

# LINDE TECHNOLOGY

Ausgabe

*TITELTHEMA: AUS GRÜNEN QUELLEN*

#2.

*WASSERSTOFF*

H<sub>2</sub>-Produktion auf grüner Basis

*ALGENÖL*

Nachhaltige CO<sub>2</sub>-Verwertung

*BIOTECH-FORSCHUNG*

Biomasse optimal nutzen

11

*ALUMINIUM*

Mehr Effizienz beim Recycling

*KRYOTECHNOLOGIE*

Biobanken stärken Medizinforschung

*ANLAGENDESIGN*

Kunststoffbausteine nach Maß

*NACHWACHSENDE ROHSTOFFE FÜR DIE INDUSTRIE*

# AUS GRÜNEN QUELLEN



THE LINDE GROUP

## Impressum

### Herausgeber:

Linde AG  
Klosterhofstraße 1, 80331 München  
Telefon +49.89.35757-01  
Telefax +49.89.35757-1398  
www.linde.com

### Redaktion:

Verantwortlich: Dr. Thomas Hagn, Linde AG;  
wissen + konzepte, München

### Bildredaktion:

Judith Schüller, Hamburg

### Layout:

wissen + konzepte, München;  
Almut Jehn, Bremen

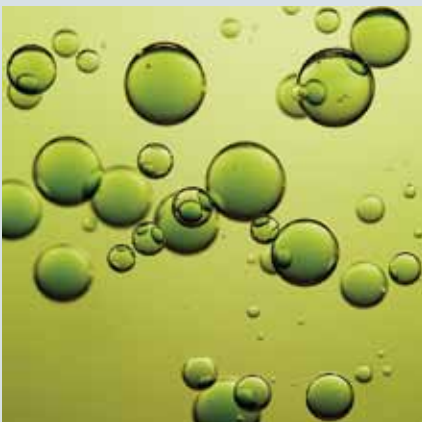
### Anfragen und Bestellungen an:

Linde AG, Kommunikation  
Klosterhofstraße 1, 80331 München  
oder thomas.hagn@linde.com

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

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

ISSN 1612-2224, Printed in Germany – 2011



*Die Bio-Alternative: Bei der Energieversorgung und industriellen Produktion müssen verstärkt nachwachsende Rohstoffe verwendet und die erdölbasierten Stoffströme durch grüne Ströme ersetzt werden.*

#2.  
11

### Bildquellen:

**Titel:** Getty Images // **Seite 04/05:** Linde AG (2), Getty Images, Sapphire Energy // **Seite 06/07:** Daimler AG // **Seite 08/09:** Linde AG (3) // **Seite 11:** Colin Cuthbert/SPL/Agentur Focus // **Seite 12/13:** Linde AG (2), Getty Images, plainpicture/ojo // **Seite 14/15:** Linde AG (2), Thomas Ernsting/Fraunhofer-Gesellschaft // **Seite 16:** Linde AG // **Seite 18/19:** Linde AG // **Seite 20/21:** Linde AG // **Seite 23:** Sapphire Energy // **Seite 24/25:** Sapphire Energy, Linde AG (2) // **Seite 26:** Fraunhofer-Gesellschaft // **Seite 28/29:** Fraunhofer-Gesellschaft, Bayer AG // **Seite 30/31:** Fraunhofer-Gesellschaft (2) // **Seite 32:** Corbis, AJ Photo/SPL/Agentur Focus // **Seite 34/35:** Linde AG, Universitäres Schlafmedizinisches Zentrum Hamburg // **Seite 36/37:** Getty Images, BOE Technology Group Co., Ltd. // **Seite 39:** International Aluminium Institute // **Seite 40/41:** Linde AG // **Seite 42/43:** Linde AG // **Seite 44:** Linde AG // **Seite 46/47:** Getty Images, Linde AG // **Seite 49:** Danny Gys/Reporters/SPL/Agentur Focus // **Seite 50/51:** Linde AG (4), Manfred Kage/SPL/Agentur Focus // **Seite 52/53:** Ria Novosti/SPL/Agentur Focus // **Seite 54:** H.-B. Huber/laif

Print  kompensiert  
www.fsc.org





# EDITORIAL

*Liebe Leserinnen  
und Leser,*

noch immer bewegt sich die Welt im Takt des Erdöls: Industrie, Transport und Energieversorgung basieren auf dem schwarzen Gold. Aber Ressourcenverknappung und Klimawandel fordern neue Lösungen. Wir müssen sparsamer mit den endlichen Rohstoffen unseres Planeten umgehen – und alternative Quellen nutzen. Dazu zählen auch nachwachsende Rohstoffe wie Holz, Stroh und andere Pflanzenreste.

Geeignete Methoden zur Nutzung der grünen Ressourcen sind bereits vorhanden, zum Beispiel durch die industrielle Biotechnologie. Damit lassen sich grüne Rohstoffe für Industrie, Mobilität und Energie nutzbar machen. Der lange Weg vom Labor zur Produktion im industriellen Maßstab erfordert ein effizientes Anlagendesign und das entsprechende Gasemanagement. Auf beiden Gebieten nimmt Linde eine führende Stellung ein und bietet übergreifende, ganzheitliche Konzepte. Unter anderem unterstützen wir den Aufbau des Chemisch-Biotechnologischen Prozesszentrums (CBP) in Leuna. Das Ziel der Forschung im CBP ist es, die erdölbasierten Stoffströme der Industrie schrittweise durch Biomasse-Ströme zu ersetzen. Außerdem treiben wir die Entwicklung einer klimafreundlichen Mobilität auf Wasserstoffbasis voran. In unserer Pilotanlage in Leuna produzieren wir bereits grünen Wasserstoff. Ausgangsstoff ist Glycerin, das bei der Biodieselherstellung als Nebenprodukt entsteht. Auch bei der Erzeugung von Biokraftstoffen und -ölen aus Algen bringt Linde als erfahrener CO<sub>2</sub>-Manager das notwendige Know-how ein. Denn die Mikroorganismen brauchen große Mengen Kohlendioxid, um das Bioöl zu produzieren.

Selbst etablierte Industrieverfahren lassen sich noch effizienter und nachhaltiger gestalten. Beispiel Aluminiumrecycling: Gasetechnik von Linde verbessert die Schmelzprozesse und senkt so den Energieverbrauch und die Emissionen. Und bei der Produktion wichtiger Chemiebausteine für den Massenkunststoff Polyethylen sorgt das unter Beteiligung von Linde entwickelte Verfahren für mehr Wirtschaftlichkeit. Im Bereich der fossilen Energieträger wird die Bedeutung von Erdgas weiter steigen. Im Vergleich zu Öl ermöglicht Erdgas eine klimaschonende Energieversorgung. Gemeinsam mit Technologiepartnern arbeiten wir daran, die Offshore-Förderung und Erdgasverflüssigung mit neuartigen Spezialschiffen voranzutreiben.

In diesem Heft finden Sie eine Auswahl an Beispielen, die zeigen, wie innovative Technologien die Umweltverträglichkeit bei industriellen Prozessen, in der Mobilität und bei der Energieerzeugung verbessern können.

Ich wünsche Ihnen eine interessante Lektüre.

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



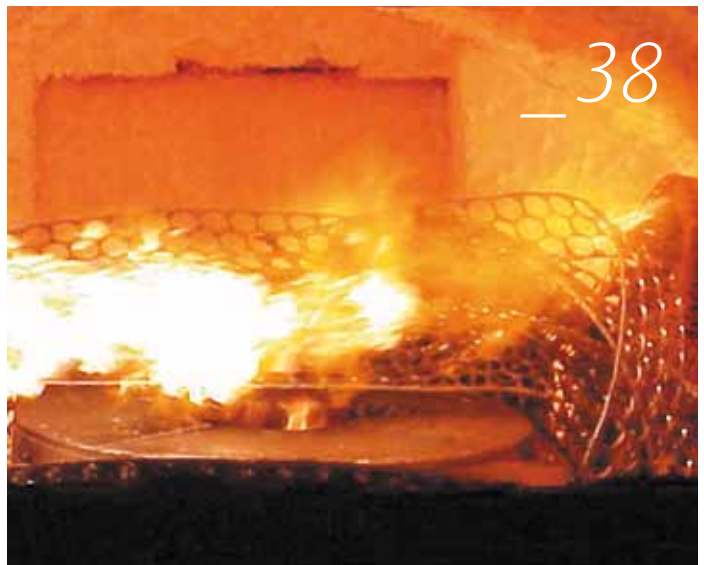
— 22

*BIOKRAFTSTOFF: Algenkulturen erzeugen grünes Rohöl*



— 10

*MEDIZIN: Kryotechnologie unterstützt Forschung*



— 38

*ALU-RECYCLING: Mehr Effizienz, weniger Emissionen*



— 44

*VERFAHRENSTECHNIK: Maßgeschneiderte Kunststoffe produzieren*

- 03 ..... *EDITORIAL*
- 06 ..... *ÖKOLOGISCH MOBIL*  
Wasserstoffautos touren um den Globus
- 08 ..... *NEWS*
- 10 ..... *FROSTIGE ARCHIVE*  
Kryotechnologie treibt die personalisierte Medizin voran

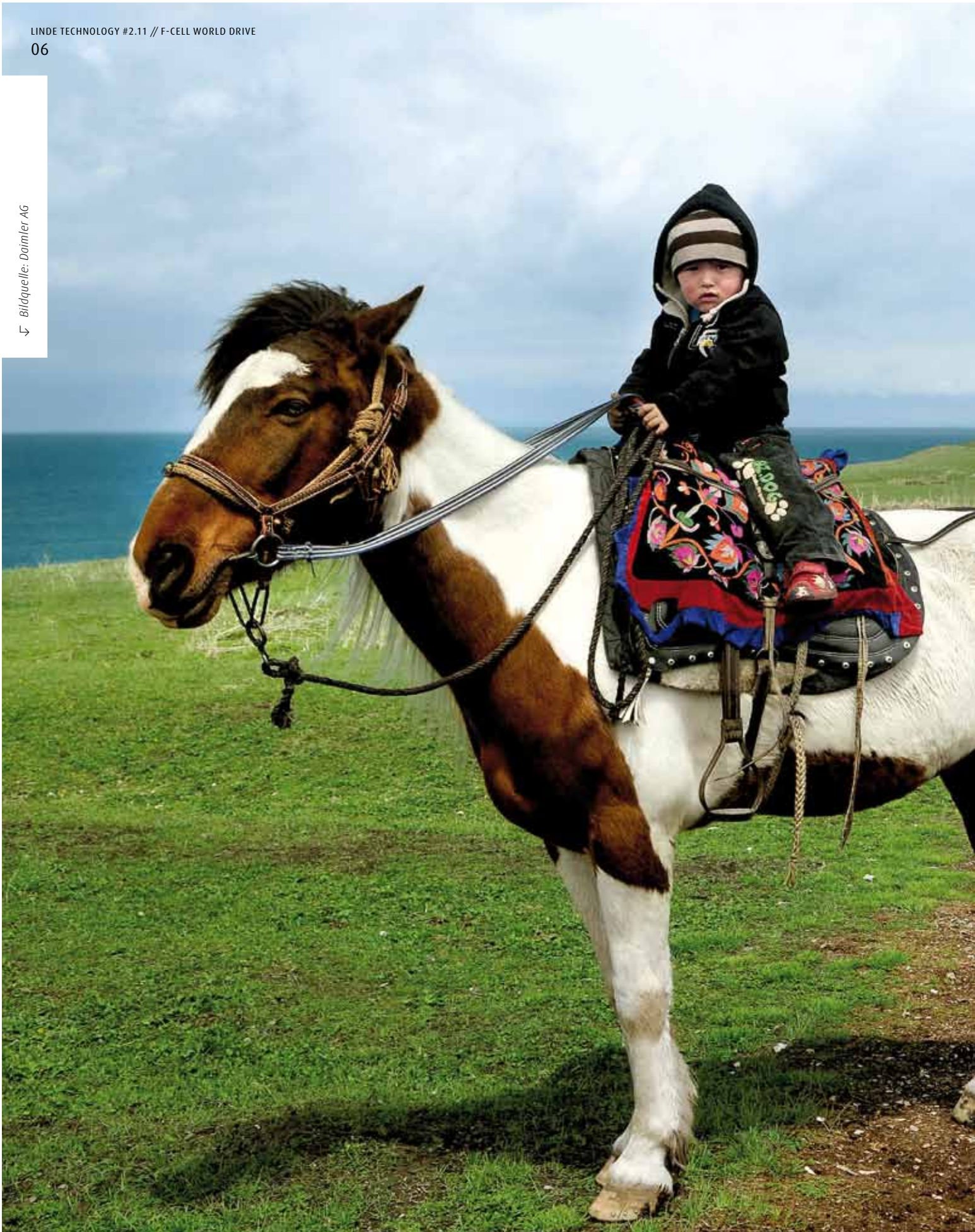
## TITELTHEMA

## 14 ..... *AUS GRÜNEN QUELLEN*

*Mit innovativem Anlagendesign und Gasemanagement ermöglichen Ingenieure von Linde die wirtschaftliche Nutzung von Biomasse – und schaffen damit Perspektiven für eine nachhaltige Industrielandschaft.*

- |   |  |
|---|--|
| <p>16 ..... <i>CLEAN MIT GLYCERIN</i><br/>H<sub>2</sub> vom Rapsfeld: Wasserstoffproduktion aus erneuerbaren Ressourcen</p> <p>22 ..... <i>GRÜNES GOLD AUS DER WÜSTE</i><br/>Kohlendioxid lässt Algen wachsen, die Bioöl erzeugen</p> | <p>26 ..... <i>DIE CHEMIE WIRD BIOLOGISCH</i><br/>Verfahren auf Biomasse-Basis zur Industriereife führen</p> <p>30 ..... <i>ESSAY: „POTENZIALE DER INDUSTRIELLEN BIOTECHNOLOGIE“</i><br/>Prof. Dr.-Ing. Hans-Jörg Bullinger, Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft</p> |
|---|--|

- 32 ..... *SCHLAFEN OHNE STRESS*  
Weltweiter Rundum-Service LISA™ bietet Hilfe bei Schlafapnoe
- 36 ..... *SCHÄRFER, SCHLANKER, SCHNELLER*  
Hightech-Gase für die Multimedia-Industrie
- 38 ..... *ALTE LEICHTGEWICHTE MIT NEUEM GLANZ*  
Aluminium wirtschaftlicher recyceln
- 42 ..... *FITNESS FÜR FISCH*  
Energieeffizientes Gasemanagement für Aquakulturen
- 44 ..... *KUNSTSTOFF-BAUSTEINE NACH MASS*  
Innovative Technologie für Polymer-Komponenten
- 48 ..... *MIT ÜBERSCHALL GEGEN MIKROBEN*  
Antibakterielle Oberflächen durch Kaltgasspritzen
- 52 ..... *DIE SCHWIMMENDE LNG-FABRIK*  
Erdgasförderung auf hoher See
- 54 ..... *LEBEN RETTEN MIT SAUERSTOFF*  
Ultraleicht-Flaschen für die Ambulanz



Wasserstoff

# ÖKOLOGISCH MOBIL

Tierische Muskelkraft trifft Wasserstoff-Power: In der kasachischen Steppe begegneten sich die Extreme der Mobilität. Während des Mercedes Benz F-CELL World Drive tourten im ersten Halbjahr 2011 drei mit Wasserstoff (H<sub>2</sub>) betriebene Brennstoffzellenfahrzeuge des Typs B-Klasse F-CELL einmal um den Globus. Weil noch kein welt-

weites Wasserstoff-Tankstellennetz existiert, sorgte Linde mit einer mobilen Betankungseinheit für den nötigen H<sub>2</sub>-Kraftstoff. Rund 30.000 Kilometer legten die F-CELLs jeweils zurück – und fuhrten sowohl über Autobahnen als auch abseits befestigter Straßen. Die gesamte Tour dauerte 125 Tage und führte durch vier Kontinente.



