CO₂ und zur Gewinnung von geothermischer Energie eignet. Getestet wird, wie man bei der Gasförderung frei werdendes CO₂ abtrennen und wieder in die Lagerstätten injizieren kann – wodurch die Gasausbeute aus der Lagerstätte steigen könnte. Überlegungen werden aber auch hinsichtlich einer „Zero Emission Power Plant“ gemacht – wobei man das CO₂ zur verbesserten Erdölförderung („Enhanced Oil Recovery“) in eine Erdöllagerstätte einpressen könnte.

DIE ENERGIESTRATEGIE hebt zwei Forschungsaspekte besonders hervor: Zum einen müsse die Sicherheit der CCS-Technologie geklärt werden. Zum anderen gebe es eine Nutzungskonkurrenz bei unterirdischen Lagerstätten zwischen CCS, Geothermie und Erdgasvorratsspeicherung – es sei ein „gründliches Abwägen“ erforderlich.



Nach der Abscheidung muss Kohlendioxid verflüssigt werden, um es weiter behandeln zu können.

Autosprit aus Kohlendioxid

Sprit aus gebrauchtem CO_2 : Diese Vision beflügelt derzeit viele Forscher.



WIE MAN CO_2 RECYCELT

KOHLENDIOXID ist der Ausgangspunkt für viele chemische Synthesen. Man kann damit auch Autotreibstoffe herstellen – und wenn man das macht, dann betreibt man im Grunde ein Recycling der Kohlenstoffatome: CO_2 wurde bei einem Verbrennungsvorgang frei, wird dann eingefangen, in einen neuen Brennstoff verarbeitet und noch einmal verbrannt. Erst dann gelangt es in die Atmosphäre. Im Zentrum dieser Forschungen steht sogenanntes „Syngas“ – eine Mischung aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff, das man mit klassischen chemischen Verfahren z. B. zu Methanol weiterverarbeiten kann. Der springende Punkt dabei ist, wie man umweltverträglich zu dem benötigten Wasserstoffgas kommt. Es gibt eine Reihe von Verfahren – von der Elektrolyse bis hin zu wasserstoffproduzierenden Bakterien. Preislich konkurrenzfähig sind diese allerdings noch nicht.

RELATIV WEIT ist man bereits mit der Spritherstellung aus Biomasse – in der ja auf natürliche Weise CO_2 steckt. Es gibt verschiedene Methoden, mit denen Holz oder pflanzliche Abfälle in flüssige Brennstoffe verwandelt werden können. Im Zentrum steht dabei ebenfalls „Syngas“ – in das Biomasse bei Hitze unter bestimmten Bedingungen zerfällt. Versuche dazu werden auch im burgenländischen Ort Güssing gemacht. Fortschritte macht man auch mit Mikroalgen, die mit CO_2 gedüngt werden. Ihre Ausbeute ist sehr hoch, ihre Zucht stellt keine Konkurrenz zur Lebensmittelproduktion dar.

IDEAL WÄRE es freilich, die Fotosynthese von Pflanzen im Reagenzglas nachzubilden und damit auf direktem Weg aus CO_2 und Lichtenergie Brennstoffe herzustellen. Von einer Realisierung ist man allerdings noch meilenweit entfernt. Nur in einem Teilbereich der Fotosynthese hat man bisher Fortschritte gemacht: bei der sogenannten „Hell-Reaktion“, bei der die Energie der Sonnenstrahlen in chemische Energie verwandelt wird. Diese Erkenntnisse werden etwa bei Fotovoltaikpaneelen angewandt. Die in Pflanzen nachfolgende „Dunkel-Reaktion“, in der CO_2 gebunden und mithilfe chemischer Energie in Zucker verwandelt wird, versteht man dagegen noch nicht so gut – eine technische Anwendung ist daher noch in weiter Ferne.



CO_2 aus dem Schlot. In einem Forschungsprojekt versucht die EVN, aus CO_2 einen Wertstoff zu machen.

