

# Linde Technology

LeadIng.

*Linde*

Titelthema Energie:

Erdgas aus der Barentssee  
CO<sub>2</sub>-freies Kohlekraftwerk

Weitere Themen:

Staplereinsatz im Containerhafen  
Ionische Kompressoren







Liebe Leserinnen, liebe Leser,

die Diskussion um das Kyoto-Protokoll ist in vollem Gange. Sie wirft Fragen von großer Tragweite, auch für unser tägliches Leben, auf: Mithilfe welcher Ressourcen und Technologien stellen wir die Energieversorgung in den nächsten 30 Jahren sicher? Wie kann es gelingen, trotz eines weltweit steigenden Energiebedarfs die globale Klimaerwärmung zu stoppen? Auch Linde-Ingenieure greifen diese Thematik in ihrer täglichen Arbeit auf und suchen nach innovativen Lösungen, um neue Energiequellen zu erschließen und vorhandene effizienter zu nutzen.

Das Titelthema der aktuellen Ausgabe von Linde Technology stellt daher zwei wegweisende Energie-Projekte vor, die belegen, dass sich Wachstum und Umweltschutz durchaus miteinander vereinbaren lassen: Rund 600 Kilometer nördlich des Polarkreises entsteht zurzeit die größte Erdgasverflüssigungsanlage Europas. Nach einer fast 5.000 Kilometer langen Schiffsreise ist nun das Kernmodul der Anlage in Nordnorwegen eingetroffen. Und im Rahmen eines Konsortiums steuern Linde-Experten ihr Know-how zur Entwicklung einer Technologie für CO<sub>2</sub>-freie Kohlekraftwerke bei.

Gute Ideen zur Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen findet man aber auch an anderen Orten, zum Beispiel in einem niederländischen Gewächshaus. Außerdem ist Linde-Experten in Wien mit ihrer revolutionären Erfindung in der Kompressortechnik die Realisierung eines uralten Ingenieurstraums gelungen. Und dass Linde-Gase nicht nur Forschung und Entwicklung, sondern – häufig im Verborgenen – auch unseren Alltag positiv beeinflussen, zeigen zwei Anwendungsfälle aus dem Bereich Ernährung.

Wir wünschen Ihnen eine spannende Lektüre und einen guten Start ins Jahr 2006.

A handwritten signature in black ink that reads "Belloni". The signature is written in a cursive, slightly stylized font.

Dr.-Ing. Aldo Belloni  
Mitglied des Vorstands der Linde AG

### Titelbild

*Flüssiges Erdgas: Vor dem Hafen von Hammerfest entsteht derzeit Europas größte Anlage zur Edgasverflüssigung. Die Linde AG lieferte das Herzstück der Fabrik, eine schwimmende Prozessanlage mit Pumpen, Gasturbinen und Wärmetauschern.*



### Impressum

**Herausgeber:** Linde AG, Wiesbaden [www.linde.de](http://www.linde.de)

**Redaktion:** Verantwortlich: Stefan Metz, Linde AG; Michael Kömpf und Dr. Karoline Stürmer, wissen & konzepte, Regensburg

**Layout, Lithografie und Herstellung:** D+K Horst Repschläger GmbH, Wiesbaden

**Übersetzung:** eurocom Translation Services GmbH, Wien

**Druck:** HMS Druckhaus GmbH, Dreieich

Anfragen und Bestellungen an: Linde AG, Kommunikation, Postfach 4020, 65030 Wiesbaden oder [stefan.metz@linde.de](mailto:stefan.metz@linde.de)

Diese Heftreihe sowie weitere Fachberichte stehen unter [www.linde.de/LindeTechnology](http://www.linde.de/LindeTechnology) als Download zur Verfügung.

Nachdruck oder elektronische Verbreitung nur mit Zustimmung des Herausgebers. Mit Ausnahme der gesetzlich zugelassenen Fälle (und dabei nur mit vollständiger Quellenangabe) ist die Nutzung der Berichte aus „Linde Technology“ ohne Einwilligung des Herausgebers nicht gestattet.

ISSN 1612-2224 Printed in Germany – Januar 2006



30\_ Gase für Lebensmittel: Mit dem richtigen Gas verpackt, bleiben Erdbeeren, Broccoli und Shrimps länger frisch.



34\_ Bewegung im Hafen: Linde-Stapler sind ein wichtiges Glied in der Logistikkette eines Überseehafens.



40\_ CO<sub>2</sub> in der Pflanzenzucht: Auf innovative Weise trägt Linde-Technik zur Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes in den Niederlanden bei.

#### 4\_ Linde News

Meldungen aus der Linde-Welt

### ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... |

#### Titelthema Energie

##### 6\_ Das Gold der Barentssee

Bau der nördlichsten LNG-Anlage der Welt

##### 12\_ Giganten der Meere

Moderne Schiffstechnik sichert Erdgasversorgung

##### 14\_ Strom ohne Kohlendioxid

Linde arbeitet mit am CO<sub>2</sub>-freien Kohlekraftwerk

### ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... |

##### 20\_ Lebenselixier für Kabeljau und Co.

Linde-Technologie hilft in der Fischzucht

##### 24\_ Mobilität unter Hochdruck

Linde-Ingenieure entwickeln ionischen Kompressor

##### 27\_ „Die Nachfrage überrollt uns“

Linde-Forscher Robert Adler über ionische Verdichter

##### 30\_ Frische Erdbeeren statt Sauerkraut vom Fass

Linde-Gase machen Lebensmittel länger haltbar

##### 34\_ Ein TEU auf B3-82-00

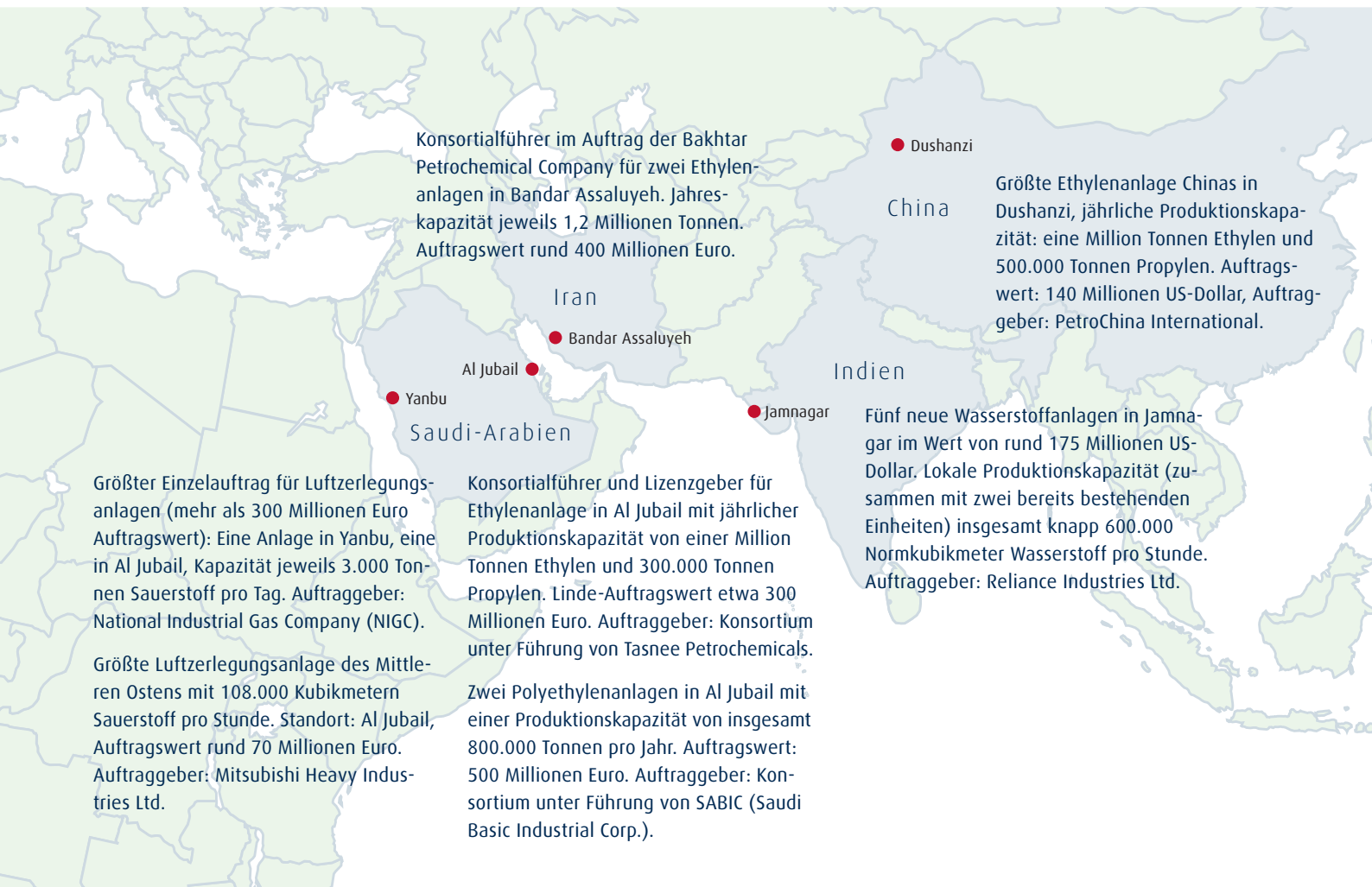
Staplereinsatz im Containerhafen

##### 40\_ Treibhausgas aus der Pipeline

Gewächshäuser nutzen CO<sub>2</sub> aus der Ölverarbeitung

## Auftragsboom für Linde

Im vergangenen Jahr erhielt Linde eine Reihe bemerkenswerter Großaufträge. Der Auftragsbestand bei Linde Engineering erreichte Rekordniveau; Schwerpunkt der Geschäftstätigkeit war erneut der Mittlere Osten und Asien. Hier die Eckdaten der wichtigsten Aufträge aus dem zweiten Halbjahr 2005.



## Linde übernimmt Spectra Gases

Linde hat im Dezember 2005 das US-Spezialgaseunternehmen Spectra Gases, Inc. (Branchburg, New Jersey) erworben. Die Transaktion gilt vorbehaltlich der Zustimmung der zuständigen Kartellbehörden. „Mit dieser Akquisition ergänzen wir gezielt unser Produktportfolio im überdurchschnittlich wachsenden Markt für Spezialgase“, erklärte Dr. Aldo Belloni, Mitglied des Vorstands der Linde AG und verantwortlich für den Unternehmensbereich Gas und Engineering. Das US-Unternehmen produziert hochreine Spezialgase und Chemikalien, die in der Produktion und der Forschung sowie zu Analysezwecken verwendet werden. Daneben stellt Spectra Gases Spezialgasemischungen beispielsweise für die Halbleiterindustrie und für die Lasertherapie her. Bereits im Dezember 2004 hatte Linde das Spezialgasegeschäft mit der Übernahme der Mehrheit an dem Joint Venture MNS Nippon Sanso ausgebaut.

## Engagement für eine bessere Zukunft

Achtung der Menschenrechte, Einhaltung von Arbeitsnormen, Förderung des Umweltschutzes und Bekämpfung von Korruption: Das sind die Ziele der von den Vereinten Nationen gegründeten Initiative Global Compact, die sich in Kooperation mit Unternehmen der Privatwirtschaft engagiert. Im September 2005 ist die Linde AG dieser weltumspannenden Allianz von Organisationen beigetreten. Mit ihrem Beitritt unterstützt die Linde AG ausdrücklich die zehn Prinzipien des Global Compact. Dazu gehören auch die Abschaffung von Kinderarbeit und die Förderung umweltfreundlicher Technologien. „Dieses Verständnis spiegelt sich auch in unseren Unternehmensleitlinien zur Corporate Responsibility wider“, sagt Prof. Dr. Wolfgang Reitzle, Vorsitzender des Vorstands der Linde AG. „Unsere Prinzipien verpflichten uns zu einem verantwortlichen Handeln gegenüber Mitarbeitern, der Gesellschaft und der Umwelt – weltweit, in jedem Geschäftsbereich und an jedem Standort.“



## Neuentwicklung schafft Platz im Lager

Mit ihrer neuen Schubstapler-Baureihe haben die Entwickler von Linde Material Handling jetzt ein neues, revolutionäres Fahrzeugkonzept vorgestellt: Bei den neuen Modellen R14X bis R17X mit Tragfähigkeiten von 1,4 bis 1,7 Tonnen wird beim Gabelschub nicht mehr, wie bisher, der gesamte Mast entlang der Radarme vor- und zurückbewegt. Stattdessen ist der Mast fest montiert und ein beweglicher Gabelträger übernimmt sowohl Schub- als auch Neigefunktionen.

Im Unterschied zu klassischen Schubmaststapler-Konzepten, bei denen die Batterie zwischen Fahrer und Hubmast steht, bietet außerdem die Anordnung der Batterie unter dem Fahrersitz eine Vielzahl praktischer Vorteile. Das Platzangebot in der Kabine hat sich verdoppelt. Die Mastprofile liegen weit auseinander und verbessern die Durchsicht auf Fahrbahn und Last deutlich. Über die hydraulische Mastverriegelung wird eine sehr hohe Maststeifigkeit erreicht, was zu einer Erhöhung der Umschlagleistung von bis zu 15 Prozent im Vergleich zu konventionellen Schubmaststaplern führt. Premiere feierte die Linde „X-Range“ auf der Hannovermesse CeMAT im Oktober 2005.

*Der neuentwickelte Schubstapler erleichtert die Arbeit in Hochregallagern.*

## Gerüstet für eine größere Nachfrage

Wasserstoff gilt als die vielversprechendste Alternative zum Öl. Jetzt errichtet Linde am Chemiestandort Leuna (Sachsen-Anhalt) die zweite Wasserstoff-Verflüssigungsanlage Deutschlands. Weil tiefkalt verflüssigter Wasserstoff (LH<sub>2</sub>) eine wesentlich höhere Speicherdichte besitzt als gasförmiger Wasserstoff, lässt er sich effizienter speichern und transportieren. Bisher zählt die Halbleiterindustrie zu den Hauptabnehmern. Durch die zunehmende Verwendung von LH<sub>2</sub> als Kraftstoff für den Straßenverkehr wird der Bedarf künftig voraussichtlich deutlich steigen. „Wir treiben den Aufbau der Wasserstoff-Infrastruktur derzeit gemeinsam mit unseren Partnern gezielt voran“, sagt Prof. Dr. Wolfgang Reitzle, Vorsitzender des Vorstands der Linde AG.

## Expansion im Osten schreitet voran

Nach der EU-Osterweiterung werden die Beitrittsländer für westliche Investoren und Unternehmen als Markt und als Standort immer interessanter. Linde ist seinem Ziel, das Kerngeschäft Gase in Osteuropa um zehn Prozent jährlich auszuweiten, nun einen bedeutenden Schritt näher gekommen. Im tschechischen Vresova, in der Nähe von Karlsbad, wurde im September 2005 für das Energieunternehmen Sokolovska Uhelna die größte Luftzerlegungsanlage des Landes fertiggestellt. Das Werk ist mit 62 Millionen Euro die bislang größte Investition der Linde-Tochtergesellschaft Linde Technoplyn, die auf dem tschechischen Gasmarkt einen Marktanteil von 65 Prozent hat.



## Nachhaltigkeit im Fokus

Linde stellt mit dem im Oktober 2005 erschienen Corporate Responsibility Report erstmals konzernweit das Engagement des Unternehmens auf den vier strategischen Handlungsfeldern Umwelt, Mitarbeiter, Gesellschaft und Kapitalmarkt vor. „Als weltweit tätiges Unternehmen können wir dauerhaft nur dann erfolgreich sein, wenn wir unser gewinnorientiertes Handeln in ein Gleichgewicht mit den Eckpfeilern nachhaltigen Wirtschaftens bringen, also mit Umweltschutz und sozialem Engagement“, erklärt Prof. Dr. Wolfgang Reitzle, Vorsitzender des Vorstands der Linde AG. Das zentrale Thema in diesem ersten Bericht ist der Umweltschutz. Zu weiteren wichtigen Leistungen zählen die konzernweite, webbasierte Kennzahlenerfassung, die Verabschiedung einer Corporate Responsibility Policy sowie die Einführung eines Verhaltenskodex für Mitarbeiter.

*Mit dem CR-Report belegt Linde seine Initiativen zum Umweltschutz und sein soziales Engagement.*

Bau der nördlichsten LNG-Anlage der Welt

# Das Gold der Barentssee

Auf Melkøya, einer winzigen Insel, direkt vor dem Hafen von Hammerfest in Nordnorwegen entsteht derzeit Europas größte Anlage zur Erdgasverflüssigung. Ab Juni 2007 soll sie LNG produzieren, das in die USA, nach Frankreich und Spanien verfrachtet wird.

*Energieförderer: Die Barentssee ist nicht nur für ihren Fischreichtum bekannt, sondern auch für ihre ertragreichen Erdgaslagerstätten.*



Es scheint, als wolle sich die Sonne gebührend verabschieden. Der November ist mild in Hammerfest, der Himmel strahlend blau. In wenigen Tagen wird es hier am nördlichsten Zipfel Norwegens, mehr als 600 Kilometer jenseits des Polarkreises, für lange Zeit dunkel werden, wenn die Sonne hinter den Bergen rund um die Hafenstadt verschwindet, um bis zum Februar in der Polarnacht zu versinken. Schummrig wird es sein, feucht, windig und kalt. „Am schlimmsten ist der Wind-Chill-Faktor – durch den fast ständig blasenden Wind“, sagt Ernst-Jürgen Kirscher. Er senkt die gefühlte Temperatur gewaltig ab. Minus fünf Grad fühlen sich dann an wie minus 30. Außenarbeiten können zu extremen Belastungen des Montagepersonals führen. Der Ingenieur und Linde-Projektdirektor für Snøwhit ist im „Integrated Team“ gemeinsam mit seinen Statoil-Kollegen verantwortlich für eines der ungewöhnlichsten Anlagen-Projekte Europas – die Errichtung der Erdgasverflüssigungsanlage des internationalen Snøwhit-Konsortiums unter Führung des norwegischen Statoil-Konzerns auf Melkøya, einer winzigen Insel, die direkt vor dem Hafen von Hammerfest liegt. Über das ganze, rund zwei Kilometer lange Eiland erstrecken sich die Gebäude – ein Kraftwerk zur Stromproduktion, riesige Tanks, Betriebsmittel-Erzeuger, meterdicke Rohrleitungen und das Herzstück: Die Prozessanlage mit dem Erdgas-Verflüssiger, ein 62 Meter hohes Monstrum aus Stahl und Aluminium. Ab dem Jahr 2007 wird hier Erdgas aus der Barentssee auf minus 163 Grad Celsius abgekühlt und in LNG (Liquefied Natural Gas) verwandelt. Per Schiff geht es dann auf die Reise in die USA, nach Frankreich und Spanien. Melkøya wird die nördlichste Verflüssigungsanlage der Welt sein und europaweit die erste LNG-Großanlage.

#### LNG-Produktion bei Dauerfrost

Bislang zählt Europa nicht zu den bedeutenden LNG-Exporteuren. Die großen Lieferanten sind Algerien, Indonesien, Malaysia und seit wenigen Jahren auch Katar. Die mächtigen Verflüssiger der Welt stehen bislang also ausnahmslos in warmen Regionen. „Eine solche Anlage nördlich des Polarkreises zu errichten, ist etwas ganz anderes“, betont Kirscher. In Hammerfest können im Winter bis zu zwei Meter Schnee liegen. Regen, Sturm und Feuchtigkeit machen die Arbeit zur Qual. Hinzu kommen Dunkelheit und Dauerfrost. Wer hier arbeitet, muss einen Schweißbrenner auch bei klirrender Kälte stundenlang halten können. Die Arbeit zerrt an den Kräften. Für jene, die draußen werken, ist deshalb nach vierzehn Tagen Schluss. Dann geht es zwei Wochen zur Erholung nach Hause. Rund 6.000 Menschen leben für gewöhnlich in Hammerfest. Derzeit sind es etwa 2.500 mehr als sonst. Allesamt arbeiten auf Melkøya, wohnen auf Hotelschiffen im Hafen, in Wohncontainern oder Pensionen und den wenigen Hotels am Ort. Kirscher und seine Kollegen von Statoil führen Regie über die vielköpfige Mannschaft. Linde hat die Verflüssigungsanlage konzipiert. Jetzt müssen die Münchener dafür sorgen, dass die Montage die Vorgaben aus der ingenieurstechnischen Planung entsprechend umsetzt.

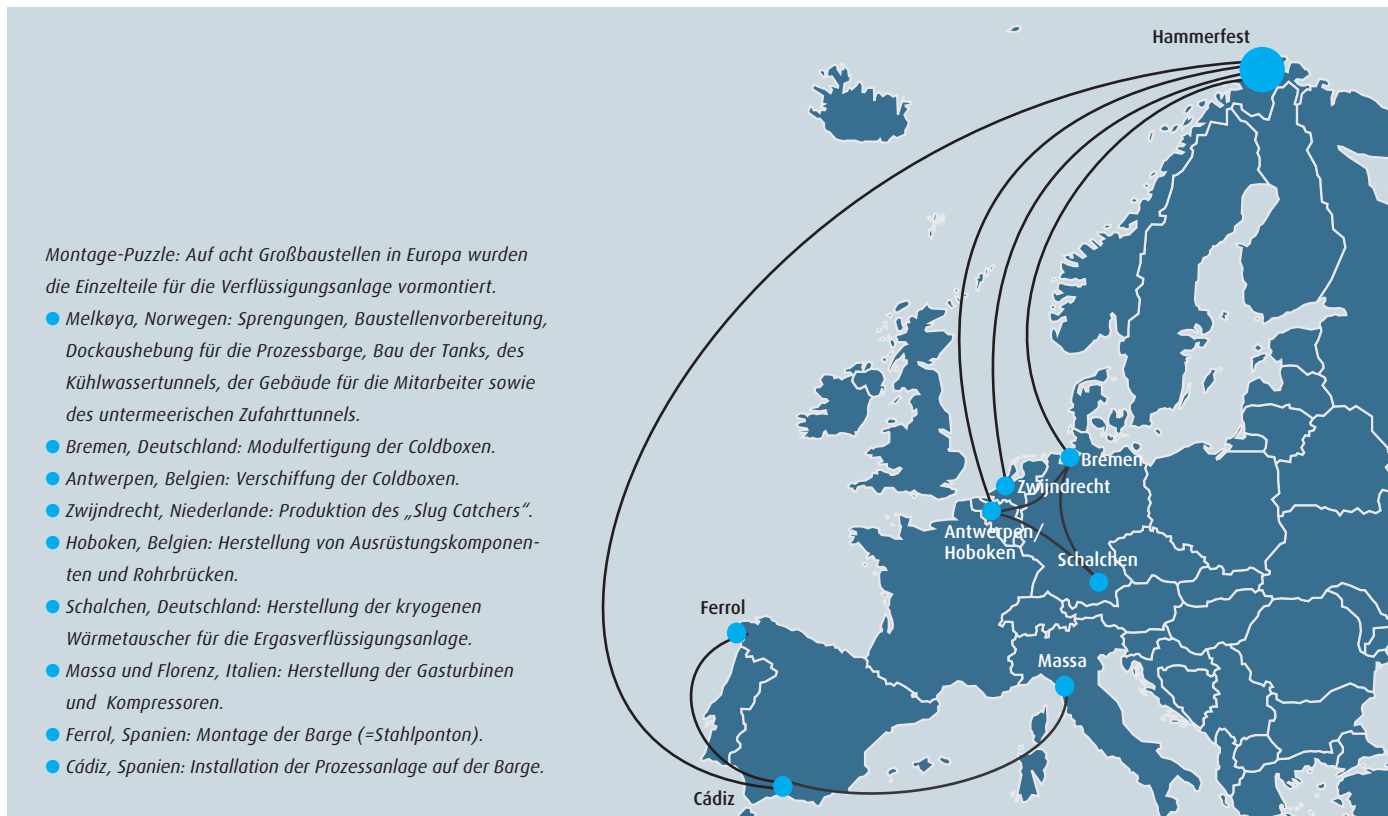
Blickt man aus der Vogelperspektive auf die Insel, könnte man glauben, dass bereits alles fertig ist, denn längst ist das Inselchen mit Bauten voll gestopft. Doch noch muss der Anlage Leben eingehaucht werden. Für die bevorstehenden besonders kalten Monate sind vor allem Arbeiten in den Gebäuden geplant. Von Dezember bis Februar steht die Installation der Elek-



*Wasserfest und windgeschützt: Rund neun Millionen Stunden werden die Menschen auf Melkøya gearbeitet haben, bis die Anlage 2007 in Betrieb geht.*

tronik, von Schalt- und Bediengeräten an. Draußen gehen, so weit es das Wetter zulässt, die „Hook-Up“-Arbeiten weiter – das Anschließen und Verbinden von vormontierten Anlagenteilen. Das klingt einfacher, als es tatsächlich ist, denn die vorgefertigten Anlagenteile sind gigantisch und mussten zunächst über die See in den Norden geschleppt werden. Wegen der harten klimatischen Bedingungen und der Abgeschiedenheit Nordnorwegens wurden möglichst viele Arbeiten nach Süd- und Mitteleuropa verlegt, nach Cádiz zum Beispiel in Südspanien. Dort, in der Werft der Firma Dragados Offshore, begannen im Frühjahr 2004 die Arbeiten an der „Barge“, dem wohl imposantesten Teil der ganzen Verflüssigungs-Anlage. Dabei handelt es sich um einen mächtigen stählernen Lastkahn mit einer neun Meter hohen Bordwand, einer Länge von 154 Metern und einer Breite von 54 Metern.