# NEWS

ASIEN:

## PARTNER FÜR WACHSTUM

← Linde investiert im wichtigen Wachstumsmarkt Asien: Im südkoreanischen Giheung hat das Unternehmen im Herbst 2011 seinen zweiten Luftzerleger in Betrieb genommen. Die neue Anlage erzeugt hochreinen Stickstoff und Sauerstoff sowie Argon. Vor allem die Stahl-, Elektronik- und Halbleiterindustrie, aber auch die Automobilindustrie und die Petrochemie in Südkorea haben einen stetig wachsenden Bedarf an den Gasprodukten. Linde beliefert dort zum Beispiel den Halbleiterspezialist Samsung, der für seine Prozesse hochreinen Stickstoff benötigt. Mit der Investition von rund 130 Millionen Euro stärkt Linde seine Position in Südkorea – und auch darüber hinaus: „Asien ist ein Schlüsselmarkt für Linde, und wir planen unsere Geschäfte langfristig auszuweiten“, sagt Sanjiv Lamba, Mitglied des Vorstands der Linde AG und zuständig für das Asiengeschäft.

Und auch in China setzt Linde auf Wachstum: In der Region Shandong in Ostchina plant der Konzern den Bau zweier Luftzerleger für die On-site-Versorgung des chinesischen Polyurethan-Herstellers Yantai Wanhua. Die beiden Anlagen sollen 55.000 Normkubikmeter Sauerstoff pro Stunde produzieren. Der Betriebsstart ist zum Jahreswechsel 2013/14 geplant. Neben Sauerstoff und Stickstoff für Yantai Wanhua wird Linde dort auch Flüssigprodukte für den regionalen Markt bereitstellen.

In Indonesien übernimmt der Konzern die langfristige Gaseversorgung für ein neues Stahlwerk von PT. Krakatau POSCO in Cilegon, 100 Kilometer westlich von Jakarta. Linde investiert rund 88 Millionen Euro in einen neuen Luftzerleger, der Ende 2013 in Betrieb gehen soll. Die Anlage wird mit einer Kapazität von 2.000 Tonnen Sauerstoff pro Tag die größte ihrer Art in Indonesien sein.

Auch Thailand ist ein Wachstumsmarkt mit großem Potenzial. Linde ist dort bereits der führende Gaseanbieter. Mit einer neuen Luftzerlegungsanlage im Eastern Industrial Estate in Map Ta Phut und der damit verbundenen Investition von 78 Millionen Euro festigt der Konzern diese Stellung. Viele Branchen in Thailand sind auf Industriegase



angewiesen – vom Chemiesektor über die Nahrungs- und Getränkeindustrie bis zur Elektronik- und Medizinbranche. Die Inbetriebnahme des Luftzerlegers ist für 2013 geplant. Dann soll die Anlage 800 Tonnen verflüssigter Gase pro Tag erzeugen. Neben dem neuen Luftzerleger verbessert Linde in Map Ta Phut auch die Infrastruktur für die Gaseversorgung: Der Konzern baut einen neuen Stickstoffverdichter und ein neues Rohrleitungsnetz, um Kunden künftig noch besser beliefern zu können.

GROSSBRITANNIEN UND ITALIEN:

## NEUE WASSERSTOFF-TANKSTELLEN FÜR EUROPA

Der Aufbau einer europaweiten H<sub>2</sub>-Infrastruktur schreitet weiter voran. Seit Herbst 2011 kann auch in Großbritannien Wasserstoff getankt werden: Die erste öffentliche H<sub>2</sub>-Tankstelle wurde in Swindon, westlich von London, eröffnet. Realisiert wurden das H<sub>2</sub>-Projekt von der Linde-Tochter BOC zusammen mit dem Autohersteller Honda



und der örtlichen Wirtschaftsförderung Forward Swindon. Die Tankstelle bei Swindon liegt an der britischen Autobahn M4 zwischen London und Bristol. Die Wasserstoff-Zapfsäule ist optimal auf die kommerzielle Nutzung ausgelegt. Zudem kann die Tankstelle als Blaupause für weitere Projekte dienen: „Die Anlage zeigt, dass wir in der Lage sind, die nötige Infrastruktur für die Wasserstoff-Mobilität zu etablieren“, sagt Mike Huggon, Geschäftsführer von BOC für Großbritannien und Irland.

Wasserstoff eignet sich vor allem als sauberer Kraftstoff für den öffentlichen Nahverkehr in Städten: Auch im italienischen Mailand fahren jetzt Wasserstoffbusse. Den Bau und Betrieb der dafür benötigten H<sub>2</sub>-Tankstelle hat Linde Gas Italien übernommen. Mailand schließt damit zu anderen europäischen Metropolen wie London, Oslo oder Hamburg auf. In diesen Städten sind bereits erfolgreich Wasserstoff-Buslinien unterwegs. Die Tankstelle in Mailand ist Teil des von der EU geförderten Projekts „Clean Hydrogen in European Cities“.

NORDAMERIKA:

## INITIATIVEN IM ANLAGENBAU

In den USA wird die CO<sub>2</sub>-Abscheidung in Kohlekraftwerken forciert. Das US-Energieministerium (DoE) unterstützt Linde bei der Weiterentwicklung dieser Technologie. Mit insgesamt 15 Millionen US-Dollar fördert das Ministerium den Bau einer Pilotanlage in Wilsonville, Alabama. In der Anlage will Linde mindestens 90 Prozent des Kohlendioxids aus Kraftwerksabgasen entfernen. Die Stromkosten sollen dabei lediglich um 35 Prozent steigen. Zum Vergleich: Bei bisherigen Verfahren zur CO<sub>2</sub>-Abscheidung erhöhen sich die Kosten um bis zu 80 Prozent. Linde profitiert bei dem Projekt von den Erfahrungen mit der CCS-Technologie (Carbon Capture and Storage) am Kohlekraftwerk Niederaußem bei Köln. Zusammen mit RWE und BASF betreibt Linde dort seit 2009 erfolgreich eine Pilotanlage zur Rauchgaswäsche.

In Nordamerika startet Linde mit dem US-Anlagenbauer Bechtel ein weiteres Projekt: Die Unternehmen wollen beim Bau von Ethylen-Anlagen künftig wieder zusammenarbeiten. Ethylen ist ein wichtiger Grundstoff für die Industrie. Durch den wachsenden Markt für Schiefergas in Nordamerika planen auch die Ethylen-Produzenten neue Projekte und expandieren ihr Geschäft: „Zusammen mit Bechtel können wir die besten Lösungen in punkto Ethylen-Technologie für die nordamerikanische Petro-Industrie bereitstellen“, sagt Dr. Aldo Belloni, Mitglied des Vorstands der Linde AG.



DEUTSCHLAND:

## MEDIZINFORSCHUNG FÖRDERN

Im Rahmen seiner REALfund-Initiative hat Linde jetzt erstmals Fördergelder vergeben. Auf der Veranstaltung im Juli 2011 in München erhielten die ersten vier Empfänger, die aus über 30 Bewerbern ausgewählt wurden, Zuschüsse für ihre Forschungsarbeiten in Höhe von insgesamt 300.000 Euro. Lindes Healthcare-Sparte hat die REALfund-Initiative eingerichtet, um innovative Forschungsprojekte zu fördern und dabei den Einsatz von Gasen in den Bereichen Atemwegsmethoden, Akutschmerztherapie und gasebasierter Wundtherapie zu untersuchen. Medizinische Gase erweisen sich tagtäglich als unverzichtbar für die Behandlung von Krankheiten. Darin waren sich alle Experten auf der REALfund-Veranstaltung einig.

*Kryotechnologie treibt die personalisierte Medizin voran*

# FROSTIGE ARCHIVE

In Biobanken ruht die Medizinforschung der Zukunft: Die verborgenen Informationen in Gewebe-, Tumor- oder Stammzellen sollen eine genauere Diagnose von Krankheiten ermöglichen – und individuelle Therapien. Diese Zellen müssen so aufbewahrt werden, dass sie sich mehrfach für unterschiedliche Analysen nutzen lassen: Linde bietet die erforderliche Kryotechnologie für die gesamte Kühlkette, damit die Proben auch einen jahrzehntelangen Kälteschlaf unbeschadet überstehen.

In den Bibliotheken vieler Wissenschaftler ist es eisig kalt: Millionenfach lagern menschliche Zellen in so genannten Biobanken. Blutproben, Stammzellen und Tumorgewebe warten bei einer Temperatur von minus 196 Grad Celsius im frostigen Schlaf auf ihren Einsatz. Das organische Material lässt sich tiefgefroren über Jahrzehnte aufbewahren und steht der Nachwelt dann als vitale Bioressource wieder zur Verfügung. Denn obwohl die Zellen im frostigen Tiefschlaf liegen, leben sie weiter – und können so nach dem Auftauen helfen, Krankheiten zu erforschen oder Verbrechen aufzuklären. Denn die Zellen speichern wichtige Informationen. Wissenschaftler können beispielsweise anhand von Gewebeproben verschiedene Krankheitsstadien verfolgen, Untersuchungsbefunde zuordnen oder auch Therapien entwickeln.

Möglich macht das die Kryolagerung – abgeleitet von dem griechischen Wort „kryos“ für „kalt“. Seit der Mitte des letzten Jahrhunderts befassen sich Forscher intensiv damit, wie organische Materialien auf extrem niedrige Temperaturen reagieren. Bei kryokonservierten Zellen kommen sämtliche Stoffwechselfprozesse in ihrem Innern zum Erliegen: Für die Dauer der Unterkühlung altern, wachsen und teilen sie sich nicht mehr. Die Zellaktivität ist auf dem absoluten Nullpunkt. Voraussetzung: Konstante Eiseskälte über die gesamte Speicherzeit der Zell-Konserven. „Kryokonservierung ist ohne zuverlässige und exakt dosierte Kälte nicht möglich“, erklärt Peter Mawle, Global Business Manager für Kryolagerung bei Linde. Die notwendige Kälte von beispielsweise minus 196 Grad Celsius liefert flüssiger Stickstoff. „Auf diesem Gebiet hat Linde umfangreiches Know-how zu bie-

ten“, erklärt Mawle. Und das könnte vor allem bei der so genannten personalisierten Medizin von großer Bedeutung sein. Den eisigen Bio-Datenbanken kommt dabei eine wichtige Rolle zu: Aus der Kombination des genetischen Profils der Kranken, detaillierten tiefgefrorenen Gewebeproben und -analysen sowie gespeicherten Biodaten entsteht ein individuelles Krankheitsbild – aus dem sich dann eine individuelle Therapie ableiten lässt. Denn Krebs ist nicht gleich Krebs: Jede Tumorerkrankung hat ihren ganz eigenen Werdegang.


Dank der Kryoforschung nutzen Ärzte heute weltweit Gewebeproben von Patienten zur Diagnose und Therapie: Tiefgefrorene Knochenmarkstammzellen ermöglichen, Leukämie zu bekämpfen.

Spenderherzklappen können noch Jahre, nachdem sie eingefroren wurden, Menschenleben retten. Samenbanken gibt es längst. Und auch Eizellen und Eierstockgewebe legen Reproduktionsmediziner inzwischen auf Eis. Eines der größten Erfolgsbeispiele der Kryotechnologie auf dem Gebiet der Fortpflanzungsmedizin gelang bereits 2004 in Louvain, Belgien: Die Geburt eines Kindes,

das aus zuvor tiefgefrorenem Eierstockgewebe entstanden ist. Das gibt Frauen Hoffnung, die beispielsweise wegen einer Krebsbehandlung eine Chemotherapie erhalten müssen, die ihre Eizellen schädigt. So können sie sich dennoch ihren Kinderwunsch erfüllen. An diesen und weiteren medizinischen Fortschritten arbeiten weltweit vor allem Universitäten und Forschungsinstitutionen.

Aber: „Der Umgang mit biologischen Proben ist nicht einfach, weil das Material extrem sensibel ist. Die Kryotechnik erlaubt, dass sie unbeschadet transportiert werden können – und ihre





*Schatztruhe im Tiefkühlager:  
Biobanken archivieren Gewebeproben.  
Die gefrorenen Zellen können noch  
Jahrzehnte später eine wichtige Rolle  
für die Medizinforschung spielen.*

Qualität behalten“, sagt Shivan Ahamparam, Marktsegmentleiterin Chemie und Energie bei Linde. Linde stattet Kryobanken rund um den Globus nicht nur mit Flüssigstickstoff aus und liefert das komplette Spektrum von großen Probenlagern bis hin zu kleinen Transportbehältern. Die Kälteexperten planen auf Wunsch auch komplette Anlagen mit speziell ausgestatteten Gefriertruhen, die an automatische Nachfüllanlagen für Flüssigstickstoff angeschlossen sind. Mithilfe seiner Biobank im holländischen Hedel bietet Linde Unikliniken, Blutbanken, biomedizinischen und pharmazeutischen Unternehmen in Belgien und den Niederlanden den kompletten Katalog an Kryoleistungen an. „Das reicht vom gesicherten Transport über die materialgerechte Lagerung bis hin zur Überwachung rund um die Uhr“, sagt Will Kremers, Kaufmännischer Projektleiter Hospital-/Cryocare bei Linde Healthcare Benelux.