KOSTEN

DIE CO_2 -ABTRENNUNG ist energieaufwendig und teuer. Alle Verfahren benötigen relativ viel Energie, dadurch sinkt der Wirkungsgrad von Kraftwerken deutlich – zum Teil sogar um ein Drittel. Das verursacht auch hohe Kosten. Eine aktuelle Studie der Harvard University kommt zu dem Ergebnis, dass die CO_2 -Abtrennung mit herkömmlichen Technologien zwischen 75 und 110 Euro je Tonne CO_2 kostet, mit verbesserten Methoden 22 bis 37 Euro. Vermeidungskosten von 35 Euro je Tonne CO_2 verteuern Strom um knapp zwei Cent je Kilowattstunde.

DANK DES TECHNOLOGISCHEN Fortschritts rechnen die Experten damit, dass die Kosten für die CO_2 -Abtrennung bis zum Jahr 2030 um 65 Prozent sinken könnten. Dann wäre diese Technologie auf jeden Fall konkurrenzfähig gegenüber den Preisen von CO_2 -Zertifikaten. Der Transport und die Sequestrierung von CO_2 sind im Vergleich dazu eher billig – auch wenn großtechnische Erfahrungen noch fehlen. Das Beratungsunternehmen Boston Consulting hat in einer Studie Kosten von zwei bis drei Euro bzw. vier bis fünf Euro je Tonne CO_2 veranschlagt.

» Viele Unternehmen würden derzeit bei der Quelle für CO_2 auf Erdgas setzen, sagt Kinger. Darunter auch die OMV-Tochter AMI Agrolinz Melamine International, die jährlich mehrere hunderttausend Tonnen CO_2 bei der Herstellung von Harnstoff und Melamin verbraucht. Dass alle Firmen sofort auf neue CO_2 -Quellen umsatteln, ist freilich unrealistisch. „Doch wir führen erste Gespräche“, sagt Kinger in unverbindlichem Ton. Die Zukunft könnte freilich noch viele weitere Anwendungsfelder von CO_2 bieten – gegen die alle Versuche, das Gas in unterirdische Lager zu pressen und dort über Tausende von Jahren zu lagern, alt aussehen. Dieses Verfahren geht als CCS („Carbon Capture and Storage“) seit einiger Zeit durch die Schlagzeilen und wird von praktisch allen Umweltschützern abgelehnt. Das Geld sollte besser in Technologien investiert werden, bei denen von vornherein weniger CO_2 entsteht, argumentieren sie. Wichtige Vorarbeiten dafür gibt es derzeit im Osten Deutschlands: Im Kraftwerk „Schwarze Pumpe“ wird eine Pilotanlage betrieben, in der Braunkohle mit reinem Sauerstoff verbrannt wird – man nennt diese Methoden „Oxyfuel“-Verfahren. Der große Vorteil: Im Abgas befindet sich dann kein (Luft-)Stickstoff, was das Abtrennen des CO_2 wesentlich einfacher macht.



Die Chemiker suchen nach einer Substanz, mit der man möglichst effizient CO_2 binden kann.

„Man kann es sich wie eine **Waschmaschine** vorstellen.“

GERALD KINGER, CHEMIKER BEI DER EVN

Die Verwertung von CO_2 ist im Vergleich dazu sicher die intelligenterere Methode. Bereits vereinzelt eingesetzt wird beispielsweise CO_2 als Wachstumsbeschleuniger in Glashäusern. Wie berichtet, hat der Tiroler Gasturbinenhersteller GE Jenbacher bereits derartige Anlagen in den Niederlanden konzipiert und eingerichtet – diese funktionieren klaglos und beschleunigen das Pflanzenwachstum stark.

Viele Einsatzmöglichkeiten. Eine völlig neue Entwicklungsrichtung ist die Herstellung von flüssigen Treibstoffen auf Basis von CO_2 . Der Grundgedanke dabei: Jedes Kohlenstoffatom wird (zumindest) zweimal zur Energiegewinnung genutzt, bevor es in die Atmosphäre gelangt. Das erste Mal, wenn Erdöl, Erdgas oder Kohle verbrannt werden, und dann noch einmal, wenn der Energieträger verheizt wird, der aus abgeschiedenem CO_2 hergestellt wurde (siehe Kasten Seite 8).