In nur 18 Monaten wuchs darauf ein mehrstöckiges Stahlgerüst mit 45 Pumpen, fünf Gasturbinen, Wärmetauschern und Kompressoren in die Höhe. Die Gasturbinen treiben Generatoren an, welche die Anlage auf Melkøya mit Strom versorgen. Das Kraftwerk hat eine Leistung von rund 224 Megawatt – damit ließe sich eine Kleinstadt mit 40.000 Einwohnern versorgen. „Da die verschiedenen Komponenten an mehreren Orten – beispielsweise in Frankreich und Italien – gefertigt wurden, mussten wir den Bau so planen, dass alles zur rechten Zeit in Cádiz eintraf“, erinnert sich Hermann Spiller, der die Umsetzung des Linde-Designs bei Dragados koordiniert hat. Spiller: „Eine Anlage dieser Komplexität kann nur dann zum geforderten Termin fertig gestellt werden, wenn das Gros der einzelnen Bauteile vorgefertigt montiert wird.“ Das sei neben der logistischen Leistung auch eine herausragende Ingenieursleistung, da alle Komponenten auf kleinstmöglicher Aufstellungsfläche und zur rech-



*Montage-Puzzle: Auf acht Großbaustellen in Europa wurden die Einzelteile für die Verflüssigungsanlage vormontiert.*

- *Melkøya, Norwegen: Sprengungen, Baustellenvorbereitung, Dockaushebung für die Prozessbarge, Bau der Tanks, des Kühlwassertunnels, der Gebäude für die Mitarbeiter sowie des untermeerischen Zufahrtunnels.*
- *Bremen, Deutschland: Modulfertigung der Coldboxen.*
- *Antwerpen, Belgien: Verschiffung der Coldboxen.*
- *Zwijndrecht, Niederlande: Produktion des „Slug Catchers“.*
- *Hoboken, Belgien: Herstellung von Ausrüstungskomponenten und Rohrbrücken.*
- *Schalchen, Deutschland: Herstellung der kryogenen Wärmetauscher für die Ergasverflüssigungsanlage.*
- *Massa und Florenz, Italien: Herstellung der Gasturbinen und Kompressoren.*
- *Ferrol, Spanien: Montage der Barge (=Stahlponton).*
- *Cádiz, Spanien: Installation der Prozessanlage auf der Barge.*

ten Zeit an Ort und Stelle sein müssen. So wurden die einzelnen Etagen der Stahlkonstruktion in so genannten „Pancakes“ vorgefertigt. Diese Stahlrahmen haben ein Gewicht von bis zu 300 Tonnen, die als eine Art Zwischendecke die einzelnen Etagen voneinander trennen. Zum Zeitpunkt der Montage eines jeden Pancakes mussten alle darunter befindlichen Teile, wie Pumpen, Kompressoren, Behälter und auch die großen Rohrleitungsabschnitte, bereits fertig an ihrem Platz stehen. „Wenn der Deckel aufgesetzt wird, muss darunter natürlich alles komplett sein“, erläutert Spiller.

#### Coldbox aus Antwerpen

Nach Fertigstellung sollte die Barge dann auf ihre 2.700 Seemeilen (knapp 5.000 Kilometer) lange Seereise nach Hammerfest gehen. Dafür musste sie ausgesprochen kompakt ausgelegt werden. Den Ingenieuren bescherte das einige besondere Herausforderungen. Für Anlagen auf dem Festland gibt es meist reichlich Platz. Man stellt die verschiedenen Komponenten einfach nebeneinander auf. Auf der Barge mussten die Entwickler hingegen alles in mehreren engen Stockwerken planen. Zusätzlich sollte das 30 Meter hohe, glänzende Anlagen-Patchwork seefest sein. Spiller: „Rund 110.000 Mal wiegt sich ein Schiff auf einer so langen Schiffsreise hin und her, das muss die Anlage verkraften können.“ Der Stahl darf nicht ermüden, kein Bauteil aus der Verankerung reißen. So waren die Ingenieure am Ende fast ein Jahr lang mit der Berechnung eines Anlagendesigns beschäftigt, das Platz sparend ist und zugleich den Kräften der Wellen Stand hält. Und noch ein Problem mussten die Linde-Ingenieure meistern. Im Hafen von Cádiz hatte man die Barge geflutet und auf Grund gesetzt, um Bewegungen des Stahlrumpfes während der Bauarbeiten zu vermeiden. Unter-

spült durch Meeresströmungen sackte der Koloss ungleichmäßig ab. Bis zu 20 Zentimeter betrug der Höhenunterschied zwischen den beiden Enden der Barge zwischenzeitlich. „Sie bog sich wie eine Banane“, sagt Spiller.

Die Ingenieure hatten schon in der Planungsphase berücksichtigt, dass sich der mächtige Rumpf beim Abpumpen des Wassers aus den einzelnen Rumpfkammern und dem folgenden Auftauchen in Gegenrichtung zurückdehnen würde. „Wir haben die Stahlkonstruktion daran angepasst und Dehnungsfugen ähnlich einer Autobahnbrücke eingebaut. Damit ließ sich die Bewegung tatsächlich ausgleichen“, so Spiller. Knifflig war auch das Abseilen schwerer Lasten auf das Deck, denn auch die hätten die Barge verbogen. 450 Tonnen wog die schwerste Last, die während der Bauarbeiten von einem Kran herabgelassen wurde. Die Experten halfen sich, indem sie die verschiedenen Kammern der Barge unterschiedlich fluteten. Damit ließ sich der Riesen-Kahn im Gleichgewicht halten. 35.000 Tonnen – soviel wie 500 Dieselloks – wog die Barge schließlich, als sie Ende Juni zum Abtransport in den Golf von Cádiz geschleppt wurde.

Anschließend nahm sie dann ein Schwerlastschiff Huckepack, das in elf Tagen vom Mittelmeer bis nach Hammerfest dampfte. Wind und Wellen stellten für den Transport die größte Herausforderung dar. Aber die Experten hatten den Koloss gut gerüstet. Rund 60 Tonnen Stahl stabilisierten die Ladung und speziell installierte Sensoren meldeten jede Bewegung, die auf ein Verutschen hätten schließen lassen. Zusätzlich wurden sichere Rückzugshäfen für zu hohen Wellengang bestimmt. In Nordnorwegen angekommen, zogen die Spezialisten die Barge mit Hilfe von Hafenschleppern und zwei starken Seilwinden in ihre Endposition in einem extra dafür ausgesparten Dock auf Melkøya. Inzwischen ist die Barge auf einzelne Betonfundamentsockel abgesenkt worden.



Angekommen: Nach einer rund 5.000 Kilometer langen Seereise erreichte die Prozessbarge Mitte 2005 ihren Bestimmungsort auf Melkøya.

Das Becken wurde leer gepumpt und mit Kies aufgefüllt. Nichts erinnert mehr an die Geburt in Südspanien. „Es sieht so aus, als habe man die Anlage direkt auf der Insel montiert“, sagt Kirscher. Sogar eine Heizung installierten die Monteure inzwischen auf der Barge, damit die Versorgungs- und Fluchtwege eis- und schneefrei bleiben und das Betriebspersonal überall sicher vorankommt.

#### Stahlkoloss auf Reisen

Kurz vor der Barge traf mit der so genannten Coldbox auch das Herzstück der ganzen LNG-Anlage auf dem Seewege ein. In ihr findet der eigentliche Verflüssigungsprozess statt – die Abkühlung des Erdgases von etwa 40 Grad Celsius auf minus 163 Grad Celsius. Diese „kalte Kiste“ ist deutlich größer, als der Name vermuten lässt. Sie misst etwa 62 Meter Höhe und ist so groß wie ein schlankes Bürogebäude. Sie besteht aus vier Einzelboxen, die in Antwerpen zu einem Ganzen zusammengefügt wurden. Mehrere Wärmetauscher, so genannte Gegenströmer, sowie Trennkolonnen und Abscheider mit verbindenden Rohrleitungen und Instrumenten, bilden das Innenleben dieser Boxen. Um den kalten Betriebstemperaturen gerecht zu werden, wurden hauptsächlich Aluminium und Edelstahl als Werkstoffe für diese Komponenten verarbeitet. Beim Durchströmen der Wärmetauscher kühlt sich das Gas dabei Schritt für Schritt immer weiter ab, bis es sich verflüssigt und dabei auf ein 600stel seines Volumens schrumpft. Freilich wird das Gas vor der Abkühlung gereinigt, denn Rückstände wie Wasser würden gefrieren und die Anlage verstopfen. Zudem wird Quecksilber aus dem Gasstrom abgetrennt. Das ist in Spuren enthalten und könnte im Laufe der Zeit die Leitungen korrodieren. Damit die Kälte drinnen bleibt, werden Kälteverluste durch die Boxwände so gering

wie nur möglich gehalten. Deshalb wird die gesamte Box mit einem pulverförmigen Mineralstoff gefüllt, der sehr gute isolierende Eigenschaften hat – dem so genannten Perlit.

#### Ferngesteuert und flach wie Krebse

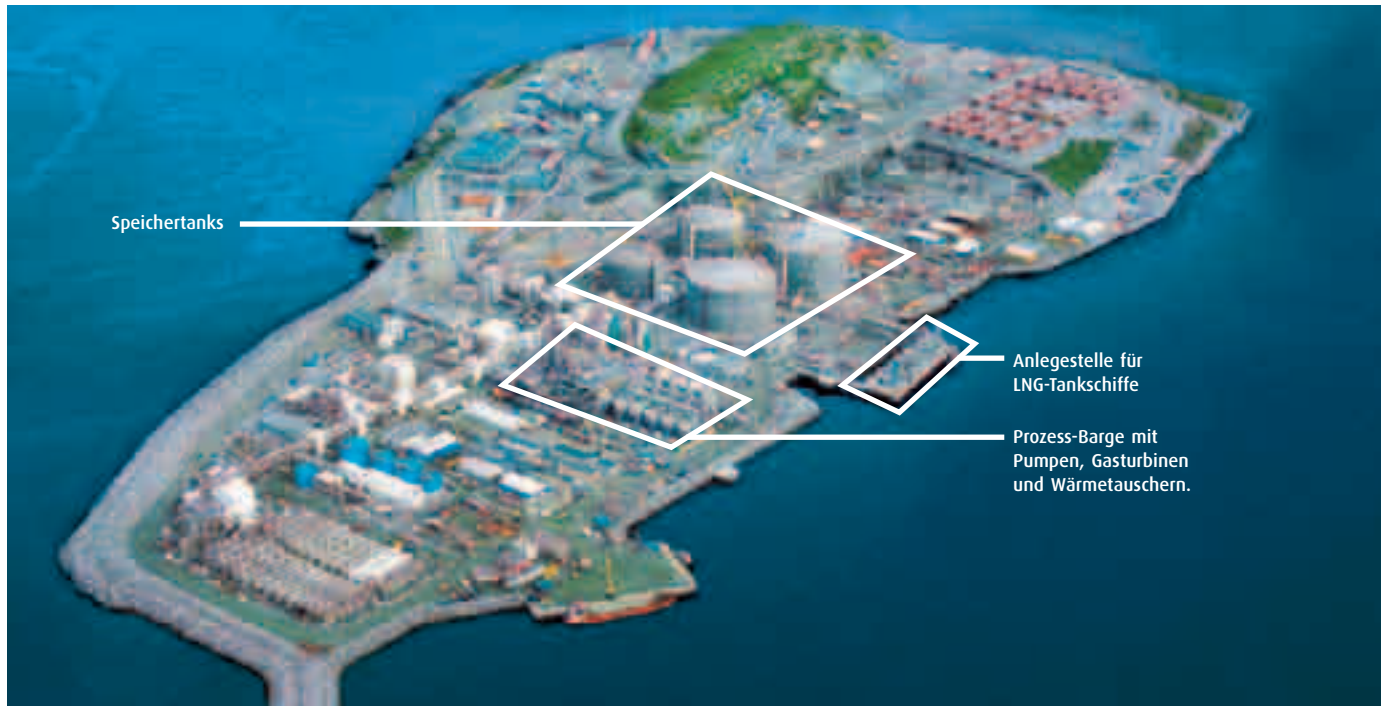
Das Gas wird über eine Pipeline aus der Barentssee nach Melkøya gefördert. In 140 Kilometer Entfernung sitzen dort auf dem Meeresboden unterseeische Förderanlagen. Hier sollen ab 2007 nacheinander drei Gasfelder angezapft werden – zunächst das Snøwhit-Feld (Snøwhit – „Schneewittchen“), das dem Melkøya-Projekt seinen Namen gab und später das Askeladd- und das

---

#### Flüssiggas oder flüssiges Erdgas – ein wichtiger Unterschied

**Erdgas** ist ein Naturprodukt und stammt aus unterirdischen Lagerstätten. Es besteht zu über 90 Prozent aus Methan (CH<sub>4</sub>). Erdgas ist leichter als Luft. Erdgas ist bis zu einer Temperatur von minus 162 Grad Celsius gasförmig. Bei tieferen Temperaturen wird es flüssig und verringert sein Volumen deutlich, dann wird aus Erdgas LNG (Liquefied Natural Gas).

**Flüssiggas**, meist Propan oder Butan, wird überwiegend als Nebenprodukt bei der Herstellung von Benzin und Diesel gewonnen. Das Liquefied Petroleum Gas (LPG) ist bereits bei geringem Druck flüssig und kann in entsprechenden Behältern gelagert und transportiert werden.



Großbaustelle: Für den Bau der Erdgasverflüssigungsanlage wurden 2,3 Millionen Kubikmeter Fels auf Melkøya Island gesprengt.

Albatross-Feld. Das Besondere der Anlagen in rund 300 Metern Meerestiefe ist, dass sie unbemannt sind und von Melkøya aus ferngesteuert werden. Flach und robust gebaut, ducken sie sich wie ein Krebs auf den Meeresboden. Sie lassen sich sogar ohne Schaden von Grundschnepnetzen der Fischkutter überrollen. Derzeit werden auf Melkøya die Anlagen für die Fernsteuerung installiert. Die ersten Techniker üben bereits am Simulator, wie sie die Anlagen auf dem Meeresboden bedienen können.

Den Managern auf Melkøya stehen jetzt Monate bevor, in denen sie den Arbeitern genau auf die Finger schauen müssen. Denn während des „Hook-Ups“ muss jeder Handgriff sitzen. Die Barge muss mit dem Rest der Anlage verbunden werden. Hunderte von Rohren müssen absolut dicht verschweißt, elektrische Leitungen und Kabel für die Dateninformation verlegt werden. „Wir überprüfen, ob sich während des Seetransports nicht doch etwas gelockert hat, wir klettern in die großen Behälter, um nachzuschauen, ob die in Ordnung sind, reinigen die Leitungen, schweißen und flanschen Rohre an“, fasst Kirscher die Arbeiten zusammen.

#### Sechs Milliarden Kubikmeter flüssiges Erdgas

Melkøya ist ein aufwändiges Projekt. Etwa neun Millionen Stunden werden die Menschen hier gearbeitet haben, wenn im Sommer 2007 voraussichtlich das erste Schiff die erste Ladung LNG abtransportiert. Doch das Projekt lohnt sich. Rund sechs Milliarden Kubikmeter flüssiges Erdgas will Statoil zukünftig jährlich verschiffen – voraussichtlich 30 Jahre lang. 2,6 Millionen Kubikmeter sind für den US-Markt bestimmt, 1,7 für Frankreich und 1,6 für Spanien. Damit setzen Statoil und das ganze Snøvit-Konsortium auf einen, nach Meinung von Experten, wachsenden Markt. So wird LNG in den kommenden Jahren erheblich an Bedeutung gewinnen.

Laut Schätzung der Internationalen Energieagentur (IEA) in Paris wird die weltweite Nachfrage nach Erdgas allgemein bis 2020 jährlich um 3,5 Prozent wachsen. Bis dahin dürfte Erdgas

ein Viertel des weltweiten Energiebedarfs decken. Zwar macht gasförmiges Erdgas noch immer den größten Teil davon aus, aber LNG holt deutlich auf. Nach Angaben der Groupe International des Importateurs de Gaz Naturel Liquefie (GIIGNL) macht LNG schon heute etwa ein Viertel des internationalen Handels mit Erdgas aus. Während der Welthandel mit dem flüssigen Rohstoff in der Vergangenheit jährlich um rund acht Prozent wuchs, dürfte das künftige Wachstum pro Jahr sogar zehn Prozent erreichen. Das schweizerische Bankhaus Julius Bär führt die wachsende Popularität von LNG unter anderem darauf zurück, dass der Ölmarkt den Unternehmen immer weniger Möglichkeiten bietet. Bohrungen seien tendenziell immer seltener erfolgreich. Darüber hinaus sind die Gasvorräte in den USA und in Großbritannien bereits stark strapaziert und nehmen weiter ab. Das Angebot verknappt sich.

Da Erdgas-Pipelines von mehr als 3.000 Kilometer Länge sich nicht rentieren, ist die LNG-Verschiffung die praktikabelste Art des Transports in die USA. Der Löwenanteil der weltweiten Erdgasreserven ruht zwar unter dem Wüstensand der arabischen Halbinsel – etwa 41 Prozent. Doch sicher ist, dass die Norweger und ihre Kooperationspartner mit der Anlage auf Melkøya in ein Geschäft einsteigen, das in den kommenden Jahren einen Boom erleben wird. Vor diesem Hintergrund dürfte es den Arbeitern auf Melkøya leicht fallen, dem Wetter die Stirn zu bieten – dem Sturm und dem Wind-Chill-Faktor. |

**Tim Schröder lebt und arbeitet als freier Wissenschaftsjournalist in Oldenburg. Er schreibt unter anderem für die Neue Zürcher Zeitung, bild der wissenschaft und mare.**

#### Weiterführende Links

[www.hydrocarbons-technology.com](http://www.hydrocarbons-technology.com)

[www.statoil.com](http://www.statoil.com)



Melkøya im September 2002.



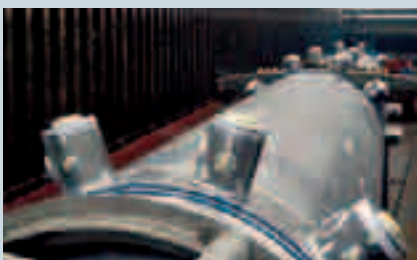
Transport der Coldbox nach Melkøya.



Barge auf dem Weg nach Cádiz.



Prozessbarge vor Cádiz.



Wärmetauscher-Transport auf der Donau.



Integrierte Prozessbarge auf Melkøya, Mitte 2005.

#### Was bisher geschah...

**1981** – Entdeckung der Erdgasfelder in der Barentssee

**1995** – Beginn der Studienphase. Machbarkeitsstudien und Auswahl der Statoil-Kooperationspartner

**1996** – Statoil und Linde beschließen die LNG-Technologie-Allianz, Entwicklung des MFC (Mixed-Fluid-Cascade) -Verflüssigungsverfahrens.

**Dezember 2000** – Beginn der Pre-Engineering-Phase. Die Anlage wird entworfen und nimmt konkrete Form an.

**Seit Januar 2002** – Engineering-Phase. Die Bauarbeiten starten. Auf Melkøya beginnen die Sprengungen. Die Insel wandelt sich von einem kargen Eiland in einen Bauplatz nach Maß. 2,3 Millionen Kubikmeter Fels werden gesprengt, unter anderem für einen Straßentunnel zum Festland – eine Gesteinsmenge mit der sich die Cheops-Pyramide bis in die Spitze füllen ließe. Nach und nach werden 60.000 Kubikmeter Beton verarbeitet.

**August 2002** – die Construction-Phase beginnt mit dem Bau der technischen Anlagen auf Melkøya und an anderen Orten in Europa.

**Juli 2003** – Im spanischen La Coruna läuft am 11. Juli 2003 die Barge vom Stapel – jene gigantische „Schwimminsel“, auf der später Pumpen, Wärmetauscher, Kompressoren und das Kraftwerk der LNG-Anlage mit seinen 5 Gasturbinen montiert werden.

**2003** – Beginn der Montagearbeiten auf der Barge in Cádiz

**Juni 2004** – Im holländischen Zwijndrecht wird der so genannte Slugcatcher fertig gestellt. Das System aus großen, verzweigten Röhren hat die Aufgabe, über die Erdgas-Pipeline herantransportierte Feuchtigkeit und Schlämme vom Gas abzutrennen.

**August 2004** – Auf Sizilien werden die Monoethylenglykol-Tanks fertig gestellt und in den folgenden Tagen nach Hammerfest transportiert. Das Monoethylenglykol wird über eine Rohrleitung von der Insel zum Bohrloch gepumpt, um dort dem Gemisch aus Gas, Wasser und Kondensat zugesetzt zu werden. Es verhindert die Bildung fester Bestandteile, so genannter Hydrate, am Bohrlochaustritt sowie während des Transports zum Festland.

**April 2005** – In Antwerpen wird die Coldbox, der eigentliche Verflüssiger, fertig gestellt. Dieses Herz der LNG-Anlage wurde im Linde-Werk Schalchen in Bayern sowie in Bremen vorgefertigt und in Belgien komplett montiert. Anschließend geht der 62 Meter hohe Turm mit einem Schwerlastschiff auf die Reise nach Hammerfest.