„Gewebe- und Biomaterialien reisen beispielsweise in speziellen Tieftemperaturcontainern“, erklärt Mawle. In den ständig kontrollierten Lagern der Kryobanken wartet das gefrostete Material dann sicher gekühlt. Neueste Technik und geschultes Personal sorgen dafür, dass die biologischen Schätze permanent innerhalb der vorgeschriebenen Temperatur bleiben, Stickstoff automatisch nachgefüllt wird und sich der Weg jeder Probe vom Einfrieren bis zur Entnahme stets genau zurückverfolgen lässt. Angesichts der gestiegenen

## EXAKT DOSIERTE KÄLTE FÜR SENSIBLE GEWEBEPROBEN.

Bedeutung von Biobanken – die zudem international vernetzt sind – ist es wichtiger denn je, dass sie weltweit denselben hohen Qualitätsstandards folgen. Nur so lässt sich ein reibungsloser Austausch mit Wissenschaftlern, Industrie und Krankenhäusern gewährleisten. „Deshalb bietet es sich für Betreiber der Biobanken an, ihre Archive vor Ort von einem Kryospezialisten betreuen zu lassen“, erklärt Linde-Expertin Ahamparam. Das garantiert, dass die wertvollen Proben nicht vorzeitig aus dem Kälteschlaf geweckt werden. Linde stellt auch biologische Lagerbehälter bereit, die Flüssigstickstoff in der Gasphase nutzen. Durch die kalte Dampfatmosfera werden die Proben gleichmäßig gekühlt, sie sind leichter zu handhaben, und auch das

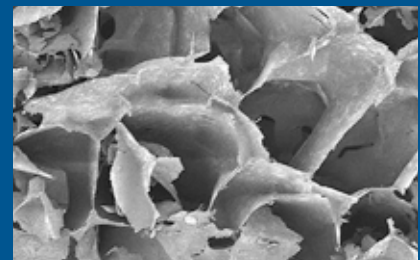
Risiko von Kreuzkontaminationen reduziert sich. Das so genannte „DryStore®“-Kältesystem ist eine weitere Aufbewahrungsoption, das beispielsweise Lindes lokale Konzerngesellschaft BOC in ihrer Kryobank in Großbritannien nutzt: Die Behälter sind mit einer Doppelwand ausgestattet, in der sich eiskalter Flüssigstickstoff befindet und der die Proben wie ein Kühlmantel umschließt. Der Vorteil: weniger Risiko einer Verunreinigung durch das Kältemittel. „Linde ist natürlich keine Biotechfirma“, sagt Mawle. „Doch wo auch immer jemand in der Biotech-Industrie, an Universitäten oder Forschungsinstituten Kryolagerung braucht, können wir mit unserer innovativen Technologie Unterstützung bieten und stehen als Ansprechpartner bereit.“

### GEFRIERENDER NEBEL FÜR PHARMA-PRODUKTE

Arzneimittel basieren häufig auf Proteinen. Diese müssen während der Produktion ihre Effektivität bewahren und später im Körper des Patienten die gewünschte Wirkung erzielen. Die Substanzen sind meist teuer und empfindlich – und können während der Lagerung ihre Aktivität verlieren. Durch Gefriertrocknen, auch Lyophilisation, lassen sich Wirkstoffe stabilisieren und ihre Haltbarkeit verlängern. Zwar ist das Verfahren aufwendig und kostspielig, aber besonders schonend: Es werden mehrere Ampullen mit der Substanz eingefroren und das gefrorene Wasser verdunstet. Vor allem die Keimbildungstemperatur des Eises ist ein kritischer Parameter, der die Dauer der Lyophilisation und die Produktqualität beeinflusst. Bisher gibt es keinen kommerziellen, praktikablen Weg, mit dem sich eine gleichmäßige Eisbildung in der gesamten Charge erreichen lässt. Die

Folge: Lange Produktionszyklen, geringe Ausbeute und uneinheitliche Serien. „Hier greift die kryogene Expertise und das Prozess-Know-how von Linde“, erklärt Beatrice Chinh, Segmentleiterin Pharmazeutische Industrie bei Linde. „Wir bieten Lösungen, die stabilere Lyophilisationszyklen gewährleisten und die Produktqualität verbessern“, so Chinh. Linde hat jetzt mit dem Gefriertrocknungsspezialisten IMA Life, ehemals BOC Edwards, ein neues Verfahren entwickelt: Eingesetzt wird keimfreier, gefrierender Nebel, der sich rasch in der Lyophilisationskammer verteilt. Der Vorteil: Alle Ampullen frieren zur gleichen Zeit und bei der gewünschten Temperatur ein. Es lässt sich eine höhere Homogenität über alle Proben erzielen und der Ausschuss ist geringer. Dank der Kontrolle über die Keimbildungstemperatur bildet sich im Produkt die gewünschte Eis-Struktur – das beschleunigt den Trock-

nungsprozess. Das Verfahren eignet sich von kleinen bis hin zu großen, sterilen Fertigungsanlagen. Prerona Chakravarty, Projektmanager Arzneimittel, Fein- und Spezialchemikalien, erklärt: „Das Gefriertrocknen ist ein kritischer nachgelagerter Produktionsprozess. Die neue von Linde entwickelte Lösung ermöglicht Forschern und Pharmafirmen die Qualität in der Arzneimittelproduktion weiter zu erhöhen.“



*Froststrukturen unter dem Mikroskop: Mit der Linde-Technologie bildet der Zuckeralkohol größere Poren – das erlaubt kürzere Prozesszyklen.*



**Eiskälte mit Flüssigstickstoff:**  
In Kryolagern und Kältetanks wartet das Biomaterial unbeschadet auf den späteren Einsatz (oben). Tauchen die Proben in minus 196 Grad Celsius kalten Flüssigstickstoff, stoppen alle Lebensprozesse in den Zellen (rechts). Jahrzehnte später können Wissenschaftler die Biomaterialien auftauen und für die Medizinforschung verwenden (links).



Ein wichtiger Kunde der Kryospezialisten von Linde ist Cryo-Save, eine der führenden Stammzellen-Banken Europas.

### Kontrollierte Kälte für Stammzellen

Stammzellen benötigen ein besonderes Gefrier-Rezept. Damit die Proben exakt eingefroren werden, bietet Linde computergestützte Kältetechnologie. Gerade auf diese Zellen richtet sich die Hoffnung vieler Mediziner, um Therapien gegen Krankheiten zu entwickeln. Auch die Pharmaindustrie nutzt gefrorenes Biomaterial – zum Beispiel bei der Suche nach neuen Medikamenten und dem so genannten Hochdurchsatz-Screening. Dabei laufen tausende Experimente parallel, die beispielsweise untersuchen, wie ein medizinischer Wirkstoff mit bestimmten Zellen reagiert. „Der Bedarf für qualitativ gute Gewebeproben nimmt ständig zu“, erklärt Stephen Thibodeau, Professor für Labormedizin an der renommierten Mayo-Klinik in Rochester, Minnesota, USA. Die meisten Kühlarchive in den Forschungseinrichtungen sind zwar klein und häufig nur eine Gefriertruhe im Tiefgeschoss. Doch immer öfter kooperieren Wissenschaftler mit externen Kryobanken, die etwa auf Volkskrankheiten wie Krebs oder Alzheimer spezialisiert sind. In der Nähe von Boston, Massachusetts, USA, am McLean Hospital, findet sich beispielsweise das Harvard Brain Tissue Resource Center: das größte Gehirnarhiv der Welt. Mithilfe von Biobanken

können die Mediziner in Zukunft sehr systematisch nach den Ursachen und biologischen Mustern von Krankheiten fahnden – und dann auch besser angepasste, individuelle Therapien entwickeln.

Doch trotz des hohen Standards der Kryotechnologie steht die Wissenschaft des Lebens weit unter dem Gefrierpunkt großen Herausforderungen gegenüber: „Es ist bislang nicht möglich, ganze Körper oder auch nur Organe dauerhaft einzufrieren. Herzen für eine Transplantation werden zum Beispiel nur gekühlt transportiert“, erklärt Mawle. Der Grund: Organe und größere Zellgebilde lassen sich viel langsamer und ungleichmäßiger einfrieren als etwa rote Blutkörperchen oder Stammzellen. Bislang ist es zudem nicht erlaubt, reguläre Bluttransfusionen mit kryokonserviertem Material durchzuführen, weil es nicht genügend einschlägige Studien gibt. Doch das kann sich noch ändern. Fest steht jedenfalls: Richtig dosierte Kälte und kryogene Lagerung ist für die Fortschritte in der Medizin ebenso wichtig wie die moderne Biotechnologie – die Erfolgsgeschichte der Kryobiologie hat also gerade erst begonnen.

.....  
**LINK:**

[www.cryo-save.com](http://www.cryo-save.com)  
.....

## NACHWACHSENDE ROHSTOFFE FÜR INDUSTRIE, MOBILITÄT UND ENERGIE

# AUS GRÜNEN QUELLEN

Die Knappheit fossiler Ressourcen und der Klimawandel zwingen unsere Gesellschaft zum globalen Umdenken. Bei der Energieversorgung und industriellen Produktion müssen wir in absehbarer Zeit verstärkt nachwachsende Rohstoffe verwenden und die erdöl-basierten Stoffströme durch grüne Ströme ersetzen. Die Biotech-Wende findet bereits überall statt – auch dank innovativer Anlagen- und Gasetechnologie von Linde.



Brennstoffzellenautos sind klimafreundlich: Aus ihrem Auspuff entweicht lediglich Wasser. Damit die Fahrzeuge künftig auch *Grünen Wasserstoff* tanken können, produziert die Linde-Pilotanlage in Leuna den H<sub>2</sub>-Treibstoff aus Glycerin, das bei der Biodiesel-Produktion aus Rapsöl anfällt. Auch Algen bieten großes Potenzial für die Industrie. Modifizierte Sorten wandeln CO<sub>2</sub> beispielsweise in *Algenöl* um. Diesen Rohstoff können Raffinerien wie Erdöl weiter verarbeiten. Mit dem *Chemisch-Biotechnologischen Prozesszentrum (CBP) in Leuna* treibt Linde Engineering Dresden gemeinsam mit der Fraunhofer-Gesellschaft die Bioökonomie weiter voran: Verfahren zur Nutzung von Biomasse sollen so schneller zur Industriereife gebracht werden.



**Grüne H<sub>2</sub>-Produktion:**

Die Pilotanlage in Leuna (Gebäude unten rechts) speist regenerativ erzeugten Wasserstoff in die großtechnische H<sub>2</sub>-Produktion. Pro Stunde werden 50 Kubikmeter grüner Wasserstoff gewonnen.



*Nachhaltige Mobilität: Linde-Pilotanlage produziert grünen Wasserstoff*

# CLEAN MIT GLYCERIN

Umweltverträglichkeit und Mobilität sollen künftig enger verbunden werden. Dafür eignet sich Wasserstoff ( $H_2$ ) als Energieträger optimal. Aber für eine rundum nachhaltige Mobilität muss auch die  $H_2$ -Gewinnung möglichst  $CO_2$ -neutral sein. Linde-Ingenieure haben ein Verfahren entwickelt, um „grünen“ Wasserstoff aus Biomasse herzustellen. In einer Pilotanlage am Standort Leuna erprobt der Konzern die Herstellung des  $H_2$ -Kraftstoffs aus Rohglycerin. Auf den Straßen beweist die Autoindustrie, dass mit  $H_2$  betriebene Fahrzeuge alltagstauglich sind.

↳ Bildquelle: Linde AG  
↳ Autor: Henning Hochrinner

Ein Schlüssel zu grünem Wasserstoff heißt Pyroreforming. Und im kleinen Städtchen Leuna, circa 30 Kilometer östlich von Leipzig, legen Linde-Ingenieure mit der Technologie einen wichtigen Meilenstein für die Zukunft der Energieversorgung: In einer Pilotanlage erproben sie ihr neu entwickeltes Verfahren, um aus nachwachsenden Rohstoffen grünen Wasserstoff zu produzieren. Linde setzt dabei auf Glycerin. Denn: „Es gehört zur Gruppe der Alkohole und besteht neben Kohlenstoff und Sauerstoff aus vielen Wasserstoffatomen. Darum eignet es sich optimal für die  $H_2$ -Produktion“, erklärt Gerrit Spremberg. Der Verfahrenstechniker von der Linde Gases Division betreut die Anlage vor Ort in Leuna. „Glycerin ist zudem leicht zu verarbeiten, ganzjährig verfügbar und ungiftig“, so Spremberg. Entscheidend für die  $CO_2$ -Einsparung ist, dass das Glycerin aus nachwachsenden Rohstoffen gewonnen wird: Es fällt vor allem bei der Biodieselproduktion in großen Mengen an. Diesel und das Nebenprodukt Glycerin werden hierbei aus Pflanzenölen gewonnen. „Wir wollen wirtschaftliche Alternativen zur konventionellen Wasserstoffproduktion entwickeln und die Herstellung so klimaneutral wie möglich machen“, erklärt Dr. Mathias Mostertz vom Linde Innovationsmanagement.

Mit der Pilotanlage kommen die Ingenieure ihrem Ziel immer näher: Ab Herbst 2011 soll die Anlage in Leuna ihren regulären Betrieb aufnehmen und stündlich 50 Kubikmeter grünen Wasserstoff erzeugen. Seine Produktion beginnt mit der Reinigung des Rohgly-

cerins. Denn dieses enthält noch circa 17 Prozent Wasser und Salze, die ein erster Destillationsschritt entfernt. Anschließend folgt die Pyroreforming des entsalzten Glycerins: Bei Temperaturen von mehreren hundert Grad Celsius und unter hohem Druck spalten sich die Glycerinmoleküle auf. Es entsteht das so genannte Pyrolysegas, das genau wie Erdgas vor allem Methan enthält. „Erdgas in Wasserstoff umzuwandeln, ist ureigene Linde-Technik, wir können darum auf Entwicklungs-Know-how und etablierte Prozesse zurück-

greifen“, sagt Mostertz. Nach der Pyrolyse wird das erzeugte Gas in den Dampfreformer geleitet. Unter weiterer Wärmezufuhr entsteht das so genannte Synthesegas. Es enthält neben Wasserstoff noch größere Mengen Kohlenmonoxid. In einem letzten Prozess wird der  $H_2$ -Anteil des Gasgemischs weiter erhöht. Um Kosten zu sparen, wird das Synthesegas aus der Pilotanlage den bestehenden Aufreinigungsschritten der konventionellen  $H_2$ -Produktion zugeführt. „Grü-

ner Wasserstoff darf sich aber nur der Anteil nennen, den wir aus der Pilotanlage einspeisen“, so Spremberg. Nur dieser Teil basiert auf dem biogenen Rohstoff.