Bereits seit einigen Jahren in aller Munde ist die Zucht von Mikroalgen. Auch hier wird CO_2 zur Düngung eingesetzt – nämlich als Ausgangspro-

dukt der Bildung von Biomasse (siehe auch Seite 14). Die Algen bilden in ihrem Inneren ein hochwertiges Öl, das zum Beispiel direkt zu Biodiesel verarbeitet werden kann oder auch in der Kosmetikindustrie ein begehrter Rohstoff ist. Aber auch eine zweite Methode zur Treibstoffherstellung mithilfe von CO_2 wird derzeit in Forscherkreisen intensiv diskutiert: Aus CO_2 und Wasserstoff kann nämlich Methanol hergestellt werden, der – wie Ethanol – ein ausgezeichnete Autotreibstoff ist.

Bis derartige Verfahren praxistauglich und vor allem kostengünstig sind, wird noch einige Zeit vergehen. Neben den beteiligten Prozessen müssen vor allem neue Lösungen für die Lagerung und den Transport großer Mengen CO_2 gefunden werden.

„Es gibt sehr viele mögliche Zukunftsanwendungen“, fasst EVN-Chemiker Kinger zusammen. Ebenso könnte die CO_2 -Wäsche in praktisch allen Gas- und Kohlekraftwerken des Energiedienstleisters angewandt werden. Vorausgesetzt, man hat für Neues auch weiterhin ein offenes Ohr – und scheut die üppigen Investitionen nicht. ■

Gebunden in hohen Gebirgen

Bestimmte Mineralien – unter anderem Silikate – gehen mit CO_2 stabile Verbindungen ein.



HARTE STEINE AUS CO_2

NICHT NUR KOHLE, ERDÖL UND ERDGAS sind im Grunde CO_2 , das in früheren Zeiten (von Pflanzen) gebunden wurde und als Feststoff Jahrmillionen überdauert hat. Auch ganze Gebirge aus Kalkstein und anderen Karbonaten sind zum Teil aus Tieren entstanden, die in ihren Kalkschalen Kohlendioxid eingelagert haben. CO_2 wurde und wird in einer Reihe von Prozessen auf natürliche Weise in Mineralien eingelagert und damit dauerhaft der Atmosphäre entzogen.

TECHNISCH NUTZEN wollen das manche Forscher – und zwar unter dem Namen CCGS („Carbon Capture and Geological Storage“). In der Natur reagieren zum Beispiel Magnesiumsilikate mit CO_2 und Wasser, heraus kommen – je nach Bedingungen und Reaktionszeit – Magnesiumhydrogenkarbonat oder Magnesiumkarbonat. Letzteres ist eine unlösliche Verbindung, die einfach deponiert werden kann. Ähnliche Prozesse gibt es bei vielen Gesteinen, vorwiegend bei Silikaten der Erdalkalimetalle – bei vielen Reaktionen wird sogar Energie frei, die man nutzen kann. Diese kann groß sein: Typisch ist eine Reaktionswärme bei der Mineralisierung von rund 100 Kilojoule je Mol. Das sind immerhin 25 Prozent jener Energie, die bei der Oxidation von Kohlenstoff zu CO_2 frei wird. Diese Energie ist von großer Bedeutung: Die natürlichen Reaktionen zwischen Mineralien und CO_2 dauern relativ lange, durch Erwärmen kann man sie deutlich beschleunigen.

IN DER PRAXIS stellen sich der Mineralisierung von CO_2 allerdings viele Hindernisse entgegen. Vor allem müssen riesige Mengen an Material umgeschlagen werden. Zur Bindung von einer Tonne CO_2 sind zumindest drei Tonnen Gestein notwendig. Das ist nur dann denkbar, wenn man das CO_2 direkt zu einem Steinbruch leiten kann. Dass das nicht unmöglich ist, beweist etwa die kanadische Ölsandindustrie, die täglich eine Million Tonnen Sand in heißem Wasser kocht, um an das fest gebundene Öl zu kommen. Versuche werden aber auch gemacht, um CO_2 an industrielle Abfälle zu binden. So ist es etwa bereits gelungen, Hochofenschlacke aus einem Stahlwerk mit CO_2 reagieren zu lassen, das Endprodukt ist in der Papierindustrie einsetzbar.