**Juni 2005** – In Cádiz werden die Aufbauten auf der Barge – die Topside – fertig gestellt. Die Barge wiegt jetzt 35.000 Tonnen und wird im Golf von Cádiz vom Schwerlastschiff „Blue Marlin“ Huckepack genommen.

**Juni 2005** – Die Barge wird auf der „Blue Marlin“ gesichert und verlässt am 30. Juni 2005 den Golf von Cádiz in Richtung Hammerfest. Elf Tage dauert die Seereise. 2.700 Seemeilen legt das Schiff mit der fertigen Prozessanlage an Bord zurück.

#### Was jetzt noch passiert...

**Bis Ende 2006** – Mechanische Fertigstellung der Anlage auf Melkøya. Danach schließt sich die Inbetriebnahmephase an, während der alle Systeme strengen Tests unterzogen werden.

**Juni 2007** – Betriebsstart der Anlage

**Dezember 2007** – Aufnahme der „Commercial Production“. Die LNG-Produktion soll bis zu 30 Jahre lang anhalten.

Moderne Schiffstechnik sichert Erdgasversorgung

## Giganten der Meere

Die Erdgasnachfrage steigt weltweit rasant an. Aber nicht alle Regionen mit großem Bedarf können via Gas-Pipeline versorgt werden. Abhilfe schaffen große Tankschiffe, die verflüssigtes Erdgas (LNG) über die Meere in aller Herren Länder transportieren. Heavy-Lift-Vessels (HLV) ermöglichen den Transport der notwendigen Anlagen und sind als wichtige Lastenträger für die Ausweitung des Erdgasgeschäfts unentbehrlich.



*LNG auf Reisen: In den Aluminiumkugeln transportieren so genannte Moss-Tanker flüssiges Erdgas über die Ozeane.*

Der Handel mit flüssigem Erdgas ist ein Geschäft von großen Dimensionen. Für den Transport des „Liquefied Natural Gas“ (LNG) über den Globus sind gewaltige Tanker im Einsatz. 300 Meter Länge messen die imposanten Rümpfe aus Stahl für gewöhnlich – etwa so viel wie drei Fußballfelder. 50 Meter beträgt ihre Breite, genug, um den Pariser Arc de Triomphe im Schiffsbauch zu verstauen. Rund 180 LNG-Tanker kreuzen derzeit über die Ozeane. In Zukunft dürften es aber noch deutlich mehr werden, denn angesichts der Verknappung des Erdöls und steigender Preise gewinnt Erdgas zunehmend an Bedeutung.

Verflüssigtes Erdgas wird vor allem in jenen Regionen der Energieträger der Wahl sein, die sich wegen der Entfernung nicht per Pipeline an die großen Erdgasreserven der Welt anknüpfen lassen – die USA zum Beispiel. Der Vorteil von LNG ist, dass es bei einer Temperatur von minus 163 Grad Celsius 600-mal dichter als in seiner natürlichen Form ist. Und so auch sehr viel Platz sparender transportiert werden kann.

Nach Einschätzung des renommierten Londoner Schiffsmakler-Unternehmens E. A. Gibson wird sich der LNG-Weltmarkt von 142 Millionen Tonnen im Jahr 2004 auf rund 346 Millionen Tonnen im Jahr 2015 mehr als verdoppeln. Den Bedarf an Schiffen schätzen die Londoner für 2015 auf mehr als 350, was ebenfalls einer Verdoppelung entspricht. So überrascht es kaum, dass die Auftragsbücher der großen Hersteller von LNG-Tankern prall gefüllt sind. In den 1980er Jahren stammten die meisten LNG-Schiffe noch aus europäischen Werften, heute befinden sich die größten

Schiffbauer in Korea und Japan. Allen voran haben es die Koreaner inzwischen zur Meisterschaft im LNG-Tankerbau gebracht. So befinden sich in Südkorea mit den Firmen Daewoo Shipbuilding & Marine, Samsung Heavy Industries und Hyundai Heavy Industries die drei bedeutendsten LNG-Tankerhersteller der Welt. Jedes dieser Unternehmen lässt inzwischen mindestens sieben neue LNG-Tanker pro Jahr vom Stapel laufen.

### Technisch anspruchsvoll wie eine Raumfähre

Grundsätzlich gibt es zwei verschiedene Tanker-Typen – jene mit sphärischen Laderäumen, die so genannten Moss-Tanker, und die Membrantanker. Am weitesten verbreitet ist der klassische Moss-Tanker-Typ. In seinem Bauch ruhen riesige Aluminiumkugeln mit einem Durchmesser von bis zu 40 Metern. Dank der optimierten Kugelform sind diese Behälter in sich stabil. So reicht bereits eine Aluminiumdicke von nur vier Zentimetern ohne zusätzliche Versteifung aus. Zum Vergleich: Ein Hühnerrei von dieser Größe hätte eine Schalendicke von immerhin 30 Zentimetern. Um das LNG bei minus 163 Grad Celsius zu halten, reicht diese eine Aluminiumschicht mitsamt Isolierung aus. Bei den neueren Membran-Tankern ist das anders. Deren Tanks sind von einer Doppelschicht umhüllt. Ganz innen befindet sich in der Regel eine 0,7 bis 1 mm dicke Metallmembran, die den Tank abdichtet. Dahinter liegt eine Isolierschicht, die aus verschiedenen Materialien wie etwa Sperr- oder Balsaholz gefertigt ist. Um den Tank optimal zu isolieren, hat der Sandwichaufbau eine zweite

Schicht, in der Aluminium, Glasfaser oder Polyurethan aufeinander folgen. Mittlerweile werden bei den Werften mehr Membran- als Moss-Tanker bestellt. Denn laut einer Studie der Hyundai Heavy Industries können diese bei gleicher Abmessung bis zu acht Prozent mehr LNG laden, als die Schiffe mit den Aluminiumkugeln.

Der Bau der Membran-Tanker ist nach Ansicht von John Holland, Manager für Spezialaufgaben im Bereich Schiffstechnologie beim Germanischen Lloyd in Hamburg, hohe Kunst und durchaus „mit der Konstruktion einer Raumfähre vergleichbar“. Die Membranen müssen millimetergenau verarbeitet und verschweißt werden. Ecken und Kanten werden so gefertigt, dass sie sich bei den starken Temperaturschwankungen dehnen und zusammenziehen können, ohne zu reißen. Seit einiger Zeit



*Tieflader der Meere: Das Lastenschiff „Black Marlin“ ist eines der weltweit größten Heavy-Lift-Vessels (HLV).*

werden für die Membranen allerdings auch Stähle eingesetzt, die ihre Ausdehnung im Temperaturbereich von plus 20 Grad bis minus 163 Grad Celsius nicht verändern. Dazu gehören unter anderem Invar-Stähle, die in den Tankern der Firma Gaz-Transport verbaut werden.

### 250.000 Kubikmeter LNG pro Tanker

Der moderne Durchschnittstanker fasst rund 150.000 Kubikmeter LNG. Doch angesichts des Wachstums im LNG-Handel werden inzwischen Schiffe mit Kapazitäten von bis zu 250.000 Kubikmeter Ladevolumen geordert. Und die haben ihre technischen Besonderheiten. Anders als alle übrigen Handelsschiffe werden LNG-Tanker für gewöhnlich mit Dampfturbinen angetrieben. In ihren Dampfkesseln wird das so genannte Boil-off-Gas (BOG) verbrannt – jenes Gas, das während des Transports aus dem LNG abdampft. In der Regel wandeln sich täglich 0,15 Prozent der Ladung zu BOG. So speist ein LNG-Tanker bislang seine Maschine direkt mit seiner Ladung. Bei den Super-Tankern aber entstände mehr BOG, als der Antrieb verbrauchen kann. Diese Schiffe sollen deshalb mit Wiederverflüssigungsanlagen ausgestattet werden. Für den Schiffsantrieb kommen bei ihnen langsam laufende Dieselmotoren in Frage, die besonders effizient arbeiten. „Bislang sind Wiederverflüssigungsanlagen meist zu teuer“, sagt Holland. „Einerseits sind sie kostspielig, andererseits benötigen sie etwa fünf Megawatt elektrischer Leistung für den Betrieb ihrer Kompressoren.“ Auf den neuen Tankern jenseits der 200.000-Kubikmeter-

Marke aber lohne sich ihr Einsatz allemal. Holland geht davon aus, dass sich die Wiederverflüssigungsanlagen schon bald etablieren werden und künftig billiger und auch für kleinere Tanker lohnend werden.

Doch nicht allein LNG-Tanker prägen das maritime Bild des LNG-Handels. Für Aufsehen sorgen auch die so genannten Heavy-Lift-Vessels (HLV) – die Schwertransporter des Meeres. Auch beim Transport der Melkøya-Anlagenkomponenten von Cádiz und Antwerpen nach Hammerfest kam dieser ebenso ungewöhnliche wie eindrucksvolle Schiffstyp zum Einsatz. Aus den Niederlanden machte sich im Sommer die „Blue Marlin“ auf die Reise nach Cádiz, um dort ein 35.000 Tonnen schweres Teilstück der neuen LNG-Anlage auf den Rücken zu nehmen – die so genannte Barge. Die „Blue Marlin“, eines der weltweit größten HLVs, verfügt über eine



*Komplexe Technik: Moderne Membrantanker sind komplizierte Konstruktionen mit so genannter Sandwichbauweise.*

Ladefläche von 178 mal 63 Metern. Die kann zum Be- und Entladen unter den Wasserspiegel abgesenkt werden, so dass kurzzeitig nur noch die Schiffsaufbauten aus dem Wasser schauen. Schlepper bugsierten die Barge über das Deck. Beim Auftauchen thronte die Barge dann hoch auf der „Blue Marlin“. Anschließend schweißten die Arbeiter etwa 60 eineinhalb Meter hohe Bremskeile an den Flanken der Barge fest, um ein Abrutschen der Ladung bei schwerem Seegang zu verhindern. Danach ging es dann auf die 2.700 Seemeilen lange Reise nach Hammerfest.

HLV werden seit geraumer Zeit vor allem für den Einsatz auf hoher See – beispielsweise die Errichtung von Offshore-Bohrinseln – genutzt. Darüber hinaus können sie Kräne auf den Rücken nehmen, ganze Kriegsschiffe oder gleich bis zu 15 Motoryachten auf einmal. Die Reise nach Melkøya aber zeigt, dass die Riesenschlepper in den kommenden Jahren noch ganz andere Aufgaben übernehmen und einen guten Teil der LNG-Zukunft schultern werden. |

**Tim Schröder lebt und arbeitet als freier Wissenschaftsjournalist in Oldenburg. Er schreibt unter anderem für die Neue Zürcher Zeitung, bild der wissenschaft und mare.**

**Weiterführende Links:**  
[www.ship-technology.com](http://www.ship-technology.com)  
[www.dockwise.com](http://www.dockwise.com)  
[www.shi.samsung.co.kr](http://www.shi.samsung.co.kr)  
[english.hhi.co.kr](http://english.hhi.co.kr)

Linde arbeitet mit am CO<sub>2</sub>-freien Kohlekraftwerk

## Strom ohne Kohlendioxid

Wissenschaftler, Energieversorger und Kraftwerksbauer arbeiten weltweit an Konzepten für CO<sub>2</sub>-freie Kohlekraftwerke. Schlüssel zur sauberen Stromerzeugung ist die Verbrennung oder Vergasung mit reinem Sauerstoff und die Verflüssigung und Lagerung des Kohlendioxids. Linde engagiert sich in zahlreichen nationalen und internationalen Projekten – so bei einer Pilotanlage des Energiekonzerns Vattenfall, die 2008 in Betrieb gehen soll.

Deutschland gilt im globalen Umweltschutz als Vorreiter – zum Beispiel bei der Reduktion der Treibhausgas-Emissionen: Der Ausstoß von Kohlendioxid ist seit 1990 um 19 Prozent gesunken, bis 2012 soll die 21-Prozentmarke erreicht werden. Die Richtung stimmt also. Der Löwenanteil der eingesparten Treibhausgase in Deutschland geht aber auf das Konto abgeschalteter Betriebe und Kraftwerke in den neuen Bundesländern. Und nach Meinung der Umweltorganisation World Wide Fund for Nature (WWF) hat Deutschland in bestimmten Bereichen noch Nachholbedarf beim Klimaschutz. Eine Untersuchung des WWF ergab, dass fünf der

ökologischen Engagements seines Unternehmens. Aber auch betriebswirtschaftliche Überlegungen dürften eine Rolle spielen. Der schwedische Konzern hat die Braunkohleförderung und die Kraftwerke in den neuen Bundesländern übernommen und möchte die billige Braunkohle auch weiter nutzen, genauso wie RWE, das in Nordrhein-Westfalen Braunkohleförderung und viele Kohlekraftwerke betreibt. Mit rund 27 Prozent steuert die Braunkohle einen großen Anteil zur Stromgewinnung in Deutschland bei.

Ein Teil des Problems dürfte sich in den nächsten Jahren buchstäblich in Luft auflösen. In Deutschland müssen nämlich bis 2020 Kraftwerkskapazitäten von rund 40 Gigawatt ersetzt werden, weil die Meiler das Ende ihrer Lebensdauer erreicht haben und der Energiebedarf steigt. Große Kraftwerke liefern etwa ein Gigawatt – mindestens 40 Anlagen wären also alleine nötig, um den Kraftwerkspark zu erneuern.

### GuD-Kraftwerke für die Zukunft

Doch auf welche Technik und welchen Brennstoff sollen die Energieversorger setzen? Mit Blick auf den CO<sub>2</sub>-Ausstoß scheint der Fall klar: Mit kombinierten Gas- und Dampf-Kraftwerken, kurz: GuD-Kraftwerken, ließen sich bei der anstehenden Modernisierungsoffensive 48 Prozent gegenüber den ersetzten Kohlekraftwerken einsparen. GuD-Anlagen verbrennen Erdgas in einer Gasturbine und gewinnen aus der Restwärme genügend Energie, um damit zusätzlich noch Dampfturbinen anzutreiben. Ihr Wirkungsgrad liegt mit heute 58 Prozent weit über dem von Steinkohlekraftwerken (48 Prozent) und Braunkohlekraftwerken (43 Prozent), ihr CO<sub>2</sub>-Ausstoß ist auch deswegen deutlich geringer. Auch Kostenargumente sprechen für den Bau von GuD-Kraftwerken: Die 400 Euro Investitionskosten pro Kilowatt Leistung liegen deutlich unter den 700 Euro pro Kilowatt bei Kohlekraftwerken.

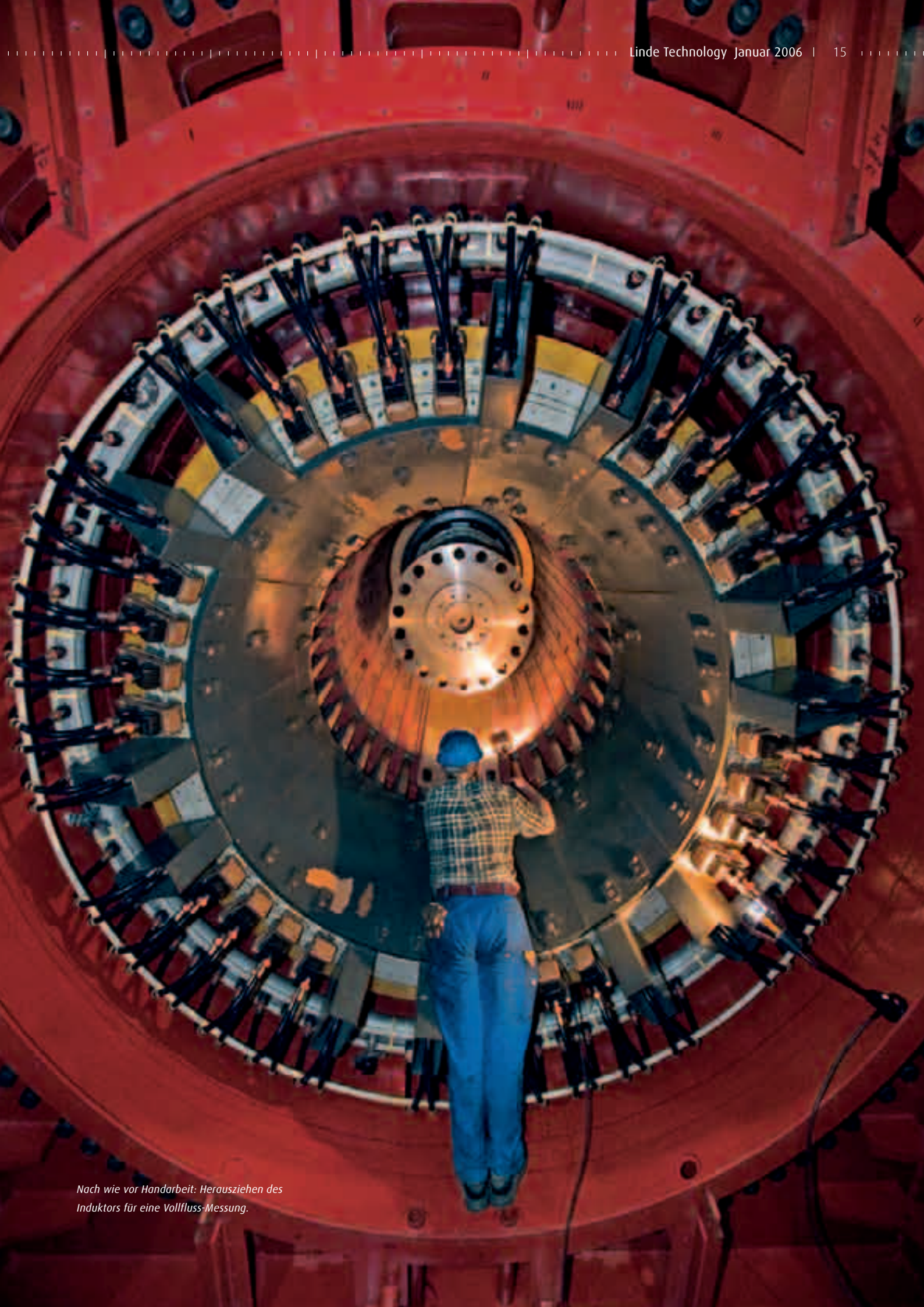
Wegen der genannten Vorteile rechnet die EU damit, dass sich der Brennstoff-Mix zugunsten von Erdgas verschieben wird.



Optimierte Anlagentechnik: Das RWE-Kraftwerk Niederaußem bei Köln.

zehn emissionsreichsten Kraftwerke in Europa auf deutschem Boden stehen. Experten überrascht das Ergebnis nicht. Die kritisierten Kraftwerke werden allesamt mit Braunkohle befeuert und „Braunkohle ist nun einmal eine sehr CO<sub>2</sub>-reiche Energie“, sagt Stefan Lechtenbömer vom Wuppertal-Institut für Klima, Umwelt, Energie. „Die globale Klimaveränderung ist die größte umweltpolitische Herausforderung unserer Zeit“, so Lars G. Josefsson, Präsident von Vattenfall. Darin sieht er auch das Hauptmotiv des





*Nach wie vor Handarbeit: Herausziehen des Induktors für eine Vollfluss-Messung.*

Der Verbrauch von Braunkohle dürfte stagnieren, Steinkohle wird nach einer Delle um 2010 wieder zulegen. Doch angesichts steigender Erdgaspreise bestehen Zweifel, ob diese Prognose so eintreffen wird. Seit dem 11. September 2001 hat sich der Preis für Erdgas mehr als verdoppelt. Seine Koppelung an den Erdölpreis ist zwar umstritten, aber dennoch werden nach heutigem Wissensstand die weltweiten Erdgasreserven nur wenige Jahrzehnte länger reichen als das Öl. Steinkohle und Braunkohle gibt es dagegen noch mindestens 300 Jahre und die Gefahr terroristischer Anschläge auf Pipelines entfällt. Die EU-Studie „World Energy, Technology and Climate Policy Outlook“ rechnet daher bis 2030 mit stabilen Kohlepreisen. Auch in den USA, wo in den vergangenen Jahren viele Gaskraftwerke gebaut wurden, hat ein Umdenken eingesetzt. Um den steigenden Energiebedarf zu stillen, reicht das heimische Erdgas nicht mehr aus – es müsste künftig importiert werden. Kohle hat man dagegen genug. Deshalb fördert die US-Regierung mit der „Clean Coal Power Initiative“ den Bau neuer Kohlekraftwerke mit zwei Milliarden Dollar über einen Zeitraum von zehn Jahren.

Je mehr Kraftwerke mit Kohle befeuert werden, desto dränger ist das CO<sub>2</sub>-Problem. Würden die gesamten geschätzten 5.000 Milliarden Tonnen an Kohlevorräten der Erde verfeuert, würde 17-mal soviel Kohlendioxid in die Atmosphäre geblasen, wie in den vergangenen 150 Jahren zusammen. Das wollen die Ingenieure durch neue Konzepte verhindern.

Heute schon im Einsatz sind Braunkohlekraftwerke mit optimierter Anlagentechnik, kurz BoA. Das RWE-Kraftwerk in Niederaußem (Nordrhein-Westfalen) – mit 965 Megawatt Leistung und einem Wirkungsgrad von 43 Prozent das modernste in Deutschland – arbeitet nach diesem Prinzip. Vor allem zwei Maßnahmen tragen dazu bei, dass der CO<sub>2</sub>-Ausstoß im Vergleich zu älteren Anlagen um 30 Prozent gesenkt werden konnte: Die Wirkungsgraderhöhung durch Braunkohletrocknung und die Erhöhung der Dampftemperatur am Turbineneintritt. Doch das wird alleine nicht reichen, um die Atmosphäre deutlich von Treibhausgasen zu ent-

lasten. Das schaffen Kohlekraftwerke nur, wenn das Kohlendioxid erst gar nicht in die Atmosphäre gelangt. Deshalb setzen alle Industrienationen auf die CO<sub>2</sub>-Abscheidung. In den letzten Jahren sind zahlreiche Forschungsprojekte dazu angelaufen.

Grundsätzlich gibt es drei Varianten, das Kohlendioxid zu entfernen:

**1. Nach der Verbrennung:** Dieses Verfahren hat den Vorteil, dass auch ältere Kraftwerke nachträglich damit ausgerüstet werden können. An manchen Kraftwerken gibt es solche Waschanlagen für Kohlendioxid schon, meist nicht aus Umweltschutzgründen, sondern um CO<sub>2</sub> für die Erdölförderung oder die Lebensmittelindustrie zu gewinnen. Dabei wird das Abgas des Kraftwerks durch ein Lösungsmittel, wie zum Beispiel Ethanolamin, geleitet. Anschließend wird das Waschmittel erhitzt, das CO<sub>2</sub> abgetrennt und durch Verdichtung verflüssigt. Das geht aber zu Lasten des Wirkungsgrads: Er sinkt um bis zu 14 Prozentpunkte, entsprechend mehr Kohle muss für die Bedarfsleistung verfeuert werden. Im EU-Projekt CASTOR planen Kraftwerksbauer eine Großversuchsanlage mit höherer Effizienz, die auch mit den Abgasströmen eines großen Kraftwerks klar kommt.