Mit Wasserstoff im Tank fahren  $H_2$ -Autos bereits heute klimaschonend. Aus dem Auspuff kommt lediglich Wasserdampf. „Allerdings sind die Fahrzeuge nur so umweltfreundlich wie der Kraftstoff, mit dem sie fahren“, so Mostertz. Wasserstoff ist zwar das häufigste Element im Universum, aber der begehrte Stoff kommt in der Natur nur in

## *$H_2$ VOM RAPSFELD: NEBENPRODUKTE DER BIODIESEL- HERSTELLUNG ALS ROHSTOFF NUTZEN.*



WASSERSTOFF-VIELFALT

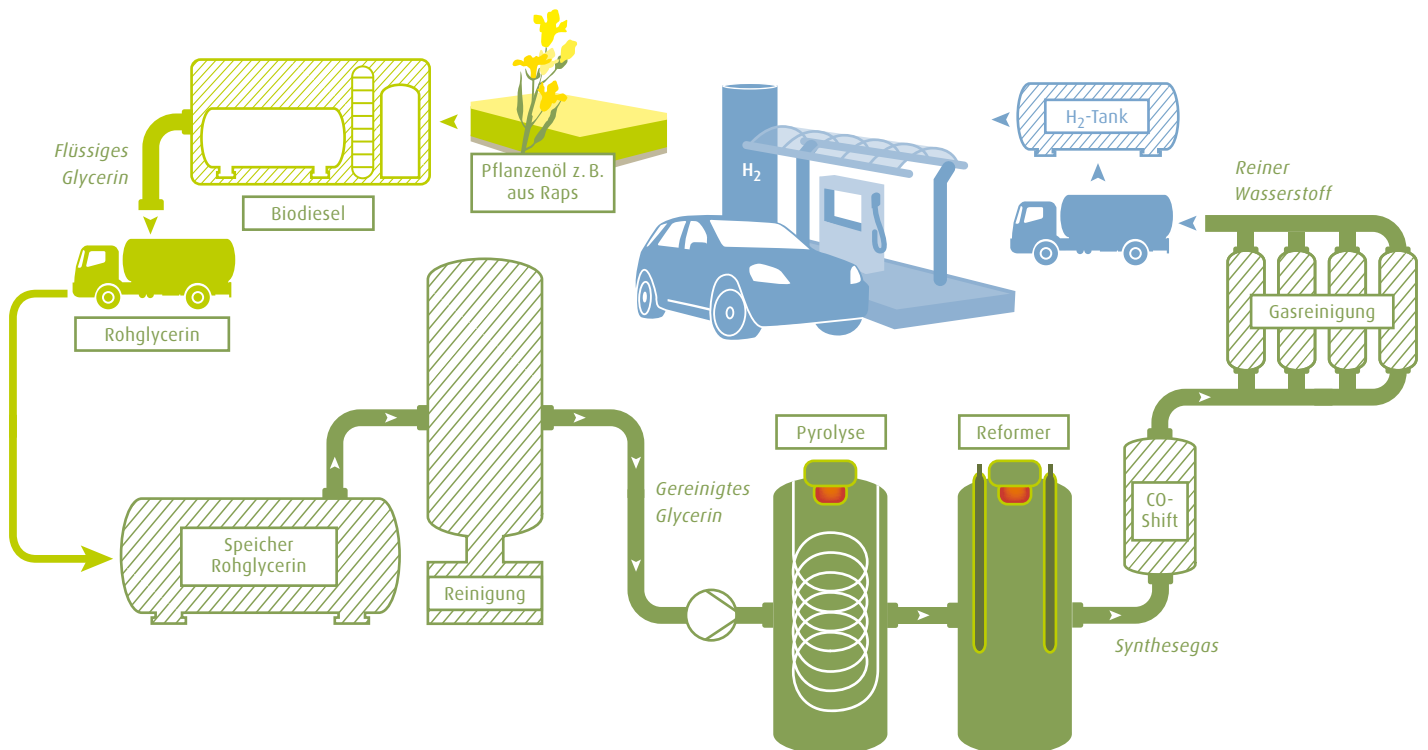
Neben der Verwendung von Glycerin als H<sub>2</sub>-Quelle arbeitet Linde auch an der H<sub>2</sub>-Produktion aus biogenen Feststoffen. Künftig könnte auch Biomasse als Ausgangsstoff dienen. Mittels Vergasung wird daraus zuerst ein methanhaltiges Gas erzeugt, das anschließend zu Wasserstoff umgewandelt wird. Der Prozess ist besonders effizient, da die Reststoffe der Vergasung gleichzeitig als Brennstoff dienen. Auch mit Sonnenenergie lässt sich Wasserstoff produzieren: Forscher vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt arbeiten beim Forschungsprojekt Hydrosol an thermochemischen Kreisprozessen, die mit Sonnenlicht H<sub>2</sub> erzeugen. Solarkollektoren bündeln die Energie auf einen Reaktor. Im Inneren reagiert Wasser mit einem Katalysator aus spezieller Keramik. Sauerstoff wird gebunden und Wasserstoff freigesetzt.

chemisch gebundener Form vor, zum Beispiel in Kohlenwasserstoffen wie Methan oder in Wasser. Um diese sehr stabilen Verbindungen zu spalten, muss viel Energie aufgewendet werden. Wenn der Strom zur Elektrolyse von Wasser aber in Kohlekraftwerken erzeugt wird, setzt die Wasserstoffgewinnung als Gesamtprozess dennoch erhebliche Mengen CO<sub>2</sub> frei. Auch bei der Erdgasreformierung, dem heute gängigen Verfahren zur Wasserstoffproduktion, entsteht das Klimagas. Setzt man hingegen nachwachsende Rohstoffe als Basis für die H<sub>2</sub>-Produktion ein, weisen die mit diesem „grünen“ H<sub>2</sub> betriebenen Brennstoffzellenfahrzeuge eine um 70 Prozent bessere CO<sub>2</sub>-Bilanz im Vergleich zu herkömmlichen Diesel-Pkw pro Fahrzeug auf. Die Entwicklung der neuen Technologie, die vom „Nationalen Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP)“ des Bundeswirtschaftsministeriums gefördert wird, legt somit den Grundstein für eine nachhaltige Mobilität.

Nachhaltigkeit vom TÜV kontrolliert

Und um zu garantieren, dass die neue Technik auch wirklich einen Gewinn für die Umwelt darstellt, hat Linde die CO<sub>2</sub>-Bilanz für den gesamten Produktionsprozess vom TÜV SÜD analysieren lassen. Sämtliche Emissionsverursacher fließen in diese Rechnung mit ein – von der Anlieferung des Glycerins nach Leuna bis zum Stromverbrauch für die Beleuchtung der Pilotanlage. „Durch bessere Nutzung der

VOM RAPSFELD INS H<sub>2</sub>-AUTO



Abwärme im kommerziellen Produktionsmaßstab lässt sich künftig noch mehr Energie einsparen“, sagt Mostertz. Im besten Fall können die Ingenieure so die gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen der H<sub>2</sub>-Herstellung um 80 Prozent reduzieren.

In Berlin können Autofahrer den grünen Wasserstoff bald tanken: Im Juni 2011 eröffnete Shell seine erste – von Linde errichtete – Wasserstoff-Tankstelle in Deutschland und wird als erste Zapfstation den zertifizierten grünen Kraftstoff anbieten. Die Anlage hat eine Kapazität zur Betankung von rund 250 Wasserstoff-Fahrzeugen am Tag. „Wir sind stolz, an der Erforschung und Entwicklung von Wasserstoff-Technologien im Mobilitätssektor aktiv mitzuwirken. Wasserstoff kann als Kraftstoff langfristig zur Senkung der Emissionen im Straßenverkehr beitragen“, sagte Dr. Peter Blauwhoff, Vorsitzender der Geschäftsführung der Deutsche Shell Holding anlässlich der Eröffnung in Berlin. Und weitere Tankstellen sollen bald folgen. „Damit Wasserstoff eine größere Rolle spielen kann, benötigen wir eine entsprechende Anzahl an Wasserstoff-Fahrzeugen. Die Industrie hat bereits große Fortschritte gemacht“, so Blauwhoff weiter. Kraftstofflieferanten, Autobauer, Ausrüstungshersteller und Politik sollten intensiv zusammenarbeiten, um die Kosten zu senken und das wirtschaftliche Potenzial von Wasserstoff zu erschließen. Der fran-

## H<sub>2</sub> IN BERLIN: ERSTE TANKSTELLE FÜR GRÜNEN WASSERSTOFF.

zösische Konzern Total betreibt in Deutschland bereits drei öffentliche Wasserstoff-Tankstellen und arbeitet an mehreren Projekten für weitere Standorte. „Aber Wasserstoff eignet sich nicht nur als Treibstoff, man kann H<sub>2</sub> auch sehr gut nutzen, um den stark schwankenden Anteil elektrischer Energie aus erneuerbaren Quellen wie Wind- und Solarkraft zwischenzuspeichern – und dann abzurufen, wenn er gebraucht wird“, sagt Total-Kraftstoffexperte Dr. Ralf Stöckel, Leiter Nachhaltige Entwicklung und Neue Energien.

Um die notwendige H<sub>2</sub>-Infrastruktur voranzutreiben, engagieren sich Linde, Shell, Total und weitere Unternehmen in der „Clean Energy Partnership“ (CEP). Gemeinsam demonstrieren die Firmen die Alltagstauglichkeit von Wasserstoff als Kraftstoff und bauen ein Netz an H<sub>2</sub>-Tankstellen auf. Und die Stadt Hamburg zeigt bereits, wie Wasserstoff den Straßenverkehr umweltfreundlich macht: In der Hansestadt fahren seit Sommer 2011 vier Brennstoffzellen-Hybridbusse im Linienverkehr und 2012

*Wasserstoffströme im Visier:  
Linde-Verfahrenstechniker Gerrit Spremberg kontrolliert  
das Leitungssystem der Pilotanlage. Die Glycerin-  
Reinigungsanlage befindet sich links im Hintergrund.*



Ausgangsstoff für grünen Wasserstoff ist Rohglycerin. Es entsteht bei der Biodieselproduktion aus Raps. Nach der Reinigung wird das Glycerin im Pyrolysereaktor und Dampfreformer in wasserstoffreiches Synthesegas umgesetzt. Die anschließende CO-Shift-Reaktion erhöht den H<sub>2</sub>-Anteil im Gasgemisch. Weitere Reinigungsschritte bereiten den Wasserstoff auf, bis er die gewünschte Qualität besitzt, um Brennstoffzellenautos und -busse anzutreiben.





## AUSBAU DES TANKSTELLENNETZES FÜR H<sub>2</sub>-VERSORGUNG

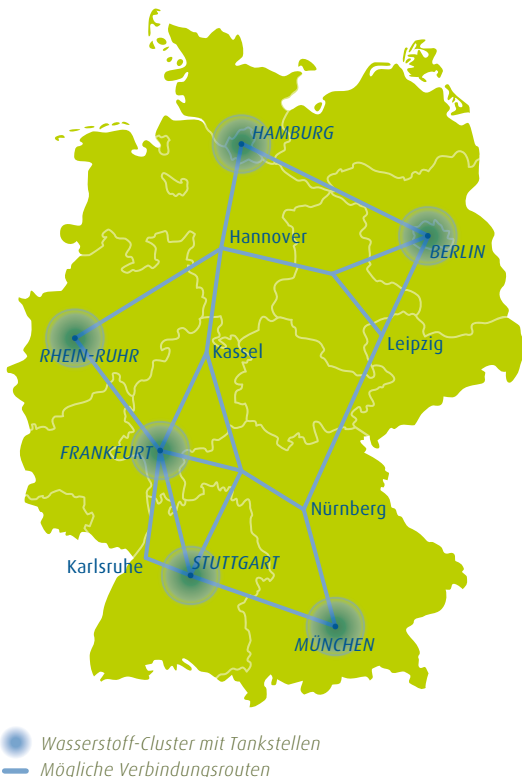
### MOBIL MIT WASSERSTOFF

Die Brennstoffzelle bringt auch die Elektromobilität voran. Neben der Entwicklung innovativer Produktions- und Speichertechnologien für Wasserstoff verfolgen führende Industrieunternehmen auch den Ausbau der Infrastruktur für wasserstoffbetriebene Brennstoffzellenfahrzeuge: Zusammen mit Daimler will Linde in den kommenden drei Jahren 20 zusätzliche Wasserstoff-Tankstellen in Deutschland errichten und damit die Versorgung der stetig wachsenden Anzahl von Brennstoffzellenfahrzeugen mit ausschließlich regenerativ erzeugtem Wasserstoff

sicherstellen. Das Projekt bildet einen Brückenschlag zu den bestehenden Infrastrukturprojekten H<sub>2</sub>-Mobility und Clean Energy Partnership, die über das Nationale Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP) gefördert werden. Durch die Initiative von Linde und Daimler, die mit Investitionen in zweistelliger Millionenhöhe verbunden ist, wird sich die Zahl der öffentlichen Wasserstoff-Tankstellen in Deutschland mehr als verdreifachen. Die neuen Tankstationen sollen in den bestehenden Wasserstoff-Regionen Stuttgart, Berlin und Hamburg

sowie entlang einer neuen durchgängigen Nord-Süd- und Ost-West-Verbindung entstehen (Grafik unten). Ziel ist es, verkehrstechnisch günstig gelegene, bestehende Standorte unterschiedlicher Mineralölfirmen zu nutzen. Damit werden erstmals alle Orte in Deutschland mit einem Brennstoffzellenfahrzeug erreichbar sein. „Zusammen mit dem grünen Wasserstoff aus Leuna ist das ein wegweisendes Betankungskonzept für die nachhaltige Mobilität“, sagt Olaf Reckenhofer, Geschäftsführer der Linde Gases Division für Deutschland, Österreich und die Schweiz.

### WACHSENDE H<sub>2</sub>-INFRASTRUKTUR



soll die Flotte um drei weitere Busse wachsen. In großen Fahrzeugen, die täglich viele Kilometer fahren, lohnt sich Wasserstoff besonders. Denn gerade Busse stoßen im „Stop-and-go“ des Stadtverkehrs besonders viel CO<sub>2</sub> aus.

### H<sub>2</sub>-Serienfahrzeug ab 2014 auf dem Markt

„Wasserstoff ist heute das bessere Öl“, schwärmte denn auch Dieter Zetsche, Vorstandsvorsitzender der Daimler AG, bei der Internationalen Automobil-Ausstellung (IAA) 2011. Bei dem schwäbischen Autobauer soll schon 2014 – ein Jahr früher als geplant – das erste Serienfahrzeug mit Brennstoffzellenantrieb vom Band rollen. Und obwohl zahlreiche Hersteller auf der Autoleitmesse batterieelektrische Fahrzeuge zeigten, ist man sich in Branchenkreisen nicht sicher, welche Antriebstechnik sich letztlich durchsetzt. Viele Autobauer fahren deshalb mehrgleisig: Batterie-E-Car und H<sub>2</sub>-/Brennstoffzellenauto. Für kurze Fahrten in der Stadt eignen sich kleine Autos mit Akku. Lange Strecken fahren die Brennstoffzellenautos. Denn im Gegensatz zum Elektroauto mit Batterie hat der Wasserstoffantrieb mit Brennstoffzelle kein Reichweitenproblem. Und auch das H<sub>2</sub>-Tanken geht mit circa drei Minuten ähnlich schnell wie bei Benziner oder Diesel. Derzeit schafft ein Wasserstoffauto mit einer Tankladung schon mehr als 400 Kilometer. Das Mercedes Konzeptfahrzeug F125 – auf der IAA präsentiert – verfügt zusätzlich zur Brennstoffzelle über Lithium-Ionen-Batterien und soll sogar bis zu 1.000 Kilometer fahren können – Serienstart: 2025.