**2. Vor der Verbrennung:** Größtes Hindernis bei der Abtrennung von Kohlendioxid ist der hohe Anteil des Stickstoffs in der Verbrennungsluft, der durchs Kraftwerk hindurchgeschleust werden muss, beim Verbrennungsprozess aber keine Funktion hat. Im Gesamtprozess des neuen IGCC-Verfahrens (Integrated Gasification Combined Cycle) entsteht ein weitaus geringerer Anteil davon. Bei diesem Verfahren wird pulverisierte Kohle mit reinem Sauerstoff zu einem Synthesegas umgesetzt, das hauptsächlich aus Kohlenmonoxid und Wasserdampf besteht. Weiterer Wasserdampf setzt das meiste Kohlenmonoxid zu Kohlendioxid und Wasserstoff um. Das Kohlendioxid lässt sich nun leicht abtrennen, der Wasserstoff befeuert eine Gasturbine. Kraftwerksbauer wie Siemens und Alstom setzen auf die IGCC-Technik und entwi-



Überdimensionale Technik: Inspektion eines Rauchgas-Kanals.



Alles unter Kontrolle: Leitstand des RWE-Kraftwerks Niederaußem.

ckeln im EU-Projekt ENCAP und in COORETEC Kraftwerkskonzepten mit Gasturbinen, die der heißen Wasserstoffflamme standhalten. Viele Vergasungsanlagen – eine der Kernkompetenzen von Linde – werden heute schon in Raffinerien eingesetzt, weil sie neben Kohle auch Schweröl und sogar Asphalt verdauen. Für Kraftwerke hat sich die Technik noch nicht durchgesetzt, an der Zuverlässigkeit wird noch gearbeitet.

**3. Während der Verbrennung:** Ein Mittelweg ist das Oxyfuel-Verfahren. Dabei wird die Kohle mit Sauerstoff verbrannt. Weil die Verbrennungstemperatur mit reinem Sauerstoff auf 2.700 Grad Celsius steigen würde, die Dampfturbine heute aber nur 650 Grad aushält, strömt zur Regulierung der Temperatur ein Teil der Abgase zurück und verdünnt den Sauerstoff. Da die Stickstofflast wie beim IGCC-Verfahren von vornherein wegfällt, steigt die Konzentration des Kohlendioxids im Rauchgas auf rund 73 Prozent. Das macht es einfacher, das CO<sub>2</sub> abzutrennen, zu verflüssigen und abzutransportieren. Auch das Oxyfuel-Konzept wird von 20 Partnern im EU-Projekt ENCAP sowie in COORETEC untersucht.

#### Oxyfuel auf dem Prüfstand

Die Oxyfuel-Idee hat neuerdings Rückenwind erhalten. Der Energieversorger Vattenfall will am Standort Schwarze Pumpe in der Lausitz eine Pilotanlage mit 30 Megawatt Leistung bauen, die 2008 in Betrieb gehen soll. Die 40 Millionen Euro teure Pilotanlage soll zeigen, dass das Oxyfuel-Verfahren auch im Kontext eines komplexen Kraftwerkbetriebs funktioniert. Läuft alles wie geplant, soll im nächsten Jahrzehnt ein Oxyfuel-Demokraftwerk mit 250 bis 600 Megawatt Leistung folgen und im Jahr 2020 eine kommerzielle Anlage mit 1.000 Megawatt und wettbewerbsfähigen Stromerzeugungskosten in Betrieb gehen. Im Projekt Oxycoal arbeiten bereits jetzt Unternehmen wie RWE, E.ON und Linde unter der Führung der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule (RWTH) in Aachen am Konzept eines solchen kohlestaubbefeuerten Kraftwerks der Zukunft.

Für Linde bieten die neuen Kraftwerkstypen Oxyfuel und IGCC einen interessanten neuen Markt. Denn wenn Kohle nicht mehr mit Luft verfeuert wird, sondern mit reinem Sauerstoff entweder verbrannt oder in Synthesegas umgewandelt wird, ist Know-how beim Erzeugen und Handling von Gasen gefragt.

„Luft zerlegen ist wie Schnaps brennen – nur bei minus 180 Grad Celsius“, sagt Dr. Harald Ranke, Leiter für Forschung und Entwicklung im Geschäftsbereich Linde Engineering. Dazu wird die Luft auf minus 180 Grad Celsius abgekühlt. Durch gezieltes Erwärmen und Abkühlen kondensieren Sauerstoff und Stickstoff aus der Luft in verschiedenen Bereichen der Anlage. Je nach Reinheitsziel können so auch Edel- beziehungsweise wertvolle Spurengase wie Argon, Xenon und Krypton gewonnen werden. Beim Bau von Luftzerlegern ist Linde Weltmarktführer. Doch auch wenn die Linde-Ingenieure alle Details der Luftzerlegung beherrschen – künftige IGCC- oder Oxyfuelkraftwerke stellen die Technik vor enorme neue Herausforderungen. Die größten Anlagen liefern heute 5.000 Tonnen Sauerstoff pro Tag, das reicht für ein Oxyfuel-Kohlekraftwerk mit etwa 300 Megawatt. Für ein typisches Oxyfuel-Kraftwerk mit einem Gigawatt Leistung würde man somit drei der größten Luftzerlegungsanlagen benötigen. Der Kälteprozess würde in einem IGCC- oder Oxyfuel-Kraftwerk

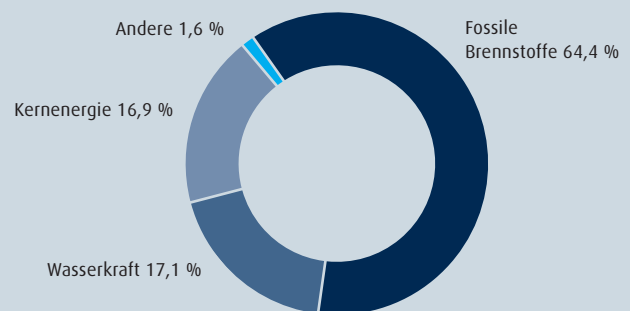
sieben bis elf Prozentpunkte Wirkungsgrad kosten, deshalb muss die Integration der Luftzerlegung in die Kraftwerksprozesse optimiert werden.

#### Membranzerleger für große Hitze

Einen Ausweg könnten so genannte Membranzerleger weisen. Sie arbeiten mit einer Keramikmembran, die den Sauerstoff aus der Luft abtrennt und energiesparender arbeiten könnte als ein Luftzerleger nach dem Destillationsprinzip. Der Sauerstoff wandert allein aufgrund seines Partialdrucks durch die poröse Keramik auf die andere, sauerstoffarme Seite. Was sich einfach anhört, ist in Wahrheit eine große Herausforderung. Bei der Abtrennung herrschen Temperaturen bis zu 900 Grad Celsius. Die Keramik muss den Spannungen bei dieser Hitze sowie den chemischen Beanspruchungen auf Dauer standhalten – eine Anforderung, die bisher nicht gelöst werden konnte. Zwar forschen vor allem amerikanische Unternehmen eifrig an dieser Technologie, ein Durchbruch und damit ein kommerzielles Produkt ist ihnen aber bisher noch nicht gelungen. Auch Linde arbeitet im Rahmen eines Projekts für das Bundesministerium

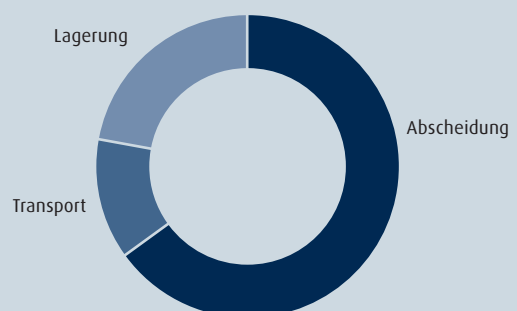
#### Weltweite Stromerzeugung

Anteile verschiedener Primärenergieträger an der weltweiten Stromerzeugung. Quelle: Vattenfall Europe AG



#### Kostenanteile für Abscheidung, Lagerung und Transport von CO<sub>2</sub>

Quelle: Vattenfall Europe AG





*Zukunft ohne CO<sub>2</sub>: Linde-Luftzerlegungsanlagen, wie hier in Leuna, liefern Sauerstoff für viele Anwendungen, unter anderem für die saubere Stromerzeugung.*

für Bildung und Forschung an Membranzerlegern. Das Know-how soll unter anderem in das Kraftwerkskonzept einfließen, das im Rahmen des Oxycoal-Projekts konzipiert wird.

#### CO<sub>2</sub> soll unter die Erde

Entscheidend für die Effizienz eines Luftzerlegers – egal welcher Bauart – wird sein, dass er möglichst nahtlos in das Kraftwerk integriert ist. Während Linde in vielen Industriebereichen Luftzerleger zur Sauerstoffherzeugung oder Dampfpreformer zur Wasserstoffherzeugung in Eigenregie betreibt und die Gase zu Festpreisen an den Kunden liefert, wollen die Energieversorger solche Anlagen selbst betreiben. Das ist deshalb sinnvoll, weil das Kraftwerk ohnehin die mechanische und elektrische Energie für den Luftzerleger liefert und eine nahtlose Verzahnung Energieverluste verhindert. „Gemeinsam mit den Energieversorgern wird Linde dafür neue Geschäftsmodelle entwickeln“, verspricht Ranke.

In einem CO<sub>2</sub>-freien Kraftwerk der Zukunft ist das Abtrennen des Kohlendioxids aber nur die halbe Miete. Würde man es einfach in die Luft pusten, wäre für den Klimaschutz nichts gewonnen – das gilt besonders für das Oxyfuel-Verfahren. Das klimaschädliche Gas muss also dauerhaft eingesperrt – sequestriert – werden. Die naheliegendste Möglichkeit: Man pumpt das Kohlendioxid in Erdöl- oder Erdgasfelder. Dort erhöht es den Druck in der Lagerstätte und damit die Ausbeute. In Ländern, die hohe CO<sub>2</sub>-Steuern erheben oder die am Emissionshandel teilnehmen, spart das eine Menge Geld. Die norwegische Statoil pumpt zum Beispiel jährlich eine Million Tonnen CO<sub>2</sub>, die ungewollt aus Erdgasfeldern mitgefördert werden, wieder zurück unter den Meeresboden und spart damit einen zweistelligen Millionenbetrag pro Jahr. Die Utsira-Gesteinsformation in der Nordsee könnte nach Statoil-

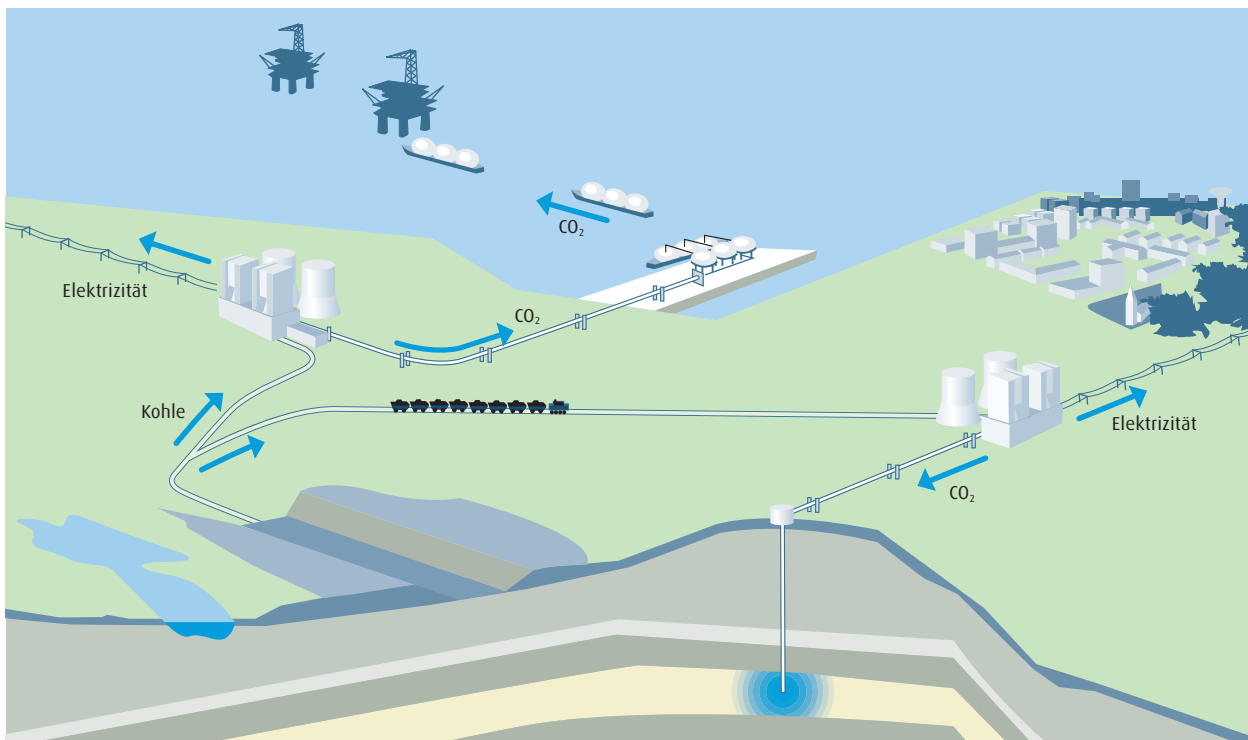
Schätzungen 600 Milliarden Tonnen CO<sub>2</sub> aufnehmen – das wären die CO<sub>2</sub>-Emissionen aller heutigen europäischen Kraftwerke für die nächsten 600 Jahre.

Eine andere Variante besteht darin, das CO<sub>2</sub> in abgebaute Kohleflöze oder Salzstöcke zu pressen. In Ketzin nahe Berlin startet 2006 das Projekt CO<sub>2</sub>-Sink, koordiniert vom Geoforschungszentrum Potsdam. Dort wird Kohlendioxid testweise in einen Salzstock gepresst. Auch hier will sich Linde beteiligen und bietet CO<sub>2</sub>-Lieferung und Technologie zum Verflüssigen, Lagern, und Verdampfen an. Ideal wäre die Koppelung mit dem Oxyfuel-Versuchskraftwerk von Vattenfall, das seinen Betrieb jedoch erst Mitte 2008 aufnehmen wird.

CO<sub>2</sub>-Sink wird aufgrund der Nähe zur Großstadt vermutlich zunächst viele Fragen bezüglich Genehmigungsverfahren und Akzeptanz in der Bevölkerung aufwerfen. Da das Thema CO<sub>2</sub>-Sequestrierung in der Öffentlichkeit noch nahezu unbekannt ist, muss vor allem Überzeugungsarbeit dafür geleistet werden, dass das Kohlendioxid für kommende Jahrhunderte sicher im Untergrund verstaut werden kann. Dort verbindet es sich nach Einschätzung von Geologen mit den vorhandenen Kalziumsalzen allmählich zu harmlosem Kalkstein und ist somit unschädlich gemacht.

#### Ein Frage der Wirtschaftlichkeit

Neben der Überwindung von technischen Hürden ist es für den Erfolg der CO<sub>2</sub>-Abscheidung aber ebenso entscheidend, ob sie wirtschaftlich darstellbar ist. Derzeit kostet das Abtrennen einer Tonne CO<sub>2</sub> zwischen 30 und 40 Euro, der Transport in Hochdruckpipelines 6 bis 15 Euro pro 100 Kilometer und die Speicherung im Untergrund weitere 10 bis 25 Euro, was die Stromkosten um 1,5 bis 6 Cent pro Kilowattstunde verteuern würde. Vattenfall



*CO<sub>2</sub>-Entsorgung: Um die Emission des Treibhausgases wesentlich zu reduzieren, wird es bei seiner Entstehung (zum Beispiel bei der Stromerzeugung) gezielt abgeschieden und anschließend in geeigneten geologischen Formationen oder ausgebeuteten fossilen Lagerstätten eingelagert.*

strebt mit Oxyfuel langfristig deutlich niedrigere Kosten an: Geplant sind etwa 20 Euro pro Tonne CO<sub>2</sub>. Gleichzeitig steigen die Preise im Emissionshandel: Momentan kostet das Emissionsrecht pro Tonne CO<sub>2</sub> im EU-Handel 20 bis 30 Euro – „mehr, als ursprünglich für diesen Zeitpunkt erwartet“, sagt Karoline Rogge vom Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung in Karlsruhe, das die Bundesregierung bei der Zuteilung der Zertifikate berät. Frank Häffner vom Strategiefeld Energy bei Siemens ist optimistisch: „Wegen der beiden gegenläufigen Trends dürfte die CO<sub>2</sub>-Abtrennung in 15 bis 20 Jahren wirtschaftlich sein.“ Auch die Amerikaner setzen auf diesen Trend: Die FutureGen-Initiative soll in spätestens zehn Jahren das weltweit erste CO<sub>2</sub>-freie IGCC-Kraftwerk bauen. Eine Milliarde Dollar sind dafür vorgesehen.

Dr. Harald Ranke von Linde ist schon gespannt auf das Frühjahr 2006. Dann müssen die vom Emissionshandel betroffenen Unternehmen ihre CO<sub>2</sub>-Bilanzen vorlegen. Ist der CO<sub>2</sub>-Ausstoß höher als es die zugeteilten oder erworbenen Zertifikate erlauben, drohen Strafen von 40 Euro pro Tonne. „Vielleicht werden CO<sub>2</sub>-freie Kraftwerke dann sogar noch schneller gebraucht als bisher gedacht“, so Ranke. |

Bernd Müller ist freier Journalist in Esslingen. Für Wissenschafts- und Wirtschaftsmedien beschäftigt er sich insbesondere mit innovativen Technologien.

#### Weiterführende Links:

[www.vattenfall.de](http://www.vattenfall.de)  
[www.europa.eu.int](http://www.europa.eu.int)  
[www.bmwa.bund.de](http://www.bmwa.bund.de)  
[www.co2sink.org](http://www.co2sink.org)

#### CASTOR

Ein von der EU finanziertes Projekt, das sich mit der Trennung und Speicherung von CO<sub>2</sub> in Europa beschäftigt. Es begann im Februar 2004 und hat eine Laufzeit von drei Jahren. Daran arbeiten zahlreiche Energieversorger, Industrieunternehmen und Forschungsinstitute mit.

#### ENCAP

An dem bis Frühjahr 2009 laufenden Projekt sind 33 industrielle Partner sowie zahlreiche Universitäten und renommierte Forschungseinrichtungen beteiligt. Das Gesamtbudget des Projektes beträgt 22 Millionen Euro. Zielsetzung von ENCAP beispielsweise ist die Entwicklung so genannter Pre-Combustion Technologien, durch die der Kohlendioxidaußstoß von Kraftwerken erheblich reduziert werden soll. Linde Engineering beteiligt sich derzeit an den beiden Unterprojekten „Process and Power Systems“ und „High-Temperature Oxygen Generation of Power Cycles“.

#### COORETEC

Der Name leitet sich von CO<sub>2</sub>-REDuktions-TEchnologien in fossil befeuerten Kraftwerken ab. Das Forschungskonzept wurde gemeinsam von Wirtschaft, Wissenschaft und dem Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (BMWA) erstellt und beschäftigt sich mit der Entwicklung notwendiger Technologien für hocheffiziente, nahezu abgasfreie und wirtschaftliche Kohle- und Gaskraftwerke. Damit zeigt es weltweit erstmals eine realistische „Roadmap“ zur Kraftwerksentwicklung auf. Auch Linde beteiligt sich an diesem Projekt.



*Prachtexemplar: Der Kabeljau ist als Speisefisch sehr beliebt.*

Linde-Technologie hilft in der Fischzucht

## Lebenselixier für Kabeljau und Co.

Fisch steht weltweit immer öfter auf dem Speiseplan. Um die Ozeane vor einer noch stärkeren Überfischung zu bewahren, wächst die Zahl der Zuchtanlagen. Damit Lachse und Kabeljau aber in solchen Fischgehegen gedeihen, benötigen sie jede Menge Sauerstoff. Linde entwickelt Technologien für die Intensivfischzucht.

Alle Welt isst Fisch. Die Menschen verspeisen große Mengen der Tiere, und der Verzehr nimmt seit Jahren zu. Fischereibetriebe und Züchter arbeiten auf Hochtouren: Wurden im Jahr 1990 weltweit noch ungefähr 100 Millionen Tonnen Fisch gefangen und gezüchtet, so waren es im Jahr 2002 bereits mehr als 130 Millionen Tonnen. Und noch ist kein Ende des Fischkonsums in Sicht. Nach Schätzungen der Welternährungsorganisation der Vereinten Nationen (FAO) wird die Nachfrage bis zum Jahr 2030 um fast 40 Prozent auf dann 180 Millionen Tonnen klettern. Vor allem in China wächst der Fischhunger nach wie vor gewaltig. Um den Markt überhaupt noch bedienen zu können, stammt bereits heute gut ein Viertel aller Fische, die im Kochtopf landen, aus Zuchtanlagen, die bei Süßwasserfischen als Aquakulturen bezeichnet werden. Die salzige Variante heißt Marikultur. Fast alle üblichen Speisefische wie Lachs, Barsch, Brasse, Kabeljau, Steinbutt, Stör, Heilbutt, Wels und selbst Shrimps, Muscheln und Algen wachsen inzwischen zunehmend in Intensivzuchtanlagen. Diese Fischgehege besitzen gegenüber dem industriellen Fischfang einige Vorteile: Wenn Fischerboote beispielsweise riesige Schleppnetze über den Meeresboden ziehen, zerstören sie dort Fauna und Flora und dezimieren so die Artenvielfalt der Ozeane. Außerdem verfangen sich in den Netzen auch Meeresbewohner, die dort überhaupt nicht hineingehören, zum Beispiel Wale, Delfine und Seevögel. Beim kontrollierten Aufwachsen von Fischen in geschlossenen Zuchtbecken entstehen solche Probleme nicht. Zudem wurden in den vergangenen 50 Jahren manche Fanggründe in den Ozeanen regelrecht leer gefischt. Der Kabeljau-Bestand in der Nordsee ist beispielsweise fast völlig zusammengebrochen.

Damit die Zöglinge in den Fischfarmen problemlos gedeihen, brauchen sie im Wasser jederzeit genug Sauerstoff zum Atmen. Denn sie wachsen erst dann optimal, wenn das Wasser zu 80 Prozent oder mehr mit Sauerstoff gesättigt ist. Darum muss die Konzentration des lebensnotwendigen Gases ständig kontrolliert und oberhalb des kritischen Grenzwertes gehalten werden. Ist der Sauerstoffgehalt zu gering, können die Fische schlechter verdauen und benötigen darum mehr Futter. Zusätzlich steigt auch das Risiko einer Erkrankung. Wichtigste Grundlage für die Aquakulturen ist deshalb die Versorgung des Wassers mit Sauerstoff. Dazu verwenden die Züchter nicht einfach Luft, sondern das Gas in seiner Reinform. „Bei reinem Sauerstoff ist der Partialdruck fünfmal höher als bei Luftsauerstoff. Als Folge lässt es sich leichter in Wasser lösen“, erläutert Heiko Zacher, Leiter des Segmentes Market Development Food von Linde Gas. Linde bietet komplette Anlagen zur Versorgung ganzer Fischfarmen an. „Wir produzieren nicht nur den Sauerstoff, wir entwickeln die Technologie zum Eintrag des Gases ins Wasser und wir liefern die Software zur Optimierung der Zuchtverhältnisse.“

### Unterschiede bei Süß- und Salzwasser

Welche Technik zum Eintrag des Gases verwendet wird, hängt unter anderem davon ab, ob Süß- oder Salzwasserfische gezüchtet werden, erläutert Ove Gjelstenli, Sales Manager bei der Linde-Tochtergesellschaft AGA Gas in Norwegen: Für den Sauerstoffeintrag in Salzwasser benötigt man deutlich weniger Energie als in Süßwasser. Die Ursache sind die Gasbläschen, die im Salzwasser klein bleiben und sich nicht vereinen. So hat der Sauerstoff viel Zeit, um sich im Wasser zu lösen. Im Süßwasser dagegen



*Große Nachfrage: Nach Schätzungen der FAO steigt der Hunger auf Fisch bis 2030 weltweit auf rund 180 Millionen Tonnen pro Jahr.*



*Europäischer Spitzenreiter: In den großen Fischfarmen Norwegens werden vor allem Lachse gezüchtet.*

vereinigen sich kleine Gasbläschen schnell zu größeren, die rasch zur Oberfläche aufsteigen.