Um dann im großen Stil die Fahrzeuge effizient mit grünem Wasserstoff versorgen zu können, müssen die Mengen des Energieträgers aber noch enorm gesteigert werden. „Die Wirtschaftlichkeit unseres Verfahrens ist in greifbarer Nähe“, sagt Mostertz. Um ihr noch näher zu kommen, bedürfe es jedoch größerer Anlagen als die Pilotan-



*H<sub>2</sub>-Zapfsäule am Berliner Sachsendamm: Das Tanken von Wasserstoff dauert inzwischen nur wenige Minuten – und unterscheidet sich kaum vom Tanken flüssiger Kraftstoffe.*

lage in Leuna. „Für eine ökonomisch tragfähige Produktion muss der Wasserstoff-Ausstoß der Anlage noch mindestens um den Faktor 60 steigen“, so der Linde-Experte. Jetzt geht es also in erster Linie darum, die Technik weiter zu verfeinern, um ihren Einsatz noch kostengünstiger zu machen.

#### NATÜRLICHE BRENNSTOFFZELLE

Nicht nur die Menschen nutzen Wasserstoff, um Energie zu gewinnen. Forscher des Max-Planck-Instituts für marine Mikrobiologie und der Universität Bremen haben in der Tiefsee Bakterien entdeckt, die wie eine Brennstoffzelle H<sub>2</sub> oxidieren, um Energie und Nahrung zu gewinnen. Der Wasserstoff gelangt über so genannte schwarze Raucher in der Tiefsee ins Meer. Diese heißen Quellen entstehen in Grenzgebieten, in denen Erdplatten aufeinanderstoßen. Das Seewasser kommt dort mit heißem Magma in der Erdkruste in Kontakt, heizt sich auf und spült Nährstoffe ins Meer. Da in die Tiefsee kein Sonnenlicht dringt, müssen Organismen auf andere Energiequellen ausweichen. Die „bakteriellen Brennstoffzellen“ sind die Grundlage für ein eigenes Ökosystem in der Nähe der schwarzen Raucher.

#### Die Zukunft etwas grüner machen

Und bei Glycerin als umweltfreundlichem Rohstoff für die H<sub>2</sub>-Produktion allein soll es auch nicht bleiben. Die Linde-Entwickler forschen deshalb bereits an der Feststoffvergasung von Biomasse und der Elektrolyse von Wasser mit überschüssigem Strom aus erneuerbaren Energien. „Erdöl dominiert als Energierohstoff die Wirtschaft und den Straßenverkehr. Im Gegensatz dazu gibt es künftig nicht nur einen Rohstoff, sondern viele verschiedene Herstellungswege für Wasserstoff“, sagt Innovationsmanager Mostertz.

Die neuen Technologien arbeiten vor allem nicht mehr in den großen Maßstäben wie heutige Erdölraffinerien, sondern erzeugen den Wasserstoff dezentral an dem Ort, an dem ein Rohstoff verfügbar ist. „Es wäre Energieverschwendung, Glycerin von verschiedenen Biodieseleraffinerien über hunderte Kilometer zur H<sub>2</sub>-Produktion zu transportieren“, sagt Mostertz.

Und die Linde-Ingenieure entwickeln die grüne Zukunft bereits weiter: Sie planen derzeit die industrielle Produktion von grünem Wasserstoff mit einer Kapazität von 500 Kubikmetern pro Stunde. Linde-Ingenieur Spremberg ist von der Bedeutung der Technologie für die umweltfreundliche H<sub>2</sub>-Gewinnung überzeugt: „Wir haben jetzt die Chance, die Zukunft der Energieversorgung mitzugestalten – und die Welt ein bisschen grüner zu machen.“

LINK:

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

Algenöl: CO<sub>2</sub>-Technologie für die nachhaltige Rohstoffproduktion

# GRÜNES GOLD AUS DER WÜSTE

Erdöl wird knapp und die CO<sub>2</sub>-Emissionen müssen sinken. Künftig sollen Algen dabei helfen. Als hocheffiziente Kohlendioxidverwerter können sie das Klimagas sogar in wertvolles Bioöl umwandeln. Raffinerien können diesen Rohstoff genauso verarbeiten wie Erdöl. Linde entwickelt gemeinsam mit Sapphire Energy CO<sub>2</sub>-Versorgungstechnologien für künftige Algenfarmen.

In New Mexico arbeiten wahre Turbochemiker. Wofür die Natur üblicherweise Jahrmillionen braucht, das erledigen Algen in wenigen Wochen: Sie produzieren Öl. „Green Crude“ nennen es die Algenexperten. Das Kohlenwasserstoffgemisch kann Erdöl problemlos ersetzen, denn es beinhaltet den gleichen Typ von Molekülen. Anstatt zu warten, bis sich tote Zellen auf dem Meeresboden ablagern, langsam von kilometerdicken Schlammsschichten unter enormen Druck bedeckt werden und hohe Temperaturen in der Tiefe die Biomasse in ein zähflüssiges Kohlenwasserstoff-Gemisch verwandeln, setzen die Forscher des Unternehmens Sapphire Energy auf Algen als Schnell-

lieferanten für ihren grünen Energierohstoff: Genau vierzehn Tage braucht die Sapphire-Pilotanlage in der Nähe der Stadt Las Cruces im US-Staat New Mexico, dann haben die Algen in den flachen Salzwasserbecken genügend feinstes Rohöl in ihren Zellen angesammelt. „Die Raffinerien können es genau wie Erdöl weiterverarbeiten“, sagt Cynthia Warner, Präsidentin von Sapphire. Selbst der energiereiche Flugzeugsprit Kerosin, der bislang nicht auf Biobasis erhältlich war, lässt sich aus Algenöl produzieren. „Das ‚Green Crude‘ passt optimal zur bereits bestehenden Infrastruktur und bietet deshalb ein unglaubliches Potenzial als umweltfreundlicher Rohstoff für die Industrie“, sagt Dr. Mathias Mostertz, Leiter des Clean Energy Technology Biomass Program beim Linde Innovationsmanagement. Bislang bildet Erdöl die Basis für Treibstoffe wie Diesel, Benzin oder Kerosin. Zudem ist es Grundlage für wichtige Basischemikalien, die in verschiedenen Industriezweigen benötigt werden, um beispielsweise Kunststoffe wie Polyethylen, Polyester oder Polyurethane herzustellen. Erdölprodukte sind aus dem modernen Alltag kaum wegzudenken.

Das Ziel der Linde-Ingenieure und der Algenexperten von Sapphire Energy ist es, grünes Rohöl zu produzieren. „Wir haben einen Kooperationsvertrag geschlossen und arbeiten seit Mai 2011 gemeinsam daran, die Algentechnologie zur Marktreife zu bringen“, so Mostertz. Die Aufgabe von Linde besteht darin, die winzigen Algen mit Kraftfutter zu versorgen – dem Gas Kohlendioxid. Die Bewohner der offenen, 20 Zentimeter tiefen Salzwasserbecken in der Chihuahua-Wüste von New Mexico sind mikroskopisch kleine Einzeller: Grün- und Blaualgen. Diese einfachen Organismen nutzen die Energie des Sonnenlichtes, um Kohlendioxid per Photosynthese in die gewünschten Kohlenwasserstoffe umzuwandeln. Um ein Barrel

## NEUE MÄRKTE FÜR KOHLENDIOXID

Biotreibstoffe aus Algen haben Experten zufolge das größte Potenzial, fossile Rohstoffe in Zukunft zu ersetzen: Die Mikroorganismen wachsen auf relativ kleinen Flächen und können riesige Erträge liefern. Die Versorgung kommerzieller Algenfarmen mit CO<sub>2</sub> gilt als großer Zukunftsmarkt. Linde arbeitet mit führenden Algenunternehmen zusammen, um die Technologien weiter voranzutreiben. Die Aufgabe der Linde-Experten besteht darin, die optimale Infrastruktur für die CO<sub>2</sub>-Versorgung zu entwickeln. Neben dem Unternehmen Sapphire Energy kooperiert Linde auch mit der Firma Algenol Biofuels. Das Unternehmen setzt auf die Produktion von Bioethanol in geschlossenen Photobioreaktoren (siehe Linde Technology 1/2010).





*Bioöl-Spezialisten unter sich:  
Verschiedene Algenstämme wachsen  
unter künstlichem Sonnenlicht.  
In ihren Zellen bilden sie feinstes Rohöl  
für die Biokraftstoff-Produktion.*

grünes Rohöl herzustellen (1 Barrel = 159 Liter), brauchen sie etwa 600 Kilogramm CO<sub>2</sub>. „Die Photosyntheseleistung von Algen ist besonders hoch, so dass sie sehr schnell wachsen“, sagt Michael Mendez, einer der Gründer von Sapphire Energy. Deswegen liefern die Einzeller verglichen mit anderen Energiepflanzen wie Soja oder Mais etwa 100-mal mehr Biomasse-Ertrag pro Fläche. Ein weiterer Vorteil: Die Algen stehen nicht in Konkurrenz zu Nahrungsmitteln, und ihr Anbau verbraucht kein fruchtbares Ackerland oder Süßwasser.

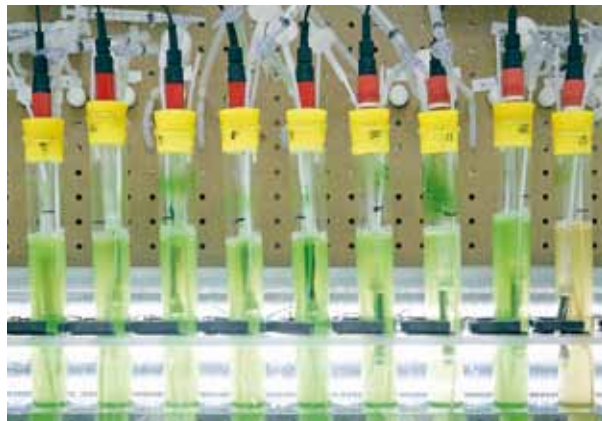
Noch optimieren die Biologen des Algenunternehmens die Eigenschaften ihrer Stämme: Die Mikroorganismen sollen sich schnell vermehren und gleichzeitig reichlich Ölvorräte in ihren Zellen speichern. Derzeit besteht etwa die Hälfte der geernteten Algen-Biomasse aus Öl – ein Wert, den Sapphire noch steigern möchte: Bis 2018 will das Unternehmen die kommerzielle Produktion aufnehmen und dann bis zu 10.000 Barrel „Green Crude“ pro Tag produzieren. Eine große Herausforderung: Denn bislang stammt das Kohlendioxid, das auch der Getränke- und Kühlmittelmarkt verwendet, aus natürlichen Quellen im Erdboden und wird in flüssiger Form per Lkw zum Kunden transportiert. Eine kommerzielle Anlage wie die geplante

Algenfarm von Sapphire braucht allein bis zu 10.000 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Tag, das entspricht einem Drittel der in den USA täglich gehandelten Gesamtmenge. „Mit der bestehenden Infrastruktur ist das nicht realisierbar. Wir brauchen neue Technologien“, so Mostertz.

### Kohlendioxid-Quelle: Abgase aus der Industrie

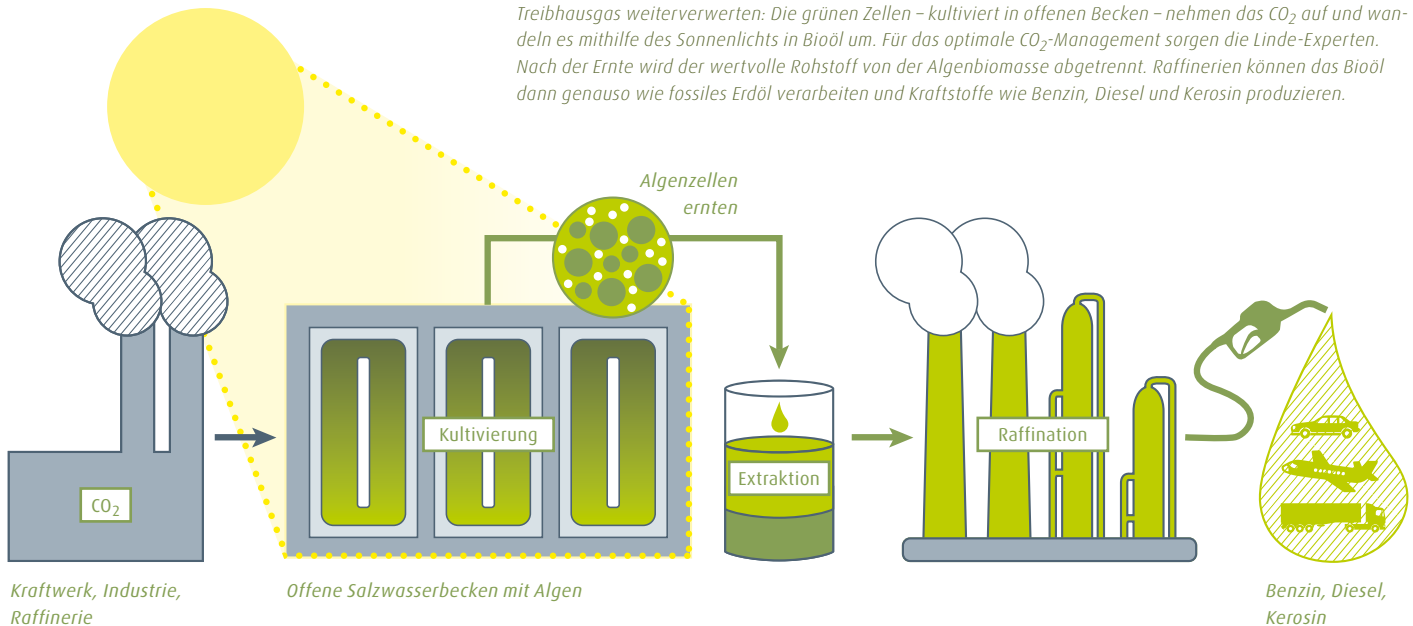
Aber letztlich darf das Algenöl auch nicht teurer werden als fossiles Rohöl. Dabei ist das CO<sub>2</sub>-Futter ein wichtiger Kostenfaktor. „Das benötigte Kohlendioxid macht derzeit fast ein Drittel des Preises aus“, sagt Mostertz. Bislang ist der CO<sub>2</sub>-Markt verglichen mit dem für andere Gase wie Sauerstoff oder Stickstoff relativ klein. Das soll sich ändern. Mostertz und ein Linde-Team aus erfahrenen CO<sub>2</sub>-Managern wollen jetzt kostengünstige und gleichzeitig klima- sowie umweltfreundliche Lösungen entwickeln. Schließlich entweicht Kohlendioxid dort in die Atmosphäre, wo Kohle, Erdgas oder Erdöl verbrannt werden – und gilt deshalb als Klimasünder schlechthin. Wenn das Treibhausgas durch die Algen erneut in Öl verwandelt wird, könnte das die CO<sub>2</sub>-Emissionen um bis zu 80 Prozent senken – verglichen mit fossilen Treibstoffen. Die Linde-Ingenieure haben bereits viel Erfahrung gesammelt, indus-

*Grüne Vielfalt im Labor: Die Forscher von Sapphire Energy entwickeln täglich neue Algenstämme (links). Nach verschiedenen Testdurchläufen im Labor (rechts, oben) werden aussichtsreiche Kandidaten in speziellen Kunststoffbeuteln im Gewächshaus kultiviert (rechts, unten).*



## WIE SICH CO<sub>2</sub> IN ALGENÖL VERWANDELT

Bei vielen industriellen Prozessen entsteht Kohlendioxid. Die Algenfarmen von Sapphire Energy können das Treibhausgas weiterverwerten: Die grünen Zellen – kultiviert in offenen Becken – nehmen das CO<sub>2</sub> auf und wandeln es mithilfe des Sonnenlichts in Bioöl um. Für das optimale CO<sub>2</sub>-Management sorgen die Linde-Experten. Nach der Ernte wird der wertvolle Rohstoff von der Algenbiomasse abgetrennt. Raffinerien können das Bioöl dann genauso wie fossiles Erdöl verarbeiten und Kraftstoffe wie Benzin, Diesel und Kerosin produzieren.



trielle CO<sub>2</sub>-Abgase sinnvoll zu nutzen: In den Niederlanden versorgt der Gasespezialist hunderte von Gewächshäusern in der Nähe von Amsterdam mit Kohlendioxid aus einer Raffinerie. Auf die Pflanzen in den Gewächshäusern wirkt das zusätzliche CO<sub>2</sub> wie Dünger und lässt auch Rasen schneller grünen. Für die Algenöl-Produktion kommen Abgase von Kraftwerken, Raffinerien und Industrieanlagen ebenfalls als Kohlendioxid-Quelle in Frage. „So genannte Carbon-Capture-Technologien, die das CO<sub>2</sub> von den Abgasen abtrennen, stecken allerdings noch in den Kinderschuhen“, sagt Mostertz. Daher sucht er mit seinen Kollegen nach weiteren Methoden, um das gasförmige Kraftfutter kostengünstig einzufangen. Auch den wirtschaftlichen Transport von der Industrieanlage bis zur Algenfarm müssen die Linde-Experten im Blick haben: Vom geeigneten Werkstoff für die Pipelines bis hin zu den Kompressoren, die das Gas vor dem Transport auf einen Druck von nur wenigen Bar verdichten, damit es intensiv durch die Salzwasserbecken sprudeln kann.

Aber auch neue technische Entwicklungen sind nötig. Beispielsweise müssen die Linde-Ingenieure die CO<sub>2</sub>-Lieferung bestmöglich an den Lebensrhythmus der Algen anpassen: Denn die grünen Einzeller können das Kohlendioxid nur tagsüber verwerten, wenn die Sonne scheint. Kraftwerke arbeiten jedoch rund um die Uhr. „Man braucht also entweder Speicherlösungen, oder man muss die Kulturlösung über chemische Zusätze entsprechend abpuffern, damit wir nicht

von tageszeitlichen Schwankungen abhängig sind“, erklärt Mostertz. Wenn die Algenproduktion richtig in Schwung kommt, könnte sich die Chihuahua-Wüste in ein grünes Vorzeigeprojekt verwandeln. „Wollen wir den heutigen Energiemix entscheidend verändern, müssen wir eine Million Barrel am Tag produzieren“, sagt Jason Pyle, der


Vorstandsvorsitzende von Sapphire Energy. Der Plan ist ehrgeizig, doch er könnte aufgehen. Je schwieriger es wird, die fossilen Ölvorräte aus der Erde zu holen, desto attraktiver wird das grüne Algenöl. Genau wie Erdöl lässt es sich als Rohstoff für „grüne“ Autositze, Schuhe, Kunststoffverpackungen und Dämmstoffe im Hausbau verwenden. „Green Crude“ könnte sogar helfen,

die Luftfahrt zu revolutionieren: Bereits im Jahr 2008 hat Sapphire erfolgreich ein 91-Oktan-Benzin aus Algen produziert. Ein Jahr später beteiligten sich die Biosprit-Experten aus New Mexico an einem Testflug mit algenbasiertem Flugbenzin in einer Boeing 737-800. Mit der Kombination von Vision und Technologie will Sapphire einen grünen Energiemix erreichen und den Ausstoß von Klimagasen reduzieren – und die CO<sub>2</sub>-Manager von Linde helfen dabei.

**KLIMARETTER:  
ALGENFARMEN VER-  
WERTEN TÄGLICH  
10.000 TONNEN CO<sub>2</sub>.**

LINK:

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



*Verborgene Schätze: Die Strohschnipsel  
enthalten wertvolle Zuckerverbindungen.  
In Bi Raffinerien sollen sie sich in  
nutzbare Chemiebausteine verwandeln.*

*Leuna: Linde und Fraunhofer-Gesellschaft treiben Bioökonomie voran*

# DIE CHEMIE WIRD BIOLOGISCH

Die chemische Industrie ist noch weitgehend abhängig vom Erdöl. Eine Alternative zur fossilen Ressource sind nachwachsende Rohstoffe. Forscher der Fraunhofer-Gesellschaft bauen mit Unterstützung durch Linde Engineering Dresden als Generalunternehmer das Chemisch-Biotechnologische Prozesszentrum in Leuna auf – mit dem Ziel: Verfahren auf Biomasse-Basis schneller den Weg vom Labor in die Industrieproduktion zu ermöglichen.

Bildquelle: Fraunhofer-Gesellschaft  
Autorin: Caroline Zörlein

Ohne Erdöl steht alles still: Der wichtigste Rohstoff der Weltwirtschaft bedeutet Wohlstand und Fortschritt. Er treibt Autos, Flugzeuge und Schiffe an und ist Basis für die Produktion chemischer Grundstoffe, Kunststoffe, Farben und vieler anderer Produkte des täglichen Lebens. Was die fossile Ressource so attraktiv macht: Sie enthält viel Kohlenstoff – abgekürzt mit dem Symbol C. Das Element ist der wichtigste Baustein für die chemische Industrie, nahezu alle chemischen Verbindungen bauen darauf auf. Mit keinem anderen Chemiebaustein lassen sich so vielfältige Molekül-Architekturen herstellen: von endlos langen Ketten über Ringe bis zu 3D-Netzwerken. Kohlenstoff ist deshalb für die Industrieproduktion unverzichtbar. Und im Erdöl ist er mit 85 bis 90 Prozent reichlich vorhanden. „Der Chemiebaustein steckt aber auch in natürlichen Rohstoffen“, sagt Prof. Dr. Thomas Hirth, Leiter des Fraunhofer-Instituts für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik (IGB) in Stuttgart. Pflanzenöle und -fette bestehen zu etwa 76 Prozent aus Kohlenstoff. Und Lignocellulose – der Hauptbestandteil von Holz – kann immerhin mit 50 Prozent aufwarten.

„Die Industrie muss jetzt lernen, das Kohlenstoffreservoir der Natur noch besser zu nutzen“, erklärt der Chemiker. Denn eines steht fest: Die Zeit des schwarzen Goldes geht irgendwann zu Ende.

Für viele Produkte liefern die Pflanzenrohstoffe bereits passende Bausteine und Strukturen: Fasern dienen als Basis für Textilien oder als Grundstoff für Dämmmaterialien oder Verpackungen. Pflanzen-

öle lassen sich zu Tensiden für Waschmittel verarbeiten. Mais- oder Kartoffelstärke finden sich nicht nur in biologisch abbaubaren Werkstoffen zum Beispiel für Joghurtbecher wieder, sondern auch in Bindemitteln und Klebstoffen. Derzeit liegt der Anteil an nachwachsenden Rohstoffen, kurz Nawaro, in der chemischen Industrie nur bei etwa 13 Prozent. „Doch der Anteil der Biomasse am Rohstoffmix der chemischen Industrie muss weiter steigen: Heute arbeiten fast alle Unternehmen daran, ihre Produktion noch stärker auf Nawaro auszurichten“, erklärt Uwe Welteroth, Bereichsleiter Biotechnologie-Anlagen bei der Linde Engineering Dresden GmbH. „Biotechnologische Prozesse spielen bei der Aufbereitung und Konversion von Biomasse zu chemischen Produkten eine Schlüsselrolle“, so der Ingenieur.

Bei der industriellen Biotechnologie – oft auch „weiße Biotechnologie“ genannt – übernehmen Mikroorganismen wie Bakterien, Pilze oder auch spezielle Enzyme die Regie: Sie können die pflanzlichen Rohstoffe wie Cellulose, Stärke, Öl oder Zucker besonders effizient in kleinere Einheiten aufspalten oder aus ihnen neue, komplexere Mole-

küle erzeugen. Die winzigen Chemiefabriken und molekularen Werkzeuge aus der Natur produzieren beispielsweise Milchsäure, Aminosäuren oder Alkohole. Diese so genannten Plattformchemikalien können dann von der chemischen Industrie zu Kunststoffen und anderen chemischen Produkten weiterverarbeitet werden. Immer stärker kommt es dabei auch zu einer Verzahnung von biotechnologischen mit physi-

**BIOTECHNOLOGIE:  
DEN KOHLENSTOFF-  
SPEICHER DER  
NATUR INDUSTRIELL  
NUTZEN.**

kalischen, chemischen oder thermischen Verfahren. So kann beispielsweise ein innovativer Prozess zur Erzeugung der Grundchemikalie Ethylen, die unter anderem zur Herstellung von Kunststoffen in großen Mengen weltweit eingesetzt wird, verschiedene Schritte beinhalten: von der thermischen Umwandlung von Nawaro zu Gasen über die biotechnologische Konversion dieser Gase zu flüssigen Alkoholen bis hin zur nachfolgenden katalytischen Umwandlung von Olefinen.

### Biotech-Talentschmiede im Chemiepark

„Aber viele Prozesse, die auf der Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen basieren, bleiben oft im Labor- und Pilotmaßstab stecken und kommen nicht in die industrielle Entwicklung“, sagt Hirth. Aber das wollen die Experten von Fraunhofer jetzt ändern: Im Rahmen einer europaweiten Ausschreibung wurde Linde Engineering Dresden von Fraunhofer ausgewählt, das Chemisch-Biotechnologische Prozesszentrum, kurz CBP, in Leuna zu konzipieren und zu bauen. Damit sollen vor allem kleine und mittelständische Unternehmen unterstützt werden, ihre Biotech-Verfahren vom Labor in den Großmaßstab zu übertragen. Aber auch große Unternehmen werden von den im CBP vorhandenen Anlagen profitieren. Denn: „Viele Firmen können die für eine Skalierung von Verfahren erforderlichen, beträchtlichen finanziellen und technischen Mittel

## BIOÖKONOMIE UND NACHHALTIGE PRODUKTION STÄRKEN.

nicht allein aus eigener Kraft erfüllen“, sagt Dr. Markus Wolperdinger, Leiter Business Development Biotechnologie-Anlagen bei Linde Engineering Dresden. Scale-up und Prozessentwicklung sind deshalb die Hauptziele des CBP. „Dort können die chemisch-biotechnologischen Verfahren und Anlagenmodule zur Nutzung und Verwertung nachwachsender Rohstoffe entwickelt und optimiert werden. Als ‚grüne Produktionseinheiten‘ lassen sie sich dann direkt in bereits bestehende Erdölraffinerien integrieren“, so Hirth.

So sollen Stoffströme, die heute noch vollständig auf fossilen Ressourcen basieren, Schritt für Schritt durch biogene Ströme ersetzt werden. Der Vorteil dieses Ansatzes: „Das CBP in Leuna befindet sich inmitten eines etablierten Chemie-Clusters und hat so einen direkten Bezug zur Industrie und ihrer Produktvielfalt“, erklärt Linde-Experte Wolperdinger.

Gute Voraussetzungen also, dass die Transformation zu einem integrierten Standort gelingt, der sowohl fossile als auch nachwachsende Rohstoffe verarbeiten kann. Hirth: „Das ist ein wichtiger Schritt hin zu einer Bioökonomie und einer nachhaltigen Produktion. Das CBP ist sozusagen eine Keimzelle für die Bioökonomie.“ Weil das Zentrum zudem in das deutsche Forschungs- und Wissenschaftsnetzwerk eingebunden ist, erwartet man auch eine starke überregionale Magnetwirkung.

Das Projekt wird von den Fraunhofer-Instituten IGB (Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik) und ICT (Institut für Chemische Technologie) koordiniert. Linde Engineering Dresden übernimmt als Generalunternehmer das Engineering der verschiedenen verfahrenstechnischen Einheiten. „Um alle Bestandteile pflanzlicher Biomasse optimal zu nutzen, ist das Ziel eine kaskadenartige, stofflich-energetische Verwertung – nach dem Prinzip einer Bioraffinerie“, erklärt Weltheroth. Dazu werden fünf Prozessanlagen zur Entwicklung und Skalierung von Verfahren der industriellen Biotechnologie entstehen, also eine optimale Infrastruktur mit Technikums- und Miniplant-Anlagen. „Damit das gesamte System effizient und ökonomisch arbeitet, müssen die einzelnen Anlagen-Einheiten ineinander greifen, so dass Stoff- und Energieströme bestmöglich genutzt werden“, ergänzt Wolperdinger. Die Experten von Linde Engineering Dresden sind außerdem als Forschungspartner an Projekten des CBP beteiligt: Sie bearbeiten Themen wie die Nutzung von technischen Gasen (beispielsweise Wasserstoff) in Raffinerien und die Anlagenentwicklung zur Produktion von Bioethylen über innovative Konversionsverfahren aus Biomasse.