In 95 Prozent der Süßwasser-Anlagen werden so genannte Eintragskegel für das Lösen von Sauerstoff im Wasser verwendet. In einem übermannshohen kegelförmigen Behälter aus Glasfaser oder Stahl wird Wasser zusammen mit Sauerstoff unter Druck eingeleitet. Die intensive Vermischung im Kegel führt zum gewünschten Sauerstoffeintrag. Diese Technik gibt es bereits seit geraumer Zeit. „Aber mit einer neuen Entwicklung konnten wir den Wirkungsgrad um 50 Prozent erhöhen“, erklärt Karsten Glomset, Product Development Manager bei AGA Gas, Norwegen.

Diese neue Technologie vermarktet das Unternehmen jetzt unter dem Namen ReOx. Das System – bestehend aus Eintragskegel und ReOx – ist in unterschiedlichen Größen verfügbar: Je nach Bedarf werden zwischen 500 und 2.000 Liter Wasser pro Minute mit Sauerstoff angereichert. Mit Hilfe des hinzugefügten Sauerstoffs kann die Fischdichte in den Becken ganz erheblich gesteigert werden: Erhöht der Züchter die Sauerstoff-Sättigung in seiner Farm beispielsweise von 90 auf 100 Prozent, wächst

der Fischertrag um bis zu einem Drittel. Weil das Wasser in den so genannten Anreicherungsanlagen aber extrem mit Sauerstoff übersättigt ist, genügt es, rund 10 bis 30 Prozent des zulaufenden Wassers mit Sauerstoff anzureichern, um die angestrebte Sättigung von 100 Prozent zu erzielen. Nach der Anreicherung mit Sauerstoff fließt das übersättigte Wasser mit Hilfe eines speziellen Instruments, des so genannten Oxy-Stream ins Becken. Dieses Instrument ist in Dimension und Leistung an den jeweiligen Fischtank anpassbar. Seine speziell geformten Auslassdüsen erzeugen im Becken eine Kreisströmung. Auf diese Weise verteilt sich der Sauerstoff schnell im Wasser, so dass eine homogene Mischung entsteht.

Für Salzwasser gibt es ähnliche Anlagen. Seit August 2005 existiert eine neue hocheffiziente Technik, die sich AdOx nennt und sogar ohne Eintragskegel auskommt. Sie kann bei einem Druck von nur 0,2 bar betrieben werden – also gerade ein Fünftel höher als der Atmosphärendruck. „Deshalb verbrauchen diese Anlagen – im Vergleich zu Eintragungssystemen für Süßwasser – sehr wenig Energie“, erklärt Zacher. AdOx wird für kleine Fisch-

becken verwendet; die ebenfalls patentierte Alternative für große Becken heißt Oxy Process. Genau wie bei ReOx befindet sich das Anreicherungsgerät von AdOx und Oxy Process außerhalb des Fischbeckens. Dadurch kann seine Funktionstüchtigkeit einfach kontrolliert werden. Ebenfalls wichtig für eine erfolgreiche Fischeaufzucht: Die Anlagen müssen auch für Notfälle gerüstet sein. „Wenn zum Beispiel der Strom ausfällt, darf die Sauerstoffkonzentration in den Fischtanks nicht übermäßig sinken“, erklärt Karsten Glomset. Zu diesem Zweck gibt es Notsysteme, die automatisch funktionieren: Dabei öffnen sich elektrizitätsfrei betriebene Magnetventile und sichern die Sauerstoffzufuhr im Becken so lange, bis der Strom wieder angeschaltet ist.

#### Temperatur und Wasserqualität sind entscheidend

In solchen Zuchtanlagen müssen die Fische aber auch besonders vor Krankheiten geschützt werden. Denn diese würden sich in den Tanks rasend schnell ausbreiten. Deshalb wird häufig Ozon zur Keimreduzierung des Kreislaufwassers in Fischzuchtanlagen eingesetzt. Neben dem Sauerstoffgehalt ist auch die Temperatur eine wichtige Größe, die ständig überprüft werden muss. Denn wird es im Fischbecken zu warm, verliert das Wasser die Fähig-

keit, Gase zu lösen. Ähnlich wie in einem Glas Sprudel bilden sich dann kleine Gasperlen – diese sind allerdings mit Stickstoff gefüllt. Stickstoff löst sich ebenfalls gut in Wasser und wird bei Wärme wieder frei. Die Stickstoff-Gasperlen müssen schnellstens entfernt werden, denn sie können die so genannte Gasblasenkrankheit hervorrufen. Diese Krankheit kann im Blutkreislauf der Fische zu Embolien führen oder die Tiere erblinden lassen. Dieses Problem lässt sich durch den Einsatz von reinem Sauerstoff vermeiden.

Bisher betreiben die Fischfarmer ihre Zucht meist in so genannten offenen Systemen. Dafür fließt Wasser aus offenen Gewässern in die Fischzuchtanlage und von dort wieder zurück. Doch der Trend geht in Richtung geschlossener Systeme. „In diesem Fall bleiben 90 Prozent des Wassers im Kreislauf“, erklärt Heiko Zacher. Solche Anlagen sind – weil fast komplett abgeschottet – umweltfreundlicher als die offenen. Unterstützt von Linde errichtete ein französischer Fischfarmbetreiber 1992 die erste Anlage mit geschlossenem Wasserkreislauf in Europa. Um die Wasserqualität in solchen geschlossenen Anlagen zu sichern, müssen die Betreiber das Wasser kontrolliert aufbereiten. Im Wasser einer Fischzuchtanlage reichern sich durch Atmung und Ausscheidung Kohlendioxid und Ammoniak an. In einem annähernd geschlossenen Wasserkreislauf müssen diese Substanzen aus dem Wasser entfernt werden. Dieses geschieht entweder –

*Sauerstoffreich: Für eine möglichst hohe Ausbeute der Aquakulturen muss vor allem die Sauerstoffkonzentration konstant gehalten werden. Linde-Ingenieure haben dazu verschiedene Technologien entwickelt.*







*Schnelle Verarbeitung: Die steigende Nachfrage nach Shrimps und anderen Meerestieren erfordert eine effiziente Produktionskette.*

### Miesmuscheln aus dem Windpark

Meerestiere können nicht nur in Fjorden und Seen gezüchtet werden. Den wohl kuriossten Ort für eine Aquakultur hat Dr. Bela Buck vom Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung in Bremerhaven untersucht. Der Forscher schlägt in seiner Dissertation vor, dass zwischen den Türmen von Windkraftanlagen, die mitten in der Deutschen Bucht geplant sind, Miesmuscheln und die Algenart „Zuckertang“ gezüchtet werden. Der

Bremer Förderverein verlieh ihm für seine Arbeit den Studienpreis für mittelstandsbezogene Forschung. Im offenen Meer muss die Aquakultur viel härtere Bedingungen aushalten, als in einer geschützten Bucht oder in einem Teich. Doch die ringförmig um die Windkraftanlagen angeordneten Besiedlungsgestelle widerstehen der starken Strömung und dem Wellengang. Ein Vorteil dieser Zuchtvariante ist, dass manche Parasiten, die Miesmuscheln oft am Strand befallen und schädigen, an den getesteten Stellen im offenen Meer gar nicht erst auftreten.

im Falle von Kohlendioxid – durch Belüftung oder – wie beim Ammoniak – über biologischen Abbau.

Das Land mit der größten Zuchtproduktion weltweit ist China. Dort dominieren heute noch traditionelle Techniken den Markt: Mit Hilfe von Gülle aus der Schweinemast wird etwa das Wachstum von Wasserpflanzen und Algen angeregt, damit die gezüchteten Karpfen ausreichend zu fressen haben. 30 Millionen Tonnen Fisch pro Jahr kommen mit diesen Methoden zusammen. Das ist mehr als doppelt so viel, wie der Rest der Welt zusammen hervorbringt. Nur ein verschwindend geringer Anteil der globalen Fischzucht befindet sich in Deutschland. Während historisch gewachsene Teichzuchtanlagen hier immer mehr an Relevanz verlieren, gewinnen industrielle Fischzuchtanlagen mit geschlossenen Kreislaufsystemen zunehmend an Bedeutung.

### Linde-Fischzuchtforschung in Norwegen

Das Vorreiterland in Europa ist Norwegen. Die großen Lachsfarmen in den Fjorden werden dem Konsumenten alljährlich zur Weihnachtszeit bewusst, wenn sich der norwegische Lachs in den Supermarktregalen stapelt. Pro Jahr werden in dem skandinavischen Land rund 500.000 Tonnen Fisch produziert. Aufgrund der langjährigen Erfahrung ist die Fischzucht in Norwegen hoch entwickelt. Deshalb hat Linde dort einen Schwerpunkt auf Fischfarming gesetzt: Mehrere hunderte Linde-Systeme sind bereits im Einsatz. Dabei kooperieren die Fischzucht-Experten von Linde vor allem mit den großen, global operierenden Unternehmen der Branche. An der norwegischen Küste, in Ålesund, betreibt Linde seit zwei Jahren ein Entwicklungszentrum für Fischzucht-Technologie. „Dort werden – zusammen mit den Partnern aus

Forschung und Praxis – neue Technologien entwickelt, zum Beispiel um den Betrieb von Fischzuchtanlagen zu optimieren“, sagt Zacher. In der Anlage können Temperaturen und Salzgehalt variiert und zum Beispiel die Bedingungen des Mittelmeeres simuliert werden.

Auch der Mittelmeerraum ist bereits ein großer Markt für Fischzucht, besonders in Spanien, Frankreich, Italien und Griechenland und in der Türkei. Künftig könnten sich auch Südamerika und Asien zu interessanten Absatzmärkten entwickeln. Denn laut einer Studie des Internationalen Forschungsinstituts für Nahrungsmittelpolitik wird der Verbrauch auch in Entwicklungsländern steigen: von 62,7 Millionen Tonnen im Jahr 1997 auf 98,6 Millionen Tonnen im Jahr 2020. Damit die Kunden überall auf der Welt mit den modernen Systemen für die Fischzucht auch zurechtkommen, bietet das Forschungs- und Entwicklungszentrum Ålesund Seminare an. Denn der Bezug zu den Kunden ist entscheidend, betont Zacher: „Die Sprache der Fischzüchter zu sprechen, ist ganz wesentlich. Denn schließlich sind es ihre Bedürfnisse, zu denen unsere Anlagen passen sollen.“ |

Sven Titz arbeitet als freier Wissenschaftsjournalist in Berlin. Er schreibt für die Berliner Zeitung, für das Magazin *Astronomie Heute* und andere Printmedien.

### Weiterführende Links

[www.linde-gas.de](http://www.linde-gas.de)

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

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

[europa.eu.int/comm/fisheries](http://europa.eu.int/comm/fisheries)

Linde-Ingenieure entwickeln ionischen Kompressor

# Mobilität unter Hochdruck

Der Maschinenbauingenieur Robert Adler und sein Team von Linde Gas in Wien haben einen alten Traum der Technik verwirklicht: Eine Anlage zur Verdichtung von Gasen bei gleich bleibender Temperatur – die isotherme Verdichtung. Die Erfindung, an der sich Ingenieure seit mehr als 150 Jahren vergeblich versuchten, könnte den Maschinenbau revolutionieren. Erste Anwendungen findet die Technik in Wasserstoff- und Gastankstellen.

Busse, Pkw und selbst Gabelstapler fahren schon seit Jahren mit Erdgas. Auch die ersten wasserstoffbetriebenen Autos und einige wenige Gabelstapler rollen bereits über die Straßen und in den Werkshallen der USA, Europas und Asiens. Sie alle brauchen einen gasförmigen Treibstoff, der – anders als Benzin oder Diesel – hohe Anforderungen an die Betankungs- und Speichertechnik stellt: „Um eine möglichst große Menge Wasserstoff im Tank speichern zu können und damit auch eine vernünftige Reichweite zu erzielen, muss der Treibstoff unter Hochdruck mit mindestens 450 bar in die Tanks gepresst werden“, erklärt Ingenieur Helmut Mayer von Linde Gas in Wien.

Für Drücke zwischen 200 und 1.000 bar übernehmen die Verdichtung meist so genannte Kolbenkompressoren. Weil sich dabei viele mechanische Teile bewegen, müssen Führungen, Lager und Buchsen immer gut geschmiert sein, damit kein Verschleiß auftritt. Das bedeutet aber auch, dass der Gasraum absolut dicht sein muss, damit kein Schmiermittel hinein gelangen und den Treibstoff verunreinigen kann. „Für die Verbrennung in Brennstoffzellen, die den doppelten Energiewirkungsgrad herkömmlicher Fahrzeuge besitzen, benötigen wir aber hochreines Gas, ohne jegliche Verschmutzung, weil sonst die Lebensdauer der Zelle erheblich verkürzt wird“, erklärt Robert Adler, Leiter des Anwendungstechnischen Zentrums (ATZ) von Linde Gas in

Wien. Deshalb dürfen die Kompressoren für Wasserstoff- und Erdgastankstellen auch nicht geschmiert werden, was wiederum zu Problemen bei längerem Betrieb führt. „Wenn man aber an die kommerzielle Nutzung von Wasserstoff denkt, benötigen wir Anlagen, die viele Tausend Stunden ohne jegliche Wartung auskommen, damit eine Tankstelle auch die nötige Treibstoffmenge durchsetzen kann und wirtschaftlich zu betreiben ist.“ Solche Anlagen müssten pro Tag bis zu 1.500 Kubikmeter Wasserstoff vertanken und rund 8.000 Betriebsstunden, was etwa 500 Tagen entspricht, ohne jegliche Wartung auskommen. Für herkömmliche Kolbenkompressoren eine fast unlösbare Aufgabe.

## Ionische Flüssigkeiten als Grundlage

Jetzt fand das Team um den Thermodynamik-Experten Robert Adler für dieses Problem eine neuartige Lösung, das den Maschinenbau verändern könnte: den ionischen Verdichter. Seinen Namen trägt die neuartige Anlage aufgrund des Mediums mit dem die Linde-Spezialisten arbeiten: ionische Flüssigkeiten. Das sind organische Salze mit Schmelzpunkten zwischen minus 90 und 100 Grad Celsius. „Viele ionische Flüssigkeiten sind bereits bei Raumtemperatur flüssig“, erläutert Adler. Im Gegensatz zu herkömmlichen, molekularen Flüssigkeiten bestehen ionische Flüssigkeiten vollständig aus elektrisch negativ und positiv gela-

*Innovationen gefordert: Die zunehmende Mobilität erfordert unkonventionelle Technologien. Dazu zählt die Verdichtung gasförmiger Kraftstoffe mit Hilfe von ionischen Flüssigkeiten.*



**Ionische Flüssigkeiten** sind seit rund 90 Jahren bekannt. Sie bestehen aus Salzen, die wie Kochsalz aus positiv geladenen Teilchen (Kationen) und negativ geladenen Teilchen (Anionen) zusammengesetzt sind. Salze haben in der Regel einen hohen Schmelzpunkt.

Der Schmelzpunkt von ionischen Flüssigkeiten wird durch eine geeignete Auswahl der beteiligten Kationen und

Anionen drastisch gesenkt. Je nach gewählter Kation/Anion-Kombination sind die physikalischen und chemischen Eigenschaften einer ionischen Flüssigkeit sehr unterschiedlich. Sie besitzen einige herausragende Eigenschaften: Sie sind nicht flüchtig, nicht brennbar, haben keinen messbaren Dampfdruck und es lassen sich sehr hohe Konzentrationen von verschiedensten Materia-

lien darin auflösen, angefangen von organischen Mitteln wie Fetten, Ölen und pharmazeutischen Produkten bis hin zu Metallen, Polymeren und sogar Mineralien. Aufgrund der hohen Kombinationsmöglichkeiten von Anionen und Kationen ist die Herstellung verschiedener ionischer Flüssigkeiten fast unbegrenzt und kann nahezu an jede Anforderung angepasst werden.

denen Teilchen. „Sie sind quasi eine Kombination aus organischer und anorganischer Chemie, und sie besitzen deshalb neue und ungewöhnliche Eigenschaften“, erklärt Adler die Besonderheit der exotischen Stoffe. Zum Beispiel weisen ionische Flüssigkeiten keinen Dampfdruck auf. Das bedeutet, dass kein einziges Molekül aus der Flüssigkeit „verdunstet“, sich also nicht mit einem Umgebungsmedium vermischen kann, so lange ihre Zersetzungstemperatur nicht erreicht wird. Da es eine nahezu unendliche Anzahl von organischen Molekülen gibt, können die physikalischen und chemischen Eigenschaften einer solchen Mischung an fast jede Anforderung angepasst werden, weshalb ionische Flüssigkeiten auch als „Designer-Flüssigkeiten“ bezeichnet werden. Außerdem sind die Gemische auch nicht entflammbar, elektrisch leitend, wirken korrosionshemmend, zeigen gute Schmiereigenschaften und vor allem sind sie besonders umweltfreundlich, weil sie nicht in die Atmosphäre gelangen können. „Alle diese Eigenschaften brachten uns auf eine Idee, die wir vor etwa zwei Jahren zum ersten Mal näher betrachtet haben“, erläutert Adler den Beginn der Erfolgsstory.

Schon seit rund vier Jahren arbeiten die Linde-Ingenieure im Wiener Bezirk Nummer 3 gemeinsam mit der DaimlerChrysler AG an der Entwicklung spezieller Verdichter für die Anwendung in Wasserstofftankstellen. „In Sachen Wasserstofftankstelle sind

wir mittlerweile Weltmarktführer“, sagt Adler nicht ganz ohne Stolz. Tatsächlich stammt bereits jede zweite der weltweit mehr als 60 Tankstellen für gasförmigen Wasserstoff aus den Werkstätten der Wiener Kreativschmiede. „Aber mit dem Prinzip der ionischen Flüssigkeiten ist uns jetzt eine Revolution gelungen“, so Adler. Die Wiener ersetzen den Metallkolben der herkömmlichen Kolbenverdichter einfach durch eine speziell designte ionische Flüssigkeit, die selbst kaum komprimierbar ist. Die Verdichtungsarbeit übernimmt jetzt also ein „flüssiger Kolben“: Durch das Auf- und Abbewegen der Flüssigkeitssäule - analog zu der Auf- und Abwärtsbewegung eines herkömmlichen Kolbens - wird das Gas im Zylinder komprimiert. Und weil sich die ionischen Flüssigkeiten nicht mit dem Gas mischen, brauchen die Linde-Ingenieure für ihren Verdichter auch keine Dichtungen und Lager mehr. „Gegenüber einem konventionellen Kolbenverdichter mit etwa 500 bewegten Teilen, benötigen wir nur noch ganze acht Teile, die sich bewegen“, erklärt Adler eines der großen Einsparpotenziale. Dadurch verringert sich der Wartungsaufwand erheblich. Einzig die Pumpe besteht noch aus konventionellen Bauteilen. Sie sorgt für das Auf- und Abbewegen der Flüssigkeitssäule, indem sie die Flüssigkeit zwischen zwei Zylindern hin- und herpumpt. Wird in einem Zylinder unkomprimiertes Gas angesaugt, so wird über die „kommunizierende“ Flüssigkeitssäule zur selben Zeit im anderen Zylinder das Gas komprimiert.

#### Wärme abführen, wo sie entsteht

Die Wiener Forscher setzten bei ihrem Verdichterbau aber scheinbar auch das gängige Prinzip außer Kraft, das besagt: „Wo ein Körper ist, kann nicht gleichzeitig ein zweiter sein.“ Das Problem der Kolbenverdichter war bisher der Kolben selbst. Auf dem letzten Stück seiner Verdichtungsarbeit muss er eine sehr große Temperatur ertragen, da sich das Gas bei der Komprimierung sehr stark erhitzt. Diese Wärme muss abgeführt werden. „Üblicherweise geschieht dies mit Wärmetauschern, die außen am Zylinder angebracht sind. Optimal wäre es natürlich, die Wärme direkt dort abzuleiten, wo sie entsteht, nämlich an der Kolbenoberfläche“, so Adler. Da aber nicht gleichzeitig dort, wo der Kolben die Verdichtungsarbeit leistet, ein Wärmetauscher vorhanden sein kann, ist das nicht möglich. Bisher zumindest nicht: Denn durch die Verwendung der ionischen Flüssigkeit können die Linde-Ingenieure durch eine spezielle Konstruktion die Wärme im Zylinder dort abführen, wo sie entsteht. Mit dieser





*Erste Anwendung: Die neuartige Linde-Verdichtungs-technik wird bereits beim Betanken von Erdgasfahrzeugen eingesetzt.*

*Kommunikation groß geschrieben: Für Robert Adler (Mitte) ist Erfinden Teamarbeit.*

nahezu isothermen Verdichtung hat das Erfinder-Team aus Wien einen alten Traum der Ingenieurskunst realisiert, die physikalisch ideale, nahezu 100-prozentige Umsetzung der eingesetzten Energie in Kompressionsenergie, was in einem klassischen Kolbenkompressor nur rein theoretisch durch das Hintereinanderschalten von unendlich vielen, unendlich kleinen Kompressionsstufen zu realisieren wäre.

Der ionische Kompressor aber ist real und arbeitet bereits seit Juli 2005 bei der WienEnergie für einen Mietwagenservice, der auf Erdgas-Autos setzt und der mittels der Verdichtertechnologie von Linde seine Wagen betankt. „Unsere Anlage sorgt dort für einen gleich bleibenden Gasdruck von 250 bar und fördert 500 Kubikmeter Erdgas pro Stunde“, so der verantwortliche Linde-Projekt Ingenieur Helmut Mayer. Zwei weitere Anlagen befinden sich ebenfalls bereits im Praxistest.

#### **Wasserstofftankstellen im Fokus**

Aber nicht nur für Erdgas- und Wasserstofftankstellen eignet sich das Verdichtungsprinzip mit den neuartigen Flüssigkeiten. Der Thermodynamik-Experte Adler spinnt den Faden möglicher Anwendung schon längst viel weiter: „Unsere Anlagen könnten Kolbenkompressoren in vielen Bereichen ersetzen, beispielsweise

se beim Befüllen von Airbags mit komprimierten Gasen, in der Ethylenproduktion oder beim Druckspritzgussverfahren. Denkbare sind Anwendungen, bei denen man bisher auf andere Verdichtertypen wie Schrauben-, Membran- oder Turbokompressoren setzt.“ Und ein weiterer riesengroßer Vorteil gegenüber vielen seiner konventionellen „Kollegen“ könnte zum Erfolg des ionischen Kompressors beitragen: „Die Geräuschkulisse ist sehr gering“, so Adler. Diesen Vorteil kann jeder sofort nachvollziehen, der einmal neben dem Druckluftkompressor eines Presslufthammers gestanden hat. Schon alleine aus diesem Grund erscheint es nicht zu gewagt, dem ionischen Kompressor einen großen Erfolg vorherzusagen. |

Michael Kömpf arbeitet als freier Journalist mit dem Schwerpunkt Forschung und Technik in Regensburg. Er schreibt u.a. für Kundenpublikationen großer Industrieunternehmen und betreut die Redaktion von Magazinen im Bereich Corporate Publishing.