*Nützlicher Algenteeppich: Die kultivierten Mikroalgen produzieren Chemiebausteine für Arzneimittel, Kraftstoffe und Lebensmittel.*

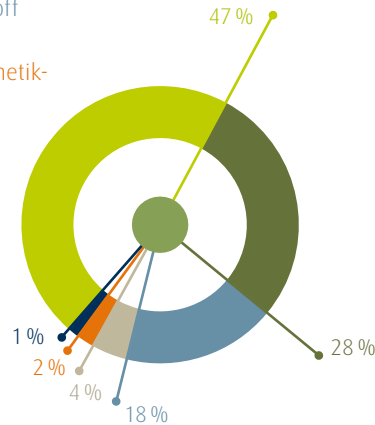


### Stroh, Holz und Abfälle effizient verwerten

Offizieller Startschuss für den Bau des CBP Leuna war Ende 2010. Erste Projekte mit Beteiligung von Großunternehmen, kleinen und mittelständischen Partnern, Universitäten und außeruniversitären Forschungseinrichtungen liefen aber bereits im Jahr 2009 an. Derzeit haben mehr als 20 Industrieunternehmen und 15 Universitäten und Forschungseinrichtungen ihre Beteiligung an Projekten zugesagt oder sind bereits aktiv daran beteiligt. Die Fäden für das CBP haben das Team um Hirth und seine Projektpartner schon vor gut vier Jahren aufgenommen: „Wir haben alle relevanten Akteure aus Industrie, Wissenschaft und Politik von Anfang an eingebunden, so dass wir bereits Forschungsarbeiten beginnen konnten, bevor das eigentliche Gebäude steht“, erinnert sich Hirth. Ein wichtiges CBP-Pro-

## WO BIOMASSE\* BEREITETS EINGESETZT WIRD

- Chemische Industrie
- Oleochemie
- Papier- und Zellstoff
- Textilindustrie
- Pharma- und Kosmetikindustrie
- Andere



\* Ohne Holz

Quelle: Nova-Institut

jekt befasst sich mit Lignocellulose, dem Hauptbestandteil von Holz. Schon seit ein paar Jahren arbeiten die Wissenschaftler am Fraunhofer IGB im Labor daran, diesen Rohstoff nicht nur thermisch zu verwerten, sondern seine Inhaltsstoffe über geeignete Aufschluss- und Trennverfahren vollständig nutzbar zu machen. Dafür gab es bis heute weder einen technischen Prozess noch ein integriertes Anlagenkonzept. Wenn das CBP im Sommer 2012 bezugsfertig ist, wollen die Biotech-Experten dort ein nachhaltiges Verfahren im Demonstrationsmaßstab etablieren, damit biobasierte Synthesebausteine und Polymere künftig auch aus Holz industriell hergestellt werden können. Besonders für die Verwertung von biogenen Abfallstoffen sollen Prozesse zur Industriereife gebracht werden: Auf einer Fläche von mehr als 2.000 Quadratmetern bieten dann Anlagen, Technika, Labore, Büros und Lagerräume Platz für die Verfahrensentwicklung rund um die industrielle Biotechnologie. Finanziell unterstützt wird das CBP von mehreren deutschen Ministerien wie BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung), BMELV (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz), BMU (Bundesministerium für Umwelt) und dem Land Sachsen-Anhalt. „Das ist durchaus eine Besonderheit – und auch eine Bestätigung für unser Engagement in Sachen Bioökonomie“, sagt Hirth, der die Idee eines Chemisch-Biotechnologischen Prozessentrums zusammen mit Partnern konsequent bis zur Finanzierung und Realisierung verfolgte. Zentren wie das CBP sind dringend nötig, um die Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen für eine fortschrittliche und nachhaltige Welt weiter zu intensivieren.

LINK:

[www.cbp.fraunhofer.de](http://www.cbp.fraunhofer.de)

## KURZINTERVIEW

## CHEMIEPRODUKTE AUF BASIS NACHWACHSENDER ROHSTOFFE



Linde Technology sprach mit Dr. Gesa Behnken, Innovation Manager bei Bayer MaterialScience im Bereich New Business mit Schwerpunkt nachwachsende Rohstoffe, über grüne Kunststoffe und den Bio-trend in der Chemiebranche.

↳ WELCHE ANFORDERUNGEN WERDEN AN NACHWACHSENDE ROHSTOFFE FÜR DIE INDUSTRIE GESTELLT?

Grundsätzlich ist der Einsatz nachwachsender Rohstoffe sinnvoll, wenn über den ganzen Produktlebenszyklus Energieeinsparungen möglich und Vorteile im Hinblick auf die Nachhaltigkeit gegeben sind. Die technischen Anforderungen an die Rohstoffe richten sich nach den jeweiligen Einsatzgebieten der Endprodukte.

↳ UND WIE STEHT ES MIT DER WIRTSCHAFTLICHKEIT GEGENÜBER DER PETROCHEMIE?

Um Produkte auf Basis nachwachsender Rohstoffe mit gleich guten Eigenschaften wie konventionell hergestellte anbieten zu können, muss noch viel Entwicklungsarbeit geleistet werden, und dies auch über einen längeren Zeitraum. Wenn eine Produktion im Industriemaßstab möglich ist und die Nachfrage entsprechend steigt, könnten auch biobasierte Werkstoffe wirtschaftlich angeboten werden.

↳ WAS SIND DIE GRÖSSTEN HERAUSFORDERUNGEN BEI DER BIOMASSE-UMWANDLUNG ZU GRÜNEN WERKSTOFFEN?

Wir sehen noch große Herausforderungen bei der Verfügbarkeit von Biomasse in Verbindung mit der zugehörigen Logistik. Voraussetzung für einen funktionierenden Markt für Produkte auf Basis von Biomasse wäre außerdem der Aufbau einer neuen, kompletten Wertschöpfungskette, die vom Landwirt bis zum Hersteller der Endprodukte, zum Beispiel dem Hersteller von Sportschuhen, reicht. Ferner müssen neue Produktionsverfahren entwickelt und bis zur Industriereife gebracht werden. Gerade das Up-Scaling von der Laboranlage bis zum großtechnischen Verfahren kann dabei ein entscheidender Schritt sein. Manchmal stellt sich dabei heraus, dass der Übergang zur Industrieproduktion aus technischen oder wirtschaftlichen Gründen nicht möglich ist.

*Prof. Dr.-Ing. Hans-Jörg Bullinger,  
Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft.*

*Essay*

# POTENZIALE DER INDUSTRIELLEN BIOTECHNOLOGIE

Klimawandel, Wasser- und Rohstoffknappheit, Bodendegradation, sinkende Erdölvorräte – der Planet Erde steht vor großen Herausforderungen. Biotechnologische Verfahren zur Nutzung nachwachsender Rohstoffe werden für die Industrie immer wichtiger – denn sie steht vor dem Wandel von der Petrochemie zur Bioraffinerie.



Nachhaltigkeit ist das Gebot der Stunde. Das bedeutet eine radikale Abkehr vom bisherigen Wirtschaften mit immer weiter steigendem Ressourcenverbrauch. Nachwachsende Rohstoffe müssen Stück für Stück den fossilen Rohstoff Erdöl ersetzen. Seit über 100 Jahren ist Erdöl nicht nur der wichtigste Energieträger, sondern auch der am häufigsten verwendete Chemierohstoff. Stetige Verknappung und Preissteigerungen führen aber dazu, dass sich die Wirtschaft zunehmend aus der Abhängigkeit vom Erdöl befreien will. Bei der Energieerzeugung gibt es viele Alternativen, nicht aber bei der chemischen Produktion. Sie ist auf kohlenstoffhaltige Rohstoffe angewiesen. Deshalb bleibt ihr als einzige Alternative zur Petrochemie die Nutzung von Pflanzen als Kohlenstoffquelle.

Nachwachsende Rohstoffe sind im Prinzip ausreichend vorhanden und weltweit auch sehr demokratisch verteilt. Allerdings führt die wachsende Nutzung zu einer massiven Konkurrenz um Anbauflächen zwischen Rohstoff- und Nahrungsmittelherstellern sowie mit

Unternehmen der Bioenergiebranche. Angesichts einer wachsenden Weltbevölkerung sind aber nur jene Techniken zukunftsfähig, die nicht mit der Nahrungsmittelproduktion kollidieren. Der Ausweg aus dem Tank-oder-Teller-Dilemma liegt bei biogenen Reststoffen aus

der Forst- und Agrarwirtschaft wie Holz und Stroh sowie bei effizienten Biomassepflanzen wie China- oder Präriegras und Algen.

In den vergangenen Jahren hat die Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen unter dem Begriff „weiße Biotechnologie“ völlig neue Perspektiven entwickelt. Mit den neuen Techniken der modernen Biotechnologie sollen neue Produktionsverfahren und Produkte wie Basis- und Feinchemikalien, Bio-

kunststoffe, Lebensmittelzusatzstoffe, Agrar- und Pharmamaterialien entwickelt werden. Alle führenden Chemieunternehmen der Welt haben die „weiße Biotechnologie“ als Schlüsseltechnologie für das 21. Jahrhundert auf ihre Agenda gesetzt. Die Chancen sind vielversprechend und der Forschungsbedarf groß. Vorausschauend haben sich

**INDUSTRIE IM  
WANDEL: DIE  
NATUR ALS  
CHEMIEFABRIK.**

schon vor vielen Jahren acht Fraunhofer-Institute unter dem Thema „Industrielle Biotechnologie – Die Natur als chemische Fabrik“ zusammengeschlossen und ihre Kompetenzen systematisch ausgebaut.

Die Ausgangssituation für die Nutzung nachwachsender Rohstoffe ist in Deutschland im Vergleich zu Europa und USA sehr gut. Über zehn Prozent des gesamten Rohstoffeinsatzes bestreitet die chemische Industrie bereits heute durch Biomasse. In erster Linie werden pflanzliche Öle und Kohlenhydrate wie Zucker, Stärke und Cellulose eingesetzt. Neben der stofflichen Verwertung werden nachwachsende Rohstoffe in Europa und den USA vermehrt zur Erzeugung von Biokraftstoffen und Bioenergieträgern eingesetzt. In Europa sollen bis zum Jahr 2020 etwa 20 Prozent aller Kraftstoffe aus biogenen Rohstoffen hergestellt werden. Die USA haben sich zum nationalen Ziel gesetzt, bis zum Jahre 2030 rund zehn Prozent der Öle und Kraftstoffe und 25 Prozent der chemischen Produkte auf eine biologische Rohstoffbasis umzustellen.

### Technisch verwertbare Rohstoffe nutzen

Die Natur bietet ein riesiges, bisher jedoch nur in Ansätzen genutztes Spektrum unterschiedlicher chemischer Verbindungen mit ausichtsreichen Perspektiven für die Chemie-, Pharmazie-, Papier- und Textilindustrie an. Hergestellt werden bereits Produkte wie Polymere, Tenside, Lösungsmittel, Farbstoffe, Geruchsstoffe, Pharmawirkstoffe, Kosmetika, Kraftstoffe, Schmierstoffe und Fasern. Zukunftsaufgabe ist es, die Syntheseleistung der Natur möglichst weitgehend zu nutzen und alle wertvollen Inhaltsstoffe zu gewinnen. So sind beispielsweise auch die holzigen Teile von Pflanzen aus hochwertigen Zuckermolekülen und Polymeren aufgebaut. Lignocellulose bildet das Strukturgerüst von Pflanzenzellen und ist der am häufigsten vorkommende nachwachsende Rohstoff. Lignocellulose macht zwei Drittel der Biomasse aus und besteht im Wesentlichen aus den Zuckern Cellulose und Hemicellulose sowie dem Biopolymer Lignin. Damit ist sie der

## VERBESSERTE STÄRKE DANK GEZIELTER KARTOFFELZUCHT.

ideale Ausgangsstoff für die Herstellung von Plattformchemikalien wie Ethanol, Milchsäure oder Bernsteinsäure, aus denen sich ein Stammbaum wichtiger Industriechemikalien ableiten lässt.

Die Gewinnung von chemischen Grundstoffen ist für die Zukunft der industriellen Biotechnologie von großer Bedeutung. Deshalb haben Fraunhofer-Institute Wege gesucht, um an die wertvollen Stoffe heranzukommen. Lignocellulose hat nämlich eine sehr widerstandsfähige Struktur und kann nur durch neue Methoden in technisch verwertbare Bausteine für chemische Folgeprodukte zerlegt werden. Um die Lücke zwischen Labor und industrieller Anwendung zu schließen, haben die beiden Fraunhofer-Institute für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik (IGB) und Chemische Technologie (ICT) am Chemiestandort Leuna das Chemisch-Biotechnologische Prozesszentrum (CBP) aufgebaut. Ziel ist es, unterschiedliche lignocellulosehaltige Rohstoffe im industriellen Maßstab vollständig stofflich zu konvertieren und zu nutzen. Das reicht bis hin zu einer Lignocellulose-Bioraffinerie. Das einzigartige Forschungszentrum ermöglicht Kooperationspartnern aus Forschung und Industrie die Entwicklung und Skalierung von biotechnologischen und chemischen Prozessen zur Nutzung nachwachsender Rohstoffe.

Ein weiterer wichtiger Forschungsschwerpunkt ist die Verbesserung der Pflanzeigenschaften und deren Vorbereitung auf die stoffliche Nutzung. So hat das Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und Angewandte Ökologie (IME) zum Beispiel eine Kartoffel gezüchtet, die reines Amylopektin produziert, eine Stärke, die in der Papier-, Textil- und Nahrungsmittelindustrie benötigt wird. In einem anderen Projekt wird Kautschuk aus Löwenzahn hergestellt. Das IGB züchtet Mikroalgen in einem Flachplatten-Airlift-Reaktor, um Fettsäuren und Carotinoide zu produzieren. Beide Institute suchen systematisch nach neuen, industriell nutzbaren Mikroorganismen und Enzymen und optimieren sie für hochspezifische Anwendungen.

Und die nächste Generation biotechnologischer Verfahren wird bereits im Labor entwickelt. Sie nennt sich „zellfreie Biotechnologie“, weil sie biochemische und molekularbiologische Prozesse unabhängig von Zellen oder Mikroorganismen nutzt. Mit diesen Verfahren können hochreine Proteine erzeugt werden, so dass die kostenintensive Proteinaufreinigung herkömmlicher Produktionsverfahren entfällt.

Die neuen biotechnologischen Verfahren eröffnen aussichtsreiche Möglichkeiten, die Produktion in der Chemie-, Pharma-, Lebensmittel- oder Kosmetikindustrie ressourcenschonender, effizienter und umweltfreundlicher zu gestalten.

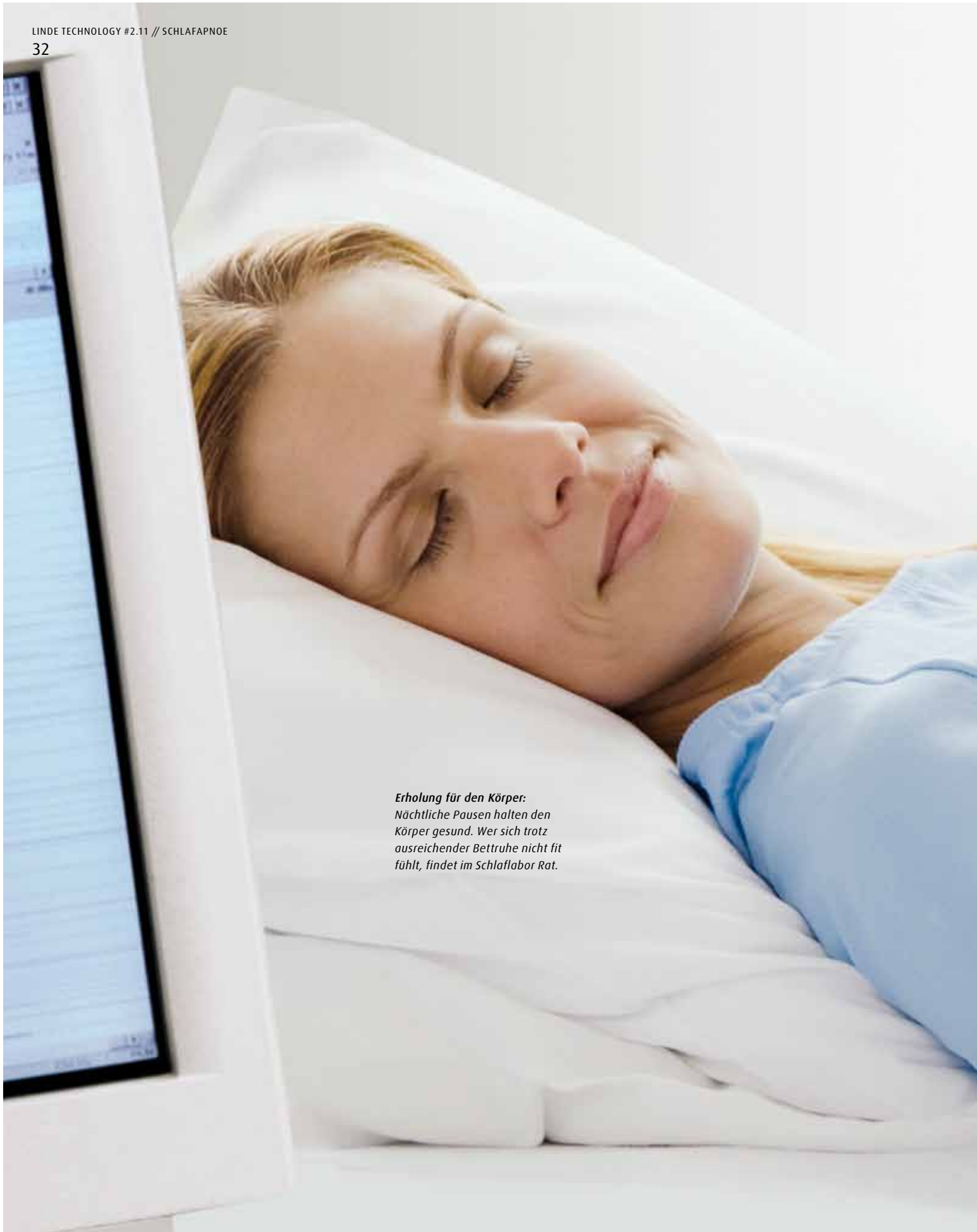
↑ Bildquelle: Fraunhofer-Gesellschaft



*Löwenzahn im Gewächshaus: Aus dem Saft der Pflanze gewinnen Forscher des Fraunhofer-Instituts (IME) Kautschuk.*

LINK:

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



*Erholung für den Körper:  
Nächtliche Pausen halten den  
Körper gesund. Wer sich trotz  
ausreichender Bettruhe nicht fit  
fühlt, findet im Schlaflabor Rat.*

*Weltweiter Rundum-Service LISA™ bietet Hilfe bei Schlafapnoe*

# SCHLAFEN OHNE STRESS

Wer schlecht schläft, startet erschöpft in den Tag. Menschen mit dem obstruktiven Schlafapnoe-Syndrom (OSA-Syndrom) haben nachts regelmäßig Atemaussetzer – mit schwerwiegenden Folgen für die Gesundheit. Das Therapiesystem LISA™ (Leading Independent Sleep Aide) von Linde Healthcare bietet den Betroffenen eine Rundum-Unterstützung von Patientenschulungen über medizinische Geräte bis zu Therapie und Nachkontrolle.

Bildquellen: Corbis, AJ Photo/SPL/Agentur Focus  
Autorin: Clara Steffens

Manchmal schlägt das Gehirn nachts Alarm – zum Beispiel wenn bei Schnarchern ein Atemstopp bedrohlich lange anhält. Dann sendet das Atemzentrum einen Weckruf, weil der Blutsauerstoff im Körper rapide absinkt. Eilig leitet das Kontrollzentrum im Kopf Gegenmaßnahmen ein, beschleunigt den Puls und treibt den Blutdruck nach oben. Bei Erfolg durchbricht ein Röcheln die gefährliche Ruhe und der Schnarcher wird wieder mit ausreichend Sauerstoff versorgt. Die Atemwege sind frei, das rhythmische Schnarchen beginnt von vorne – bis zum nächsten Atemstopp, der den Schlafenden aus dem Takt bringt. In manchen Fällen kommt es bis zu 60 Atempausen pro Stunde.

„Die wiederholt auftretenden Atemaussetzer – auch Apnoen genannt – bedeuten extremen Stress für den Körper“, sagt Prof. Dr. Christian Krüger, Schlafmediziner am Universitären Schlafmedizinischen Zentrum Hamburg. In seine Sprechstunde kommen regelmäßig Patienten, die unter dieser Schlafstörung leiden: dem obstruktiven Schlafapnoe-Syndrom, kurz OSA-Syndrom. Schätzungen aus den USA gehen davon aus, dass vier Prozent der Männer und zwei Prozent der Frauen im mittleren Alter davon betroffen sind. Während der Nacht merken sie meist nichts. Erst am nächsten Morgen erwachen Betroffene mit trockenem Mund, fühlen sich müde, klagten über Kopfschmerzen und Konzentrationsschwierigkeiten. Tagsüber haben die OSA-Patienten keine Atemprobleme – und sie schlafen auch ausreichend lang. „Aber die Apnoen verhindern durch Weckreaktionen unter anderem den wichtigen Tiefschlaf, in dem sich der Körper erholt“, erklärt der Internist.

Seit Ende der 1980er Jahre setzt sich Linde Healthcare aktiv für Menschen mit Schlafapnoe ein. „Mit unserem Programm LISA™ – die Abkürzung für Leading Independent Sleep Aide – wollen wir jeden

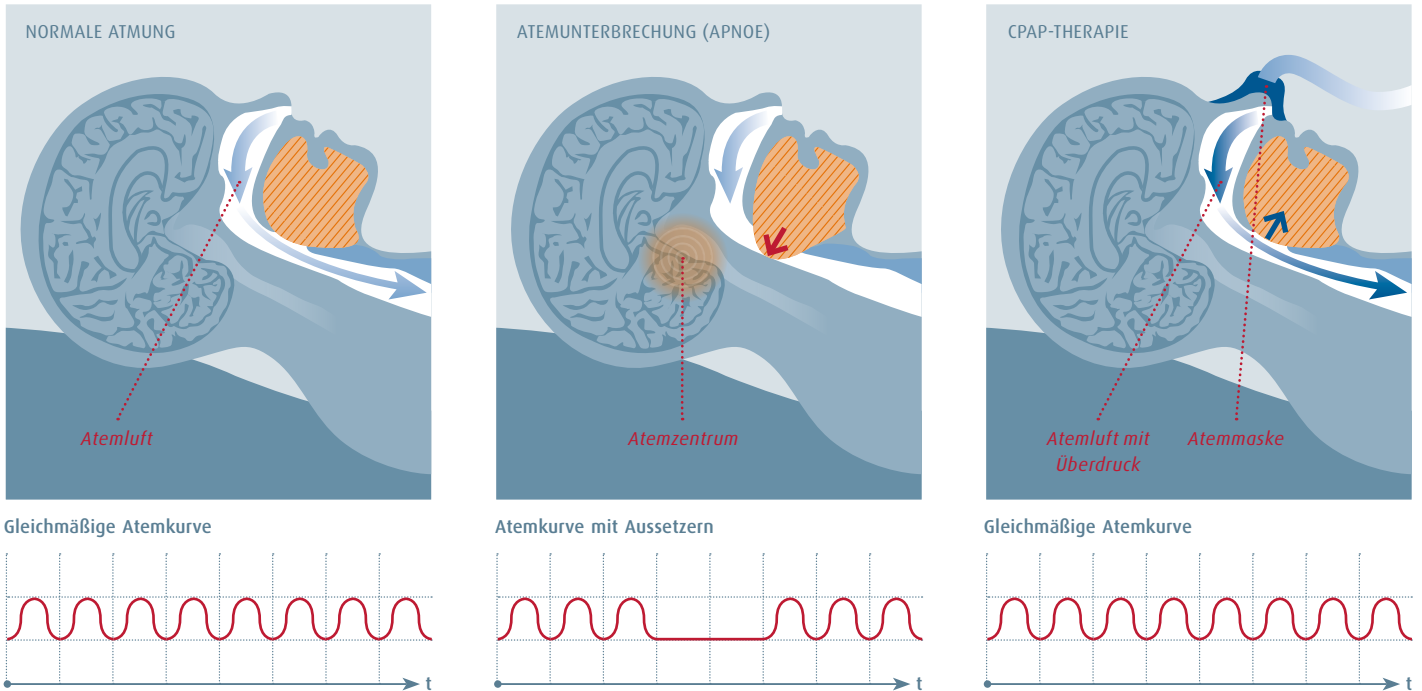
Patienten optimal begleiten – von der Diagnose über die Behandlung bis zur Nachkontrolle“, erklärt Gildas Bonduelle, Business Manager Sleep bei Linde Healthcare. Denn auf Dauer sind die nächtlichen Apnoen gefährlich – schädigen Gesundheit und Wohlbefinden: „Wir wissen heute, dass die obstruktive Schlafapnoe einhergeht mit Bluthochdruck und anderen Herz-Kreislauf-Erkrankungen wie Herzinfarkt, Schlaganfall oder Herzrhythmusstörungen“, so Krüger. Häufig werden die Patienten leicht depressiv, ohne zu wissen warum. Auch die Partnerschaft leidet. Bonduelle: „Meist sind es die Ehefrauen, die die Betroffenen zum Arzt schicken, weil sie das laute

## DIAGNOSE IM SCHLAFLABOR

Bei einem Verdacht auf eine obstruktive Schlafapnoe, kurz OSA, gibt der Arzt dem Patienten ein tragbares Gerät mit nach Hause, das während des Schlafs Atmung, Herzfrequenz, Sauerstoffsättigung im Blut, das Schnarchen und die Körperlage aufzeichnet. Bestätigt sich der Verdacht, erfolgt eine Überweisung an ein Schlaflabor. Die Spezialisten überwachen ihre schlafenden Patienten mit Messgeräten und Videokameras. Die Daten geben Auskunft über die Schlafstadien. Bei Menschen mit OSA lässt sich erkennen, wie häufig die Atemaussetzer sind und wie lange sie dauern. Für die Therapie ist auch wichtig, wann die Apnoen auftreten und wie sie sich auf das Herz-Kreislaufsystem und den Sauerstoffgehalt im Blut auswirken.

## FREIE BAHN FÜR DIE ATEMLUFT

Bei gesunden Menschen strömt die Atemluft ungehindert in den Körper (links). Wird der Atemraum durch erschlaffende Muskeln im Gaumen und Rachen verengt, kommt es zu gefährlichen Atemaussetzern, den Apnoen (Mitte). Der Körper wird nicht mehr ausreichend mit Sauerstoff versorgt und das Atemzentrum schlägt Alarm. Bei der CPAP-Therapie (rechts) pumpt eine Maske kontinuierlich Raumluft in den Rachen. Ein leichter Überdruck hält die oberen Atemwege frei.



Schnarchen nachts stört und sie die Atemaussetzer als beängstigend empfinden.“ Es entsteht, wenn beim Schlafen auf dem Rücken Muskeln und Gewebe in Gaumen und Rachen erschlaffen. Beim Atmen durch den Mund flattern sie wie eine Fahne im Wind – der Betroffene schnarcht. Fallen Gaumengewebe oder Zunge weiter in den Rachen, ist der Luftweg komplett verstopft und gefährliche Aussetzer drohen. Bis die Betroffenen zum Arzt gehen, ihre Krankheit akzeptieren und sich auf eine Therapie einlassen, ist es meist ein langer Weg. „Erfolg versprechend ist es, wenn nicht nur der Patient,

sondern auch der Partner zum Experten im Umgang mit der Schlafstörung wird“, sagt Bonduelle.

In etwa 20 Ländern – vor allem in Europa, Südamerika und Australien – profitieren bereits zehntausende Patienten von dem Schlafhilfsprogramm LISA™. Das Angebot soll weiter ausgedehnt werden, unter anderem nach Asien. Je nach Bedarf kommen die Pfleger, Therapeuten und Ärzte zu den Patienten nach Hause, betreuen sie in der Klinik oder im Schlaflabor. Das Angebot von LISA™ konzentriert sich auf vier Bereiche: Enable, Motivate, Assess und Progress. Unter dem Begriff „Enable“ informieren LISA™-Therapeuten über Krankheit und Behandlungsmöglichkeiten. „Aufklärungsarbeit ist für uns der Schlüssel zum Erfolg – vielen Medizinern bleibt heute immer weniger Zeit dafür“, erklärt der Linde-Experte. Im Gruppengespräch unter Leidensgenossen erfahren die Patienten, dass die Wahrscheinlichkeit an OSA zu erkranken mit dem Alter steigt und Übergewicht oder übermäßiger Alkoholkonsum die Schlafstörung verstärken. Bei vielen Betroffenen sind die Weichteile des Gaumens besonders schlaff oder verdickt. Aber auch ein zu kleiner Unterkiefer oder eine behinderte Nasenatmung können die Atmungsstörungen zumindest begünstigen.

„Standardtherapie ist die Überdruckatmung“, sagt Krüger. Die Patienten erhalten dafür ein so genanntes CPAP-Gerät (Continuous Positive Airway Pressure). Der Apparat ist etwa so groß wie ein Schuhkarton und hat einen Schlauch, an dessen Ende eine Maske

Partner für Patienten:  
LISA™-Experten  
helfen bei der Auswahl  
und Anpassung einer  
CPAP-Maske und begleiten  
die Therapie.



befestigt ist. Die Betroffenen stülpen die Maske über ihre Nase, und das Gerät pumpt dann kontinuierlich Raumluft in den Rachen. Dieser Luftstrom hält die Atemwege frei. „Wenn die Apparatur auf dem Nachttisch steht, ist das zwar ungewohnt und abschreckend“, so Bonduelle. Aber Studien haben gezeigt, dass die CPAP-Therapie den Blutdruck auf Dauer senken und die Lebensqualität deutlich erhöhen kann – und damit auch die Lebenserwartung.

### Intensive Beratung erhöht Therapietreue

Die LISA™-Experten helfen bei der Geräteauswahl und beim Anpassen der Maske. Das Portfolio an Produkten stellt Linde Healthcare von unterschiedlichen Herstellern zusammen. Neue Geräte, die das Angebot erweitern sollen, werden im anwendungstechnischen Zentrum von Linde in Wien einer Risikoanalyse unterzogen und auf ihre Qualität und Sicherheit getestet. In der so genannten CPAP-Schule lernen die LISA™-Teilnehmer, wie sie die Schlafhilfe korrekt bedienen. Bonduelle: „Wir wollen, dass sich die Patienten für sich und ihre Therapie mitverantwortlich fühlen.“ In Zusammenarbeit mit einem Psychologen hat das Team um Bonduelle einen Videofilm erstellt, den sich die Patienten auch zu Hause anschauen können. „Klinische Studien haben bewiesen, dass klar formulierte Videobotschaften die Therapietreue deutlich steigern“, sagt Bonduelle.

Haben die Patienten den Nutzen der Behandlung erkannt, ist der erste Schritt getan. „Die CPAP-Therapie ist allerdings eine Langzeittherapie. Es bedarf immer wieder neuer Motivation und Kontrolluntersuchungen“, erklärt Bonduelle. Unter den Begriffen „Motive“ und „Progress“ kümmert sich LISA™ deshalb um den Austausch mit Betroffenen. Die Pfleger befragen diese nach der ersten Nacht über mögliche Schwierigkeiten und immer wieder in kurzen