#### **Weiterführende Links:**

[www.linde-gas.at](http://www.linde-gas.at)

[www.uni-oldenburg.de](http://www.uni-oldenburg.de)

[www.organic-chemistry.org](http://www.organic-chemistry.org)

Linde-Forscher Robert Adler über ionische Verdichter

## „Die Nachfrage überrollt uns“

Der ionische Verdichter stößt bereits jetzt auf beträchtliches Interesse in der Chemie-, Automobil- und Energiebranche. Im Gespräch mit Linde Technology erläutert sein Erfinder Robert Adler Konzept, Anwendungen und Potenziale einer revolutionären Technologie.

**Herr Adler, mit der isothermen Verdichtung haben Sie etwas erfunden, was Heerscharen von Ingenieuren vor Ihnen bereits vergeblich versucht haben. Wie kam Ihnen die entscheidende Idee?**

Die Entwicklung unseres ionischen Verdichters war eine gemeinschaftliche Leistung des gesamten Teams. Die Technologie ist viel zu komplex, als dass ein Kopf alleine alles entwickeln könnte. Gutes ingenieurtechnisches Fachwissen und Handwerkszeug und eine ordentliche Portion Kreativität waren dazu nötig.

**Was ist denn nun eigentlich das Besondere an Ihrer Idee?**

Einerseits ist es die Verwendung eines sozusagen flüssigen Kolbens anstelle von Metall. Daraus ergibt sich die Möglichkeit einer isothermen Verdichtung. Und andererseits erhöhen wir durch die Verwendung der ionischen Flüssigkeiten die Standzeit von Hochdruck-Verdichtern, also die Zeit, in der so eine Anlage völlig ohne Wartung arbeitet, etwa um das Zehnfache.

**Welchen Vorteil bietet der ionische Verdichter denn außerdem gegenüber den bisher eingesetzten Anlagen?**

In erster Linie konnte die Anzahl der bewegten Teile im Vergleich zum Kolbenkompressor drastisch reduziert werden. Das verringert die Materialkosten erheblich. Zudem liegen die Energiekosten bis zu 20 Prozent niedriger als bei herkömmlichen Verfahren. Aber auch im Service liegt ein großes Sparpotenzial. Mit einem solchen Verdichter erwarten wir, dass beispielsweise Wasserstoff- oder Erdgastankstellen fast zwei Jahre ohne Wartung auskommen. Ein wichtiger Aspekt, wenn man an die Ausweitung der Erdgasnutzung denkt oder an die kommerzielle Verwendung von Wasserstoff als Treibstoff für Autos. Außerdem werden die verbleibenden Servicearbeiten sehr viel einfacherer Natur sein. All dies sind wichtige Kostenfaktoren, die bei der weltweiten Einführung eines neuen Energieträgers, wie es der Wasserstoff ist, eine wichtige Rolle spielen.



„Auch die NASA hat schon bei uns angefragt.“

Robert Adler

### Wie kamen Sie überhaupt auf die Idee, dass so eine Anlage tatsächlich funktionieren könnte?

Wir beschäftigen uns ja schon seit vielen Jahren mit thermodynamischen Fragestellungen im Verdichterbau. Vor etwa zwei Jahren kamen wir zum ersten Mal in Kontakt mit den ionischen Flüssigkeiten und erkannten schnell, dass diese die Lösung für das Verschleißproblem bei Kolbenverdichtern darstellen könnten. Das ganze funktioniert aber nur, wenn die Flüssigkeit keinen Dampfdruck aufweist, sich also nicht mit dem Gas mischt.

### Wie lange haben Sie an der Entwicklung gearbeitet?

Von der ersten groben Idee bis zum Bau des Prototypen sind etwa eineinhalb Jahre vergangen. Den größten Teil davon hat das Design der optimalen Eigenschaften der ionischen Flüssigkeit in Anspruch genommen. Wir haben dabei auch sehr intensiv mit externen Dienstleistern und Linde Hydraulics zusammen gearbeitet. Anfang 2005 haben wir dann die erste Maschine in industriellem Maßstab gebaut.



#### Im Profil

Robert Adler (43) ist Maschinenbauingenieur mit dem Spezialgebiet Thermodynamik und Inhaber zahlreicher Patente. Seit vier Jahren leitet er das Anwendungstechnische Zentrum (ATZ) von Linde Gas in Wien mit derzeit 12 Mitarbeitern. In dieser Zeit wurden dort bereits hundert Patente angemeldet. Mit 15 Jahren baute er seinen ersten Verbrennungsmotor und mit 19 entwickelte Adler einen 140 PS starken Automotor mit Wassereinspritzung. Derzeit beschäftigt er sich intensiv mit dem ionischen Verdichter.

### Sind ionischen Flüssigkeiten nicht ziemlich teuer?

Dabei kommt es, wie bei den meisten Produkten, auf die Produktionsmenge an. Wenn man solche Flüssigkeiten, die beispielsweise in Zahnarztbohrern zur Schmierung eingesetzt werden, im Milliliter-Maßstab produziert, wird das schon recht teuer. Aber wir haben die Herstellung bei unserem Lieferanten jetzt in eine großtechnische Produktion überführt und da sieht der Preis dann schon sehr viel freundlicher aus. Und wie überall gilt: Wächst die Nachfrage, kann in größeren Mengen produziert werden und der Preis fällt. Allerdings verbraucht sich die Flüssigkeit im Verdichter auch nicht. Sie können den Verdichter bei reinen Gasen wie Wasserstoff nahezu über die komplette Lebensdauer mit der gleichen Flüssigkeit betreiben. Sie altert fast nicht.

### Wie viele dieser Anlagen sind derzeit in Betrieb?

In der so genannten Beta-Phase befinden sich gerade drei Anlagen bei unseren Kunden mit derzeit rund 3.000 Betriebsstunden. Eine Anlage für Wasserstoff-Betankung steht bei BMW in München und zwei Erdgas-Anlagen bei der WienEnergie hier in Wien. Diese Maschinen müssen insgesamt 10.000 Betriebsstunden absolvieren, damit wir alle Präventiv-Maßnahmen in unserem Anlagen-Manual vorsehen können.

### Welches ist Ihr nächster großer Auftrag?

Unsere nächste große Maschine wird im Druckbereich von 1.000 bar und einem Fördervolumen von etwa 900 Kubikmetern pro Stunde liegen. Die Maschine bauen wir für die Firma Infracore Höchst, die damit Wasserstoff im Chemiapark Frankfurt-Höchst komprimiert.

### Wie hat die Industrie Ihre Entwicklung aufgenommen?

Wir sind auf großes Interesse seitens der Automobil- und Energieindustrie gestoßen. Die Nachfrage nach kompletten Anlagen ist enorm. Aber wir befinden uns derzeit wie gesagt noch in der Beta-Testphase. Anfragen kommen aus Korea, China, Neuseeland, eigentlich aus der ganzen Welt. Selbst die NASA hat bereits angefragt. Und nach einem Vortrag über unser Verdichtungsprinzip vor Verantwortlichen aus der Energie- und Autoindustrie in London, brach unser Mailserver fast zusammen. Die bisherigen Praxiserfahrungen sind ebenfalls sehr positiv und wir gehen davon aus, dass wir eine Garantie von 10.000 Betriebsstunden ohne Wartung gewähren können. Zum Vergleich, Kolbenkompressoren benötigen etwa alle 1.200 Stunden einen Service.

### Welche Märkte sind am interessantesten für Sie?

In naher Zukunft erwarten wir die stärkste Nachfrage aus dem Bereich der Erdgas-Anlagen, zum Beispiel auch für die Versorgung von Gabelstaplerflotten. Außerdem sind in Ländern wie Thailand, Iran und den Vereinigten Arabischen Emiraten hunderte von Erdgastankstellen in Planung. Die kommerzielle Nutzung wird aber auch schon bald in den Bereich Wasserstoff vordringen. Gerade in Asien ist das Interesse an Wasserstoff besonders groß. In Ballungszentren wie Shanghai muss man sich allein schon aus Umweltgesichtspunkten intensiv Gedanken über neue Antriebstechnologien machen.

### Sind nicht die USA führend im Bau von Wasserstoff-tankstellen?

Schaut man sich die Verteilung der Wasserstofftankstellen genauer an, dann erkennt man, dass in den USA zwar derzeit schon zwölf Wasserstofftankstellen existieren, aber dass das Betankungsvolumen bisher eher gering ist. In Europa bauen wir Tankstellen, die um einiges größer sind als in den USA. Unsere Anlagen liegen bei etwa 1.500 Kubikmeter pro Tag, während die amerikanischen Tankstellen einen durchschnittlichen Durchsatz von circa 5 Kubikmetern pro Stunde haben. Wir sind da in Europa in der Tankstellen-Technologie einen großen Schritt voraus. Bei der Frage der flächendeckenden Versorgung sieht das sicher anders aus.

### Alle Welt diskutiert über den schwierigen Schutz geistigen Eigentums bei einer Vermarktung in Asien. Besteht nicht die Gefahr von Plagiaten?

Nun, es ist ja nicht so, dass man unseren Verdichter lediglich kaufen und aufschrauben muss, um ihn anschließend kopieren zu können. Da steckt sehr viel Know-how im Unsichtbaren. Alle Patente dazu liegen bei Linde. Und während der Wettbewerb versucht diesen Vorsprung aufzuholen, schlafen wir natürlich auch nicht.



### Welche weiteren Anwendungen sehen sie noch für den ionischen Verdichter?

Er empfiehlt sich überall dort, wo ein Gas verdichtet wird und der Verdichter eine lange Zeit ohne Wartung laufen muss. Für alle Gase, die Linde derzeit vertreibt, könnte man den ionischen Verdichter jetzt schon einsetzen.

### Wie sieht Ihre weitere Planung aus?

Wir streben an, im Jahr 2006 rund 20 Verdichter in den Markt zu bringen und damit den Sprung in die Fertigung im industriellen Maßstab zu schaffen, die dann auch nicht mehr hier in Wien laufen wird.


Das Interview führte Michael Kömpf.

Linde-Gase machen Lebensmittel länger haltbar

# FrISCHE Erdbeeren statt Sauerkraut vom Fass

Verbrauchsfertig portionierte Lebensmittel aus dem Kühlregal liegen voll im Trend. Damit die Ware länger haltbar bleibt, wird sie unter Schutzatmosphäre verpackt. Ob Broccoli, Emmentaler oder Putenbrust – jedes Lebensmittel braucht dabei seine ganz spezielle Gasmischung.

Während uns Tante-Emma-Läden vor 30 Jahren noch fast an jeder Ecke direkt mit Obst und Gemüse der Saison versorgten, gehört die wöchentliche Fahrt zum Großeinkauf im Supermarkt mittlerweile in fast jeder modernen Haushaltsplanung zur Routine. An frISCHE Erdbeeren im Januar hat man sich längst gewöhnt – ein Service, den Tante Emma nicht bieten konnte. Dort gab es um diese Zeit höchstens frisches Sauerkraut vom Fass. Heute bereichern frISCHE Forellen aus Kanada, Putenbrust spanischer Herkunft und Obstsalat aus Israel unseren Speiseplan und finden reißenden Absatz. Damit die Lebensmittel nicht verderben, weil Bakterien und Schimmelpilze die Oberhand gewinnen, müssen sich Lebensmitteltechniker besondere Schutzmaßnahmen ausdenken.



*Gas hält frisch: Damit Erdbeeren bei der oft langen Reise von der Ernte zum Verbraucher nicht schlappmachen, werden sie auf natürliche Weise konserviert.*





*Schutz für Lebensmittel: Welche Linde-Gase zum Verpacken eingesetzt werden, hängt ganz vom jeweiligen Lebensmittel ab.*

Methoden, um Lebensmittel länger haltbar zu machen, gibt es schon lange. Zunehmend gesellt sich zum Trocknen, Säuern, Kühlen und Gefrieren eine weitere Technologie: MAP oder Modified Atmosphere Packaging, das Einpacken von Lebensmitteln unter einer besonderen Gasatmosphäre. Wird Fleisch zusätzlich zur Kühlung anstatt mit Luft in einer speziellen Gasemischung verpackt, sieht es nicht nur ansprechender aus, es bleibt auch länger haltbar. Was beim Fleisch funktioniert, gilt entsprechend auch für andere Lebensmittel. Die Gase haben in der Verpackung mehrere Funktionen: Sie hemmen das Wachstum von Bakterien, Schimmel und Hefen, wirken der Fettoxidation, der Verfärbung, dem Aromaabbau sowie dem Vitaminverlust entgegen und sorgen für Form- und Volumenstabilität.

#### **Chilled Food liegt im Trend**

MAP kommt damit dem Trend zum so genannten Chilled Food entgegen. Darunter versteht man frische Lebensmittelprodukte aus dem Kühlregal. Für Erzeuger und Händler hat Chilled Food den großen Vorteil, dass es leicht zu transportieren und zu lagern ist. Auch die Kunden greifen gerne und immer häufiger zu den fertig portionierten Lebensmitteln. Damit der Verbraucher sie auch ohne Sorge genießen kann, haben Linde-Experten eine spezielle Expertise bei der Verpackung von Chilled Food entwickelt. Die Verwendung von Schutzgasen verhindert das Wachstum von Keimen in der Verpackung, welche die Haltbarkeit beeinflussen: Statt Haltbarmachung durch künstliche Zusatzstoffe bieten Linde-Gase eine natürliche und transparente Form der Konservierung an. Bei frischen Nudeln verlängert sich so die Haltbarkeit von einer Woche auf drei Wochen, und Kaffee ist damit auch nach vielen Monaten Lagerzeit in der Originalpackung noch aromatisch. Mit dem Trend zu Chilled Food steigt auch die Nachfrage nach Lebensmittelgasen. Sie gelten als Lebensmittelzusatzstoffe und sind mit E-Nummern gekennzeichnet. Als Frischefeind Nummer eins gilt der Sauerstoff. Er beschleunigt Zersetzungsprozesse und begünstigt das Bakterienwachstum. Schon Louis Pasteur beobachtete 1877, dass Bakterien des Typs *Bacillus anthracis*, die Verursacher von Milzbrand, abgetötet werden, wenn man ihnen den Sauerstoff zum Atmen nimmt und stattdessen Kohlendioxid vorsetzt.

Kohlendioxid kommt in der Lebensmittelindustrie beim Kühlen von Lebensmitteln oder Aufsprudeln von Getränken zum Einsatz. Beim Verpacken wird Kohlendioxid meist nicht allein verwendet. Ein typisches Mischgas für die Verpackung von Wurst-

waren enthält 70 Volumenprozent Stickstoff und 30 Volumenprozent Kohlendioxid. Hauptziel der Verpackungsexperten ist es, den aggressiven Sauerstoff aus der Verpackung zu verdrängen, bevor diese verschlossen wird. Trockene Lebensmittel wie Kartoffelchips, Erdnüsse, Kaffee, Milchpulver und weiße Schokolade, aber auch Öle und Fette, enthalten ungesättigte Fettsäuren, die diese Produkte besonders oxidationsanfällig machen und unter Lichteinfluss letztlich zur Ranzigkeit führen.

#### **Frisches Obst muss atmen**

Der Stickstoff in der Packung übernimmt auch die Funktion eines so genannten Stützgasen. Kohlendioxid löst sich sehr gut im Wasser des Lebensmittels und diffundiert zudem fünfmal schneller durch die Verpackungsfolie als beispielsweise Sauerstoff. Deshalb nimmt der Kohlendioxidgehalt mit der Lagerungszeit ab und die Folie wird im ungünstigen Fall wie bei einer Vakuumverpackung verformt. Der Stickstoff sorgt deshalb dafür, dass das Packungsvolumen stabil bleibt. Das ist zum Beispiel nützlich bei Kartoffelchips. Statt wie früher die Folie beim Eintüten eng ans Produkt zu schmiegen, werden die Verpackungen heute extra aufgebläht, damit die Chips beim Transport nicht aneinander gequetscht werden und zerbröseln. Außerdem ist das reaktionsträge Gas in Fett und Wasser kaum löslich. Bei verpackter Schnittwurst macht sich der Stickstoff zusätzlich nützlich: Er verhindert das bei Vakuumpackungen übliche Zusammenkleben der Wurstscheiben.

Doch nicht alle Lebensmittel müssen gegen Sauerstoff geschützt werden, manche brauchen ihn sogar, um haltbar zu bleiben. Ungeschnittenes oder geschnittenes Obst und Gemüse, wie Äpfel oder Karotten, müssen auch nach der Ernte in der Verpackung weiter atmen können, sonst werden sie schnell schlapp und runzelig. Deshalb füllen die Hersteller solche Verpackungen



mit einem Gemisch aus 90 Prozent Stickstoff, fünf Prozent Kohlendioxid und fünf Prozent Sauerstoff.

Bei rohem Fleisch darf der Sauerstoff-Anteil in den Verpackungen auf bis zu 80 Prozent klettern, der Rest ist Kohlendioxid, das die Fäulnisbakterien unterdrückt. Normalerweise kommt die bakterien- und pilzhemmende Wirkung von Kohlendioxid erst bei Konzentrationen von über 20 Prozent zum Tragen. Bei Frischfleisch entfaltet das Kohlendioxid aber schon in geringerer Konzentration eine keimhemmende Wirkung: Es verbindet sich mit dem Wasser an der Fleischoberfläche zu Kohlensäure. Das senkt den pH-Wert und macht den Bakterien damit das Leben zusätzlich schwer.

### Reinheitsgebot für Gase

Welcher Gasemix für das jeweilige Produkt der richtige ist, wissen die Linde-Experten um Tommy Petersson ganz genau. „Das hängt in erster Linie vom Produkt ab, insbesondere vom Wassergehalt und vom Risiko mikrobieller Verunreinigungen bei der Verarbeitung“, so der Gase-Spezialist, der bei Linde Gas den Bereich Verpackungsatmosphären leitet. Linde bietet mit seiner Produktfamilie BIOGON® zehn Standardmischungen an, die sich in vielen Einsatzfeldern bewährt haben. Bei kleineren Kunden liefert Linde das Verpackungsgas fertig gemischt. Großkunden bevorzugen dagegen reine Gase, die zum Beispiel in Flüssiggastanks geliefert werden. Die passende Gasrezeptur wird dann erst unmittelbar vor dem Verpacken der Lebensmittel gemischt.

Wie beim Bierbrauen gibt es auch bei Gasen ein Reinheitsgebot: „Kohlenmonoxid, Schwefelverbindungen oder Kohlenwasserstoffe haben in den Lebensmittelgasen nichts zu suchen. Die Anforderungen an die Reinheit sind hier besonders hoch“, erklärt Petersson. Die Spezifikationen dazu sind von der EU in der Richtlinie 96/77/EC festgelegt und veröffentlicht.

In einer Datenbank haben die Experten von Linde Gas hunderte von MAP-Produktrezepturen erfasst. Dort steht, welches Lebensmittel am besten mit welchem Gasmix verpackt werden sollte – ein Erfahrungsschatz, von dem auch neue Kunden mit neuen Produkten profitieren. „Fertiggerichte sowie Obst- und Gemüsesalate sind der große Trend“, sagt Petersson. Bei diesen Lebensmitteln ist das Bedürfnis nach Frische und gesunder Ernährung verknüpft mit der Bequemlichkeit beim Einkaufen und Aufbewahren. Kein Wunder, dass dieses Segment mit rund zehn Prozent pro Jahr wächst. In Frankreich und England ist Chilled Food längst etabliert, Deutschland holt aber in Riesenschritten auf. Fertig portioniertes, verpacktes und ungewürztes Frischfleisch – in der Lebensmittelindustrie als „Case ready“ bezeichnet – verzeichnet gar Wachstumsraten von 50 Prozent. „Mittlerweile haben gekühlte Frischprodukte den tiefgekühlten Lebensmitteln sogar den Rang abgelassen“, so Petersson.

*Frisch muss es sein: Rucola, Sandwiches oder Kaffee sollen möglichst wenig Aromastoffe oder Vitamine verlieren.*

Weil immer neue Fertigerichte neue Anforderungen an das Verpackungsgas stellen, arbeitet Linde eng mit seinen Kunden zusammen, um gemeinsam die optimale Gasemischung zu entwickeln. Benötigt ein Kunde ein Verpackungsgas für ein neues Produkt, entwickeln und empfehlen die Linde-Experten die passende Gasemischung auf Basis ihrer sich ständig weiter entwickelnden Datenbank. Der Kunde wird mit dieser Empfehlung aber nicht allein gelassen. Tests beim Kunden zeigen, ob die Mischung tatsächlich funktioniert. Mit einem Netzwerk von Testcentern für Lebensmittelanwendungen untersucht Linde die unter verschiedenen Bedingungen erreichbare Haltbarkeit verschiedener Lebensmittel

### Lebensmittel, Verpackung und Gas aufeinander abstimmen

Doch das richtige Gas ist nur die halbe Miete. Bei Messungen der Deutschen Landwirtschaftsgesellschaft an verpacktem Frischfleisch aus dem Handel zeigte sich, dass in Einzelfällen die MAP-Gase falsch dosiert und die Folien nicht dicht versiegelt waren. Bei den Tests achtet Linde deshalb nicht nur darauf, dass das Gas zum Lebensmittel passt, auch die Verpackung muss zum Gas passen. MAP-Gase aus Kohlendioxid und Stickstoff können ihre Wirkung nur dann entfalten, wenn der Sauerstoff aus der Umgebungsluft dauerhaft ausgesperrt bleibt. Deshalb kommen hier Barrierefolien zum Einsatz, die sehr wenig Sauerstoff durchlassen. Sie bestehen aus mehreren Kunststoffschichten mit einer Barrierschicht, beispielsweise aus EVOH (Ethylen Vinyl Alkohol). Damit sind sie allerdings auch teurer als einfache Folien. Die Kunststoffschalen bestehen meist aus Polypropylen oder geschäumtem Polystyrol.

Ein wichtiges Glied in der Kette sind die Verpackungsmaschinen. Linde arbeitet deshalb mit den Maschinenherstellern zusammen, um ein reibungsloses Zusammenspiel von Lebensmittel, Verpackung und Gas sicherzustellen. Know-how und Service honorieren die Kunden: Linde besitzt in Deutschland einen Marktanteil von 40 Prozent, weltweit ist man die Nummer zwei bei MAP-Gasen. Heiko Zacher, Leiter des Marktsegments Food bei Linde Gas, sieht für sein Unternehmen noch große Wachstumschancen in der Lebensmittelindustrie: „Das ist eine der wichtigsten Zielgruppen der Zukunft.“ |

Bernd Müller ist freier Journalist in Esslingen. Für Wissenschafts- und Wirtschaftsmedien beschäftigt er sich insbesondere mit innovativen Technologien.

### Weiterführende Links:

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

[rics.ucdavis.edu](http://rics.ucdavis.edu)

*Sichere Herstellung: Die Qualität der Linde-Gase wird permanent überwacht.*

### Lebensmittel lagern

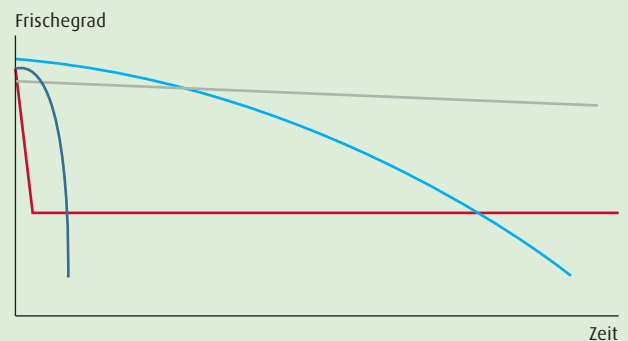
	Typische Lagerungszeit in Luft	Typische Lagerungszeit mit MAPAX®
Roher Fisch	2 – 3 Tage	5 – 8 Tage
Brot	einige Tage	2 Wochen
Frische Pasta	1 – 2 Wochen	3 – 4 Wochen
Würstchen	2 – 4 Tage	2 – 5 Wochen
Hartkäse	2 – 3 Wochen	4 – 10 Wochen
Kuchen	einige Wochen	bis zu einem Jahr

*Länger genießbar: Mittels der Linde-Technologie MAPAX® bleiben Lebensmittel erheblich länger frisch.*

**Mit der Linde-Technologie MAPAX® bleiben Broccoli und Co. sehr viel länger frisch, als wenn sie mit Luft verpackt werden. Auch gegenüber der Dosenkonservierung zeigt das Linde-Verfahren große Vorteile. Tiefgefrieren hält zwar länger frisch, verbraucht aber durch die intensivere Kühlung sehr viel mehr Energie. Außerdem können viele Produkte wie Salate nicht tiefgefroren werden, wenn man sie frisch verkaufen will.**

### MAP-Gase halten frisch

— Mapax® — Tiefgefroren — Dosenkonserven  
— Umgebungsatmosphäre





*Container überall: In den Stahlkisten werden Waren aller Art über die Ozeane transportiert.*

Staplereinsatz im Containerhafen

## Ein TEU auf B3-82-00

Der Container ist zu einem Symbol des globalisierten Handels geworden. Weltweit haben sich die Häfen zu Riesenumschlagsplätzen für die Stahlboxen entwickelt. Bis zu 15.000 Stück davon transportiert ein einziges Frachtschiff über die Weltmeere. Im Vergleich dazu erscheint ein Containerstapler eher unscheinbar, ohne ihn aber käme der Welthandel vermutlich zum Erliegen.

Stahlkisten, so weit das Auge blicken kann. Dicht an dicht stehen sie in Vierer- oder Fünferreihen übereinander. Die so genannten TEUs, die Abkürzung bedeutet „Twenty-feet Equivalent Units“, sind Standardcontainer mit einer Länge von zwanzig Fuß - knapp sechs Meter - und einer Höhe von etwa zwei Meter fünfzig. Aufgereiht auf dem Gelände des Container-Terminals in Bremerhaven, bestimmt zur Verschiffung in die Welt, enthalten sie alle erdenklichen Handelsgüter. Bremerhaven ist einer der wichtigen Umschlagsplätze Deutschlands für den Import von Gütern aus aller Herren Länder und den Export deutscher Waren. In den rechteckigen Stahlboxen, die etwa fünfzehn bis zwanzig Tonnen Frachtgut fassen, transportieren Containerschiffe so ziemlich alles über die Ozeane: Kaffee aus Südamerika, Werkzeugmaschinen

päische Standorte und hat sich mit einem Umschlag von 11,5 Millionen 20-Fuß-Standardcontainern (Stand 2004) zum führenden Terminal-Betreiber des Kontinents entwickelt. Der Containerhafen Bremerhaven ist mit 3,45 Millionen TEU und einer rund neunprozentigen Steigerung gegenüber dem Vorjahr in Bezug auf Fläche und Menge der größte der Gruppe. Experten erwarten, dass der Trend weiter nach oben geht. Bereits für das laufende Jahr hofft Jörg Kastendiek, Senator für Wirtschaft und Häfen in Bremen, auf eine neue Bestmarke: „Der Standort nimmt Kurs auf einen Jahresumschlag von vier Millionen TEU.“

Selbst damit dürfte der Endpunkt der Entwicklung indes noch nicht erreicht sein. Global zählt der Containerumschlag zu den Wachstumsbranchen mit den besten Aussichten. Die welt-



*Warenumschlagplatz: Die Container-Terminals der Firma Eurogate in Bremerhaven sind Ankerplatz für Frachtschiffe aus aller Welt.*

in die USA, Stahlrohre nach Afrika oder Elektronikgeräte und Spielzeug aus Fernost.

Deutsches Bier beispielsweise ist weltweit ein Verkaufsschlager. Rund 14 Millionen Hektoliter werden Jahr für Jahr exportiert. Und Bremerhaven ist dafür das wichtigste Tor zur Welt. Gut gekühlt ruht das Bier auf Paletten in Lagerräumen auf dem Hafengelände. Viele Partien sind bereits mit Laufzetteln versehen, auf denen, neben für den Laien unverständlichen Zahlen- und Buchstabenkombinationen wie B3-82-00, auch ihr Zielhafen eingetragen ist. „Einen Teil behalten wir als eiserne Reserve für kurzfristige Bestellungen zurück“, erläutert Sven Grossmann. Er ist operativer Leiter der so genannten Container Freight Station (CFS) und damit verantwortlich für den reibungslosen Ablauf im ständig betriebsamen Container-Terminal. Seine mit orangefarbenen Sicherheitswesten ausgestatteten Mitarbeiter kümmern sich um das zügige Be- und Entladen der Lkws, Bahnwaggons und Überseecontainer.

#### **Container-Frachthandel boomt weltweit**

CFS gehört zum 1999 gegründeten Unternehmen Eurogate, dem Betreiber der Bremerhavener Anlage. Es verfügt über neun euro-

größten Containerhäfen Hongkong und Singapur schlagen im Jahr mehr als 21 Millionen TEU um und wachsen stetig weiter. Die Chinesen sind bestrebt, auch Shanghai an dieses Niveau heranzuführen. Insgesamt, so eine Studie von IBM Business Consulting Services, werde der Container-Frachthandel in den kommenden zehn Jahren jährlich um acht bis zehn Prozent wachsen.

In der ganzen Welt bereiten sich Hafenbehörden, Verwaltungen und Politiker auf das Gewinn verheißende Geschäft vor. Egal ob im koreanischen Pusan, in Shanghai oder im omanischen Salalah: Überall werden emsig Fahrrinnen vertieft, Terminals ausgebaut, neue und technisch enorm aufwendige Krananlagen installiert. Das kostet Milliarden. Aber wer jetzt an Investitionen sparen will, muss sich angesichts der hochkarätigen Konkurrenz mit dem Status einer dritt- oder viertrangigen Anlegestelle zufrieden geben. Wer ehrgeiziger plant, muss aufrüsten, denn die Frachtschiffe der nächsten Generation werden wahre Kolosse sein: Über 400 Meter lang und fast 60 Meter breit, bieten sie bei einem Tiefgang von mehr als 15 Metern Platz für bis zu 15.000 Container. Vor allem auf koreanischen Werften sind die Konstrukteure bereits eifrig bei der Arbeit. Die Auftragsbücher sind prall



*Unentbehrlicher Helfer im Containerlager: Der Linde C80 stapelt bis zu sechs Leercontainer übereinander. Die maximale Tragfähigkeit beträgt 8.000 kg. Die Hochsitz-Fahrerkabine und der Freisichtmast verschaffen dem Fahrer die nötige Übersicht. Der sogenannte Spreader (anstelle der klassischen Gabeln) wird per Joystick millimetergenau manövriert. Der 6-Liter-Turbo-dieselmotor ist an eine Dreigang-Automatik gekoppelt.*

gefüllt; bis weit ins Jahr 2008 hinein liegen Bestellungen für neue Schiffe vor. Allein im ersten Quartal 2005 wurden 190 Schiffe mit insgesamt 685.000 Container-Stellplätzen in Auftrag gegeben, so das Institut für Seeverkehrswirtschaft und Logistik (ISL) in Bremen.

Und neue Schiffe brauchen neue Häfen. Um für die Herausforderungen gewappnet zu sein, investiert man auch an der deutschen Nordseeküste in den Ausbau der vorhandenen Anlagen. Schon jetzt stoßen viele Häfen an die Grenzen ihrer Kapazität. Das niederländische Beratungsunternehmen Dynamar fand heraus, dass die Terminals vor allem dann Probleme bekommen, wenn ihre Auslastung über 75 Prozent beträgt. Unter Berücksichtigung aller in die Wege geleiteten Ausbauprogramme dürften die Hafenplätze bis 2011 noch einigermaßen mithalten können. Dann aber werde es kritisch. Die Folgen eines solchen Engpasses konnte man im Sommer 2004 in Los Angeles und Long Beach beobachten, wo zeitweise bis zu 90 Schiffe auf einen Platz am Kai warteten. Auch im Hafen von Kowloon in Hongkong wurde es eng: Binnen kürzester Zeit lieferten Frachtschiffe so viele Container an, dass die Abfertigung der abgehenden Ware ins Stocken geriet. Es bildeten sich kilometerlange Schlangen, und die Schiffe konnten nur mit erheblicher Verspätung beladen werden. Weltweit gerieten die ausgeklügelten Fahrpläne der großen Frachtreedereien aus dem Takt.

#### **Logistikkette muss zuverlässig arbeiten**

Aber Unpünktlichkeit ist für die Transporteure mit großen wirtschaftlichen Verlusten verbunden: Pro Tag und Schiff addieren sich die Betriebsausgaben auf bis zu 45.000 Dollar. „Wer einmal beispielsweise in Antwerpen nicht zum Zuge kam, löscht seine Ladung beim nächsten Mal vielleicht in Rotterdam“, schildert Grossmann die Problematik in einem hart umkämpften Markt. Die historisch gewachsene Bindung an bestimmte Verladestationen sei durch den Trend, Container direkt vom Versender zum Empfänger durchlaufen zu lassen, längst verloren gegangen. Die Häfen sind daher untereinander austauschbarer als früher und unterliegen einem florierenden Wettbewerb. Wer die attraktivsten Voraussetzungen und Preise bietet, hat die besten Chancen, seine Position auf dem Weltmarkt zu behaupten. „Verlangt werden zuverlässige Logistikketten, die rund um den Erdball funktionieren“, so Eurogate-Chef Emanuell Schiffer. „In der Logistikkette eines Überseehafens sind Containerstapler wie der Reach Stacker ein wichtiges Glied“, sagt Jens Uwe Meier, Leiter des Bereichs Großkunden und Großgeräte beim Linde-Vertragshändler Willenbrock in Bremen. „Dabei kommt es vor allem auf Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit der Stapler an“, so Meier. „Die meisten Unternehmen betreiben den Reach Stacker als so genanntes Schlüsselfahrzeug. Das bedeutet, es ist ein einzelnes Gerät, das ständig im Einsatz ist und deshalb absolut zuverlässig funktionieren muss.“ Das gewährleistet beispielsweise die spezielle Linde-Hydraulik, die aufgrund der wenigen Bauteile nur sehr geringen Verschleiß und somit eine hohe Lebensdauer aufweist. Sollten doch einmal Probleme auftreten, sorgt die Linde-Online-Diagnostik, mit der sich ein Servicetechniker via Handy direkt in die Steuerung des Staplers einwählen kann, für schnelle Abhilfe. „Die oft zitierte Globalisierung braucht eben viele technische Helfer“, so Bergmann.

So müssen zum Beispiel Container in Windeseile von den Jumbos der Meere auf kleinere Feeder-Schiffe umgeladen wer-

den. Diese Schiffe beliefern dann etwa die Ostseehäfen vom dänischen Aarhus bis zum russischen St. Petersburg. Andere Boxen müssen umgeschichtet, übers Areal transportiert und anschließend auf Schiene und Straße verfrachtet werden. Exportgüter kommen meist per Lkw oder Bahn im Hafen an und werden in die Container umgeladen, in denen sie dann ihre Reise über die Weltmeere antreten.

Weil auch im Güterverkehr Zeit gleich Geld ist, muss das Umladen schnell und effizient vonstatten gehen. Stapler in allen Größenordnungen spielen dabei eine Schlüsselrolle. „Angefangen vom vergleichsweise leichten 1,2-Tonnen-Dieselstapler bis zum 45-Tonnen-Vollcontainer-Stapler arbeiten in vielen europäischen Überseehäfen Linde-Geräte“, erklärt Frank Bergmann

### Stapler als flexible Hafenhelfer

Bergmann sieht einen wachsenden Markt für die Kraftpakete auf vier Rädern im Bereich der Containerterminals. „Überall wo Container rangiert, umgepackt, bewegt, gestapelt oder auch nur einfach gedreht werden müssen, ist der Reach Stacker das geeignete Gerät. Der Stapler kommt eben auch in die abgelegenen Ecken eines Containerdepots“, erläutert Bergmann. Die besonders leichtgängige Lenkung ermöglicht das Rangieren auf engstem Raum. Die hohe Hubgeschwindigkeit und die feinfühligere Steuerung des Staplers garantieren eine hohe Umschlagsleistung – ein Faktor, der im Transportgewerbe besondere Bedeutung hat. Für das wirtschaftliche Handling von leeren Containern lohnt es sich, eigens dafür konzipierte Leercontainerstapler einzusetzen,



*Schwergewicht: Der Linde-Reach Stacker C4535 – Eigengewicht rund 76 Tonnen – stapelt Container von bis zu 45 Tonnen in die Höhe. Selbst in der zweiten Reihe sind 35 Tonnen kein Problem. Ermöglicht wird dieser Kraftakt durch einen 11-Liter-Dieselmotor mit einem Drehmoment von fast 1.700 Nm. In der geräumigen Kabine findet der Bediener in jeder Hinsicht optimierte Arbeitsbedingungen vor.*

vom Product Support Schwerstapler bei Linde Material Handling in Aschaffenburg. Die kleinen und wendigen Linde-Modelle leisten vor allem beim Be- und Entladen der TEUs in den Depots gute Dienste, da sie direkt in die Container hineinfahren können. Um aber die voll bepackten Stahlkisten dann auf dem Hafengelände weiter zu transportieren, benötigt es schon ein Schwergewicht, einen Reach Stacker. Der mit seinen 76 Tonnen Eigengewicht derzeit schwerste Linde-Stapler, Modell C 4535, wurde speziell für den Transport kompletter Container entwickelt. Er schafft die vollen Container vom Beladeplatz zur so genannten Verlade-Vorzone. Von dort hieven dann große Portalkräne die TEUs auf die bereitliegenden Containerschiffe. Bis zu 45 Tonnen schwere Lasten bugsiert der Reach Stacker mühelos auch in große Höhen. Er ist damit besonders geeignet für das flexible Handling der Stahlcontainer im ganzen Hafengebiet. Und der hochmoderne Stapler stemmt noch andere Lasten: Selbst das Umladen nagelneuer Eisenbahnwaggons bzw. Wechselbrücken vom Lkw auf spezielle Roll-Plattformen bereitet ihm keine Schwierigkeiten.

zum Beispiel den Linde C80. Wendig und schnell, weil wesentlich leichtgewichtiger als sein großer Bruder, der Reach Stacker, bewegt er Leercontainer in bis zu sechs Reihen übereinander. Durch das geringere Eigengewicht, die bessere Wendigkeit und höhere Hubgeschwindigkeiten eines Leercontainerstaplers gegenüber einem Vollcontainerstapler entstehen geringere Handlingskosten pro umzuschlagendem Container. Das spart den Hafenbetreibern Zeit und bares Geld.

### Dreidimensionales Puzzle

Bremerhaven setzt große Hoffnungen auf das neue Terminal CT 4. Es soll Ende 2008 seiner Bestimmung übergeben werden. Doch obwohl die neue Kaje, wie die großen Anlegestellen in Industriehäfen genannt werden, eine Länge von 1.681 Metern aufweisen wird, reicht sie aufgrund der zu geringen Wassertiefe für die ganz großen Meeresriesen nicht aus. Diese sollen im nächsten Jahrzehnt den geplanten deutschen Tiefwasserhafen anlaufen, den „Jade-Weser-Port“ bei Wilhelmshaven. Maximal vier Großcontainerschiffe mit Tiefgängen bis zu 16,50 Meter

können dort zeitgleich an der 1.725 Meter langen Kaje abgefertigt werden. Geplante Investition: 900 Millionen Euro. Die Jahresumschlagskapazität des Hafens ist vorerst auf etwa 2,7 Millionen TEU angesetzt. Als östlichster Tiefwasserhafen zwischen Le Havre und Hamburg soll er vor allem eine führende Position im Seetransitverkehr mit Skandinavien und Osteuropa einnehmen.

Inzwischen hat die „London Express“ fest gemacht und wartet auf die ihre Fracht nach Baltimore. „Der Empfänger hat bereits die erforderlichen Auftragsunterlagen übermittelt und einen Platz auf dem 4.000-TEU-Schiff reservieren lassen,“ verrät Grossmann. Jetzt rollen die Paletten auf den Linde-Staplern aus der Lagerhalle in die schon bereitgestellten Leercontainer. Diese werden anschließend mit dem Reach Stacker zur Verlade-Vorzone in der Nähe des vorgesehenen Liegeplatzes der „London Express“ gebracht.

Die genauen Plätze an Bord legen die Schiffsplaner bei Eurogate fest. Von der Reederei erhalten sie die detaillierte Container-Anmeldeliste (CAL), auf der alle Stahlkisten verzeichnet sind, die mit auf den Frachter sollen. Spezialcontainer, die beispielsweise Gefahrgut oder Kühlware enthalten, sind auffällig markiert. Ebenso jene Boxen, deren Größe vom Normmaß abweicht. In der Regel legt die Stauzentrale der Reederei fest, in welcher Ladeluke sie verschwinden. Für dieses dreidimensionale Puzzle gelten einige eiserne Regeln. So kommen schwere Lasten

grundsätzlich nach unten, leichtere nach oben. Was als Erstes ausgeladen wird, kommt als Letztes an Bord. Auch die Stabilität der Ladung bei Seegang muss natürlich gewährleistet sein.

Das Planerteam hat auf seinen Computern Koordinatensysteme aller Schiffe abgespeichert. Per Knopfdruck wird auf den Bildschirmen der Querschnitt ihrer Laderäume sichtbar. Kleine Rechtecke symbolisieren die zur Verfügung stehenden Plätze, Buchstaben markieren die für Sonderfälle geblockten Areale. Die Planer suchen für jeden Behälter den optimalen Platz und schieben dann mit dem Cursor den virtuellen Container an die richtige Position. Per Mausklick können Nummer, Auftraggeber sowie Herkunfts- und Zielhafen abgefragt werden. Kopien des fertigen Ladeplans gehen per E-Mail an die Stauzentrale der Reederei und den Kapitän des Schiffs. Bevor nicht beide ihre Freigabe übermittelt haben, können die Containerstapler nicht loslegen. Ist die Genehmigung eingetroffen, gilt es, die Stahlboxen am Kai genau spiegelverkehrt zum Stauplan zu stapeln, damit sie zügig und in der richtigen Reihenfolge an Bord verstaut werden können.

#### Asiens Häfen sind Weltspitze

Das übernimmt jetzt eine so genannte Containerbrücke und schnappt sich eine Kiste nach der anderen. Das gefährliche Pendeln der Container wird mit Computerhilfe abgefedert. Spezielle Laser-Sensoren zur exakten Vermessung der Position erleichtern

#### Schwerstapler der neuen Generation

*Eine neue Schwerstapler-Generation stellte Linde im September 2005 auf der weltgrößten Fördertechnikmesse CeMAT in Hannover vor. Die neuen Dieselstapler der Baureihe 359 mit einem Traglastbereich von 10 bis 18 Tonnen verfügen über ein Novum in dieser Gewichtsklasse: den Linde-Hydrostatikantrieb. Er kommt ohne Getriebe, Kupplung, Differenzial und Trommelbremsen aus. In Kombination mit der elektronischen „Linde Load Control“ erlaubt seine Doppelpedal-Steuerung ein feinfühliges und präzises Lasthandling. Ohne Schalten und Kuppeln beschleunigt der 129-kW-Dieselmotor den Stapler auf bis zu 30 km/h – egal, ob mit oder ohne Last. Ausserdem reduzieren sich die Wartungskosten durch den Wegfall vieler Verschleißteile. Die großzügig verglaste Fahrerkabine ist mittels Gummilager von Motor und Antriebsstrang entkoppelt. Dadurch werden Erschütterungen und Vibrationen weitgehend unterdrückt. Ein entscheidender Wettbewerbsvorteil, der sich vor allem im harten Dauereinsatz bewährt.*





das punktgenaue Absetzen im Schiffsbauch. Butterweich und auf den Zentimeter genau landet der Container nach Baltimore auf dem vorgesehenen Platz. B3-82-00 lautet das Kürzel dafür. B3 steht für die Luke, 82 für die erste Lage an Deck, 00 für den Mittelplatz in der Reihe. So ist es auch im Stauplan notiert, dessen aktualisierte Version der Stauzentrale zugeschickt wird. Dadurch ist die Reederei stets informiert, wo welche Box gelagert wurde – selbst wenn die „London Express“ bereits wieder auf dem Atlantik ist.

Insgesamt 27 hochmoderne Containerbrücken stehen Eurogate in Bremerhaven zur Verfügung. Ihre Kräne besitzen eine Armlänge, die ausreicht, um selbst jene Frachter zu be- und entladen, die wegen ihrer Breite nicht einmal mehr durch das Nadelöhr Panamakanal passen. Ein erfahrener Brückenfahrer schafft es, bis zu 40 Container pro Stunde zu bewegen. Gefertigt werden die Containerbrücken von der Shanghai Zhenhua Port Machinery Company, dem weltweit führenden Hersteller solcher Großgeräte. Die Brücken wiegen bis zu 2.000 Tonnen und sind bei Spannweiten von über 140 Metern rund 80 Meter hoch. Über mehr als 20 Containerreihen kann ihr Ausleger reichen.

Die Liste der weltgrößten Containerhäfen führen seit langem Hongkong und Singapur an. Dahinter folgen mit Shanghai und Shenzhen weitere chinesische Standorte. Und damit nicht genug: Selbst kleinere und mittlere Häfen wollen in den kommenden Jahren weiter expandieren. Vor allem die osteuropäischen Märkte locken die Chinesen. Darin wiederum liegen die Chancen der deutschen Häfen: Inzwischen legt der überwiegende Teil der in Bremerhaven und Hamburg angelieferten Waren nur einen kurzen Zwischenstopp ein. Das meiste geht gleich weiter in die baltischen Staaten, nach Russland und Südosteuropa.

Bei Eurogate macht allein das Containergeschäft mit dem Reich der Mitte ein Drittel des Umsatzes aus. Allerdings hat sich der Handel mit China, gemessen an den Containerströmen, zu einer eher einseitigen Angelegenheit entwickelt: Auch wenn von Bremerhaven aus regelmäßig deutsche Luxusautos oder Maschinenteile nach Fernost verschifft werden, bleibt oft ein großer Teil der Container in Richtung China leer. Die Preise sind entsprechend: Einen Behälter für den Weg nach Europa zu mieten ist bis zu fünfmal teurer als in entgegengesetzter Richtung. Dennoch gilt: Die Volkswirtschaften in Ostasien werden das Wachstum der Containerhäfen weiter kräftig forcieren. „Und je mehr Container umgeschlagen werden, desto mehr Brücken, Kräne und Stapler werden benötigt“, so Bergmann. |

Claus Spitzer-Ewersmann arbeitet als freier Wirtschaftsjournalist in Oldenburg. Seine Artikel erscheinen u.a. im Rheinischen Merkur, in der Süddeutschen Zeitung und in der Berliner Zeitung.

#### Weiterführende Links:

[www.eurogate.de](http://www.eurogate.de)  
[www.jadeweserport.de](http://www.jadeweserport.de)  
[www.linde-stapler.de](http://www.linde-stapler.de)



*Florierender Welthandel: Laut einer IBM-Studie soll der Container-Fracht-handel in den kommenden zehn Jahren weltweit um acht bis zehn Prozent pro Jahr steigen.*

#### Liste der weltgrößten Containerhäfen 2004 Umschlag in 1000 TEU

Quelle: Lloyd's List, Februar 2005

1	Hongkong	China	21.932
2	Singapur	Singapur	21.310
3	Shanghai	China	14.557
4	Shenzen	China	13.615
5	Pusan	Südkorea	11.430
6	Koahsiung	Taiwan	9.710
7	Rotterdam	Niederlande	8.270
8	Los Angeles	USA	7.321
9	Hamburg	Deutschland	7.003
10	Dubai	VAE	6.429
11	Antwerpen	Belgien	6.064
12	Long Beach	USA	5.780
13	Port Kelang	Malaysia	5.244
14	Qingdao	China	5.140
15	New York	USA	4.478
16	Tanjung Pelepas	Malaysia	4.020
17	Ningbo	China	4.006
18	Tianjin	China	3.814
19	Laem Chabang	Thailand	3.624
20	Bremerhaven	Deutschland	3.450

*Asiatischer Containerboom: Die größten Umschlagplätze für die Stahlboxen liegen in Fernost. Fast 22 Millionen der 20-Fuß-Standardcontainer (TEU) werden beispielsweise in Hongkong pro Jahr verladen.*

Gewächshäuser nutzen CO<sub>2</sub> aus der Ölverarbeitung

# Treibhausgas aus der Pipeline

Kohlendioxid lässt Pflanzen wachsen. Selbst im Sommer warfen niederländische Gewächshausbetreiber deshalb Gasöfen an, um mit dem Abgas die Produktivität ihrer Plantagen zu steigern. Damit heizten sie aber auch dem Erdklima kräftig ein. Zwei findige Landsleute lösten mit Unterstützung von Linde jetzt das Dilemma. Eine nahe gelegene Raffinerie und eine fast vergessene Pipeline halfen ihnen dabei.



Im September 2005 stattete Königin Beatrix dem Gewächshausbetreiber Hans Bunnik einen Besuch ab. Ziel der königlichen Visite war ein landwirtschaftliches Anwesen vor den Toren des Städtchens Bleiswijk, rund 30 Kilometer vom Sitz Ihrer Majestät entfernt. Bunnik Plants gilt als einer der innovativsten Landwirtschaftsbetriebe der Niederlande. 1988 hatte Hans Bunnik gemeinsam mit seinen Brüdern Frans und Fred die ersten Gewächshäuser gebaut, um exotische Pflanzen wie Zyperngras, Bambus Monica oder Ficus Nastasja zu züchten und in die Wohnzimmer Westeuropas zu verkaufen. Heute zählt das Unternehmen internationale Einzelhandelsketten wie IKEA, Lidl, Aldi und Albert Heijn zu seinen Kunden. Ihren Erfolg haben die Inhaber durchnummeriert. Begonnen hatten sie einst auf dem Areal Bunnik Plants 1. Zuletzt errichteten sie Bunnik Plants 6.

Die botanischen Glaspaläste erstrecken sich über eine Fläche, die mehreren Fußballfeldern entspricht. Die Aufzucht der Pflanzen erfolgt fast vollautomatisch. Ein Roboter rangiert die Palettenwagen, auf denen die Topfpflanzen vom Setzling bis zur fertigen Ware wachsen, während ein Computer die Düngerversorgung steuert. Welche Pflanze sich gerade an der Versorgungsstation vorbeibewegt, identifiziert eine Kamera. Menschen sind zwischen den unzähligen Paletten nur selten zu entdecken.

#### Ölindustrie und Landwirtschaft als Geschäftspartner

Doch Königin Beatrix war nicht gekommen, um ein automatisiertes Treibhaus zu besichtigen. Sie wollte durch ihre Anwesenheit ein intelligentes Projekt krönen, das Ökonomie und Ökologie in einzigartiger Weise verknüpft. OCAP („Organisches CO<sub>2</sub> für die Assimilation in Pflanzen“) nannten Hans Tiemeijer und Jacob Limbeek ihre Vision, die zwei wichtige und eigentlich gegensätzliche Säulen der niederländischen Wirtschaft, die Ölindustrie und die Landwirtschaft, zu Geschäftspartnern machen sollte. Im Rahmen dieses Projekts haben die beiden Initiatoren das Treibhausgas CO<sub>2</sub>, das in einer Raffinerie entsteht und bisher ungenutzt in die Umwelt entwich, für Gewächshäuser nutzbar gemacht. Das Linde-Unternehmen Hoek Loos und die Baufirma VolkerWessels investierten gemeinsam, damit das Projekt Gestalt annahm.

Angesichts der Mengen an CO<sub>2</sub>, die täglich in Kraftwerken, Heizungsanlagen und Auto-Motoren erzeugt werden, gilt die Verringerung dieses Gases als eine der weltweit größten Herausforderungen. „Das Kyoto-Protokoll fordert von uns, dass wir

unseren Verbrauch an Klimagasen zwischen 2008 und 2012 um sechs Prozent im Vergleich zu 1990 senken“, so Pieter van Geel, Staatsminister für Wohnungsbau, Raumplanung und Umwelt. Staaten wie Japan suchen inzwischen sogar nach Möglichkeiten, CO<sub>2</sub> in den Ozeanen zu versenken, um die Erdatmosphäre zu schützen. Den größten Effekt versprechen sich viele Umweltexperten aber durch energiesparende Technologien. Jüngste Studien zeigen, dass sich dadurch der CO<sub>2</sub>-Ausstoß bis zum Jahr 2020 um bis zu 30 Prozent verringern könnte. „Die technologischen Möglichkeiten dafür sind da“, sagt Bernd Brouns, Klimaexperte am Wuppertal-Institut für Umwelt, Klima und Energie.



*Wirtschaftliche Aufzucht: Damit die Pflanzen in diesem Bunnik-Treibhaus gut gedeihen, benötigen sie viel Kohlendioxid.*

*CO<sub>2</sub>-Transport: Mehr als 20 Jahre lag die Shell-Pipeline still, bevor sie für die CO<sub>2</sub>-Versorgung umgerüstet wurde.*

*Hoher Besuch: Königin Beatrix der Niederlande weihte gemeinsam mit Dr. Aldo Belloni (rechts), Mitglied des Vorstands der Linde AG, sowie Peter Stocks (2.v.l.), Bereichsvorstand Linde Gas, und Andries de Jong, Mitglied der Geschäftsführung der VolkerWessels Stevin N.V. die neue Anlage ein.*



„Was fehlt, ist der politische Rahmen.“ Darüber können sich die OCAP-Begründer nicht beklagen. Zum offiziellen Startschuss des Projektes bei Bunnik Plants sind neben der Königin auch viele prominente Politiker wie etwa der Staatsminister für Wohnungsbau, Raumplanung und Umwelt nach Bleiswijk gekommen. Bleiswijk liegt in der Region Hollands, in der die größte zusammenhängende Gewächshausfläche der Welt zu Hause ist. Die ersten Gewächshäuser bestanden aus einfachen Glasplatten, die Landwirte gegen eine Mauer lehnten. Erst um 1900 entstand die moderne Treibhaus-Architektur, die von innen beheizt werden kann. Damit wurde auch die Aufzucht von Schnittblumen und Topfpflanzen möglich.

Heute reihen sich die Glasdächer in der Provinz Süd-Holland dicht an dicht. Zwar haben die niederländischen Deichingenieure der Nordsee im Laufe der Jahrhunderte große Flächen abgerungen, doch Land bleibt im am dichtesten besiedelten Staat Europas knapp und teuer. In den Treibhäusern wird der Anbau daher nach industriellen Gesichtspunkten organisiert. Logistik, Wasserversorgung und Nährstoffzufuhr steuert so weit wie möglich der Computer. Die holländische Landwirtschaft gehört zu den produktivsten der Welt. Und damit das so bleibt, brauchen die Bauern große Mengen an CO<sub>2</sub>, das ihre Pflanzen für die Photosynthese benötigen. Um die CO<sub>2</sub>-Konzentration und damit auch die Produktivität ihrer Plantagen zu erhöhen, warfen

die Landwirte regelmäßig ihre mit Erdgas befeuerten Öfen an und leiteten deren Abgase anschließend als flüchtiges Düngemittel ins Innere. „Bis zu 15 Prozent Gas wird ausschließlich zu dem Zweck verbrannt, CO<sub>2</sub> zu gewinnen“, sagt Jacob Limbeek. Der Rest wird – zumindest im Winter – auch zum Heizen verwendet. Dem 33-jährigen und dem 2004 verstorbenen Hans Tiemeijer ist es zu verdanken, dass diese Verschwendung nun ein Ende findet. Acht lange Jahre haben sie gebraucht, um Landwirte, Politik und Industrie zu überzeugen, wie einfach die Lösung für dieses Problem sein kann. Viele haben gezögert oder sind wieder abgesprungen. Doch der Besuch von Königin Beatrix bei Bunnik Plants zeigt, dass seine Bemühungen nicht vergebens waren.

#### CO<sub>2</sub> aus der Raffinerie

Begonnen hatte alles 1997 mit einem Auftrag des Energieversorgers Energie Delfland, der große Teile Süd-Hollands mit Strom und Gas versorgte. Limbeek sollte dort als Physiker zusammen mit seinem Chef Hans Tiemeijer mögliche Handlungsfelder sondieren, um die im Kyoto-Protokoll vereinbarten Ziele aktiv zu unterstützen. Zum ersten Mal dämmerte beiden die OCAP-Idee, als sie davon erfuhren, dass der Energiekonzern Shell in Pernis westlich von Rotterdam gerade seine größte europäische Raffinerie in Betrieb genommen hatte. 400.000 Barrel

#### OCAP in Kürze

Bezeichnung	„Organische CO <sub>2</sub> voor de Assimilatie van Planten“
Eigentümer	Hoek Loos B.V., Unternehmen des Linde-Konzerns VolkerWessels, Baukonzern (zu gleichen Teilen)
Länge der Pipeline	ca. 85 Kilometer (Rotterdam – Amsterdam)
Zahl der Kunden (November 2005)	ca. 400
Max. Einspeisung an CO <sub>2</sub> durch Shell	105 Tonnen pro Stunde
Max. Lieferung CO <sub>2</sub> an Gewächshäuser	160 Tonnen pro Stunde
Eingangsdruck in der Pipeline	22 bar
Einsparung an Naturgas	95 Millionen Kubikmeter pro Jahr
Einsparung an CO <sub>2</sub> -Emission	170.000 Tonnen pro Jahr

## Geplante Reduktion von Treibhausgasen

Quelle: BMU

	Veränderung 2012 zu 1990 (%)		Veränderung 2012 zu 1990 (%)
Luxemburg	- 28,0	Finnland, Frankreich	0,0
Deutschland, Dänemark	- 21,0	Schweden	4,0
Österreich	- 13,0	Irland	13,0
Großbritannien	- 12,5	Spanien	15,0
Belgien	- 7,5	Griechenland	25,0
Italien	- 6,5	Portugal	27,0
Niederlande	- 6,0		

*EU-Lastenverteilung: Die EU hat sich insgesamt zu einer Reduktion der Treibhausgase um 8 Prozent verpflichtet. Intern wurden Lasten unterschiedlich aufgeteilt. Luxemburg muss am meisten verringern. Portugal darf am meisten zulegen.*

Rohöl verarbeitet Shell dort täglich in drei Stufen zu Benzin, Heizöl und anderen petrochemischen Produkten. Beim Cracken der schweren Kohlenwasserstoffmoleküle entsteht als Abfallprodukt fast 100 Prozent reines CO<sub>2</sub>. Shell blies also genau den Rohstoff in die Luft, den die Gewächshaus-Betreiber so dringend benötigten. Die beiden ersten Puzzle-Teile waren damit gefunden. Wirklich greifbar wurde die Idee der beiden Männer aber erst, als sie von einem weiteren glücklichen Umstand erfuhren.

Denn nicht weit von Pernis begann eine Pipeline, die quer durch Süd-Holland hindurch bis Amsterdam führte. Das Besondere daran: Sie lag seit mehr als 20 Jahren brach. Schon in den 1960er Jahren hatte die Pipeline große Hoffnungen genährt. Die Stadt Amsterdam und der niederländische Staat wollten mit ihrem Bau die Wirtschaft im Westhafen der Amstel-Metropole beleben. Der Hafen war damals bereits zu klein, um die riesigen Öltanker aufzunehmen. Dennoch nahm dort ein amerikanischer Konzern eine Raffinerie in Betrieb, weil er durch die Pipeline Öl aus dem rund 80 Kilometer entfernten Rotterdamer Hafen erhielt. Das Aus kam allerdings schon nach zwei Jahren. Die Anlage wurde wieder geschlossen - und Mitte der 1980er Jahre auch die Pipeline still gelegt.

### Visionen erfordern Risiken

Doch noch war sie da. Was also lag näher, als die Röhren für den Transport von CO<sub>2</sub> wieder zu beleben und die Gewächshäuser mit ihrer Hilfe direkt an die Shell-Raffinerie anzubinden? Allerdings machte Limbeek und Tiemeijer zunächst ihr eigener Arbeitgeber einen Strich durch die Rechnung. Denn Energie Delfland wurde im Jahr 2000 durch den Konkurrenten Eneco übernommen. Der aber zeigte kein Interesse mehr an ihren Recherchen - und beendete das Projekt. Die beiden gründeten daraufhin ihre eigene Firma, gaben ihr den Namen „Syens“ und machten sich auf die Suche nach Geldgebern. Zunächst versuchten sie ihr Glück bei Finanzinvestoren. Ohne Erfolg. Dann klopfen sie beim Baukonzern VolkerWessels an, der Interesse zeigte. „Zu uns kommen Menschen mit den verrücktesten Ideen“, schildert Vorstandsmitglied Andries de Jong die erste Begegnung mit den beiden Visionären. „Auch diese Idee war etwas sehr Spezielles - aber sie war gut durchdacht.“

Don Huberts, General Manager bei Hoek Loos, der niederländischen Tochtergesellschaft der Linde AG, zeigte sich ebenfalls spontan von der Idee begeistert. Als Spezialist für die Gasversorgung konnte er sich gut vorstellen, in einer Partnerschaft mit VolkerWessels OCAP zum Leben zu erwecken. Die Herausforderung lag in dem untypischen Geschäftsmodell, auf das sich Hoek Loos einlassen musste. Normalerweise zeichnet das Unternehmen Verträge mit Laufzeiten von mindestens 15 Jahren und mit nur wenigen Kunden, die Gas in großen Mengen verbrauchen. Bei OCAP aber war alles anders. Denn die potenzielle Kundschaft bestand aus mehreren hundert Gewächshausbetreibern, die wesentlich kürzere Vertragslaufzeiten verlangten. „Man muss schon Visionen haben, um ein solches Projekt zu starten und das Risiko zu tragen“, blickt Huberts in den Spätsommer 2004 zurück. „Wir entschieden uns dafür, nicht zuletzt weil wir uns als Unternehmen verstärkt gesellschaftlich wichtigen Aufgaben widmen wollen.“ Damit war das Eis gebrochen. Hoek Loos und VolkerWessels gründeten das Joint Venture OCAP und stellten insgesamt 100 Millionen Euro zu gleichen Teilen als Startkapital zur Verfügung. Das finanzielle Polster war geschaffen. Das eigentliche Projekt aber begann erst.

Obwohl die OCAP-Initiatoren zu diesem Zeitpunkt noch nicht alle Details vorlegen konnten, überzeugten sie zunächst einmal Shell davon, die Raffinerie in Pernis an die Pipeline anzubinden. Weniger als einen Kilometer musste der Konzern bis zum Übergabepunkt überbrücken. „Außerdem passt das gesamte Projekt sehr gut in die Nachhaltigkeitspolitik von Shell“, erklärt Luc Spitholt, Cheftechnologe in Pernis. „Deshalb waren wir bereit, ein größeres Risiko als üblich in Kauf zu nehmen.“

Schwieriger gestaltete sich das Einholen der behördlichen Genehmigungen für die Pipeline. Nicht nur die niederländische Zentralregierung und die Stadt Amsterdam mussten als Eigentümer ihre Zustimmung für die Umwidmung der einstigen Erdöl-Röhren geben. Auch die Provinzen von Süd-Holland, Rotterdam und Rijnmond sowie eine Vielzahl von Kommunen entlang der Pipeline hatten ein Mitspracherecht. Ende 2004 lagen schließlich alle notwendigen Dokumente vor. „Eines hat uns dieses Projekt gelehrt“, blickt Jan Franssen, königlicher Kommissar in Süd-Holland zurück. „Eine sozial- und umweltgerechte Politik erfordert, dass Unternehmen und Regierung neue Wege beschreiten.“

### Ein Drittel Düngekosten sparen

Danach ging alles ganz schnell. VolkerWessels kümmerte sich darum, die Rohrleitungen zu säubern und die Lücken zum Lieferanten und zu den Kunden zu schließen. Noch auf dem Shell-Gelände baute unterdessen das Hoek Loos-Team die Kompressorstation. In insgesamt drei Maschinen wird das CO<sub>2</sub>, das die Station kurz nach Verlassen der Shell-Raffinerie mit Atmosphärendruck erreicht, auf das 22fache verdichtet. Insgesamt speist die Anlage maximal 105 Tonnen pro Stunde in die Pipeline ein. In Spitzenzeiten können allerdings bis zu 160 Tonnen pro Stunde aus ihr entnommen werden. Zwar benötigen die Gewächshäuser das CO<sub>2</sub> tagsüber, wenn die Sonne scheint. Der Zustrom aus der Raffinerie erfolgt aber rund um die Uhr und pumpt die Pipeline während der Nachtzeiten daher über Soll auf. Dieses „Atmen“ sorgt für eine zusätzliche Reserve.

Die größte Herausforderung lag nun in der Kürze der Zeit. Schließlich wollten die OCAP-Eigner noch im Sommer, wenn der CO<sub>2</sub>-Bedarf in den Gewächshäusern besonders groß ist, zeigen, dass ihre Geschäftsidee funktionierte. Tatsächlich gelang das Vorhaben, obwohl der erste Spatenstich erst im März 2005 erfolgte. „Wir haben die Pipeline innerhalb von vier Monaten in Betrieb genommen“, zeigt sich Piet van Heteren, OCAP-Projektleiter bei Hoek Loos, zufrieden.

Auch die Gewächshausbetreiber würdigten das ehrgeizige Ziel. 400 – das entspricht rund 60 Prozent aller möglichen Kandidaten – zeichneten Vorverträge. Warum? „Ich spare jetzt rund ein Drittel der Kosten für die Düngung mit CO<sub>2</sub>“, erklärt Hans Bunnik, der inzwischen ebenfalls CO<sub>2</sub> von OCAP bezieht.

Insgesamt rechnen die Verantwortlichen mit 95 Millionen Kubikmeter Erdgas, die eingespart werden können, weil das CO<sub>2</sub> nun direkt von Shell kommt. Dank dieses Synergieeffekts, der ein Abfallprodukt in einen Rohstoff verwandelt, entweichen in Zukunft 170.000 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr weniger in die Erdatmosphäre. „In Zukunft können wir noch viel mehr erreichen“, glaubt Jacob Limbeek, der nach dem Tod von Hans Tiemeijer die OCAP-Idee alleine vermarktet. „Auch in der Region um Aalsmeer, südlich von Amsterdam, gibt es viele Gewächshäuser – und die Pipeline führt nah an diesem Gebiet vorbei.“ **I**

Frank Grünberg hat sich auf Technikgeschichten spezialisiert, die im Spannungsverhältnis von Wirtschaft und Wissenschaft entstehen. Er schreibt für Fach- und Kundenmagazine und lebt in Wuppertal.

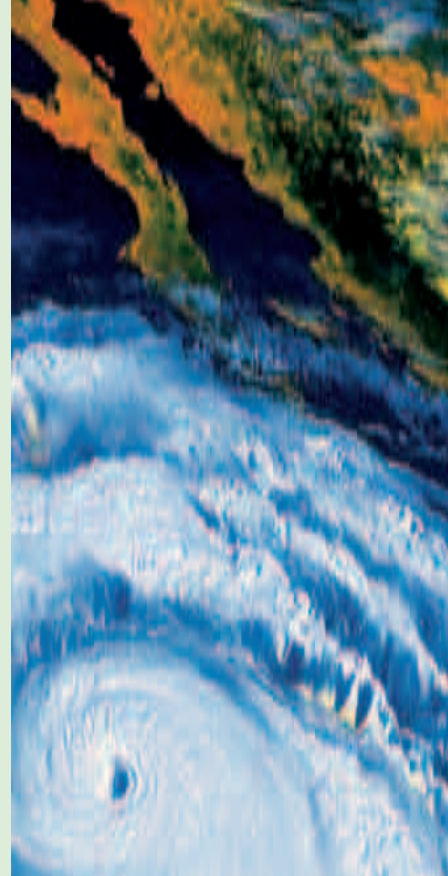
#### Weiterführende Links:

[www.ocap.nl](http://www.ocap.nl)

[www.bunnikplants.nl](http://www.bunnikplants.nl)

[www.hoekloos.nl](http://www.hoekloos.nl)

[www.kyoto-protokoll.de](http://www.kyoto-protokoll.de)



### Das Kyoto-Protokoll

Mit der Unterzeichnung des Kyoto-Protokolls haben bislang mehr als 50 Staaten ihren Willen bekundet, den Ausstoß von Klimagasen langfristig zu senken. Demnach sollen die Emissionen im Zeitraum von 2008 bis 2012 um mindestens fünf Prozent unter das Niveau von 1990 sinken. Die Klimagase werden für den so genannten „Treibhauseffekt“ verantwortlich gemacht, weil sie die Eigenschaften der Erdatmosphäre, die den Globus wie ein Treibhaus vor eisiger Weltraumkälte schützt, verändern. Die kurzwellige Energie, die von der Sonne kommt, lassen die Klimagase nach wie vor zur Erde passieren. Die langwellige Strahlung, die die Erde reflektiert, halten sie allerdings zurück und heizen dadurch die Erdatmosphäre auf. Die Vorboten des drohenden Klimawandels sind bereits erkennbar: die Meeresspiegel steigen, die Wüsten dehnen sich aus, die Zahl der Orkane nimmt zu. Als wichtigste Gefahrenquellen identifiziert das Kyoto-Protokoll die Gase Methan (CH<sub>4</sub>), Distickstoffoxid (N<sub>2</sub>O), teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (H-FKW), perfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW), Schwefelhexafluorid (SF<sub>6</sub>) und Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), das bei der Verbrennung von fossilen Rostoffen wie Kohle, Erdöl und Erdgas entsteht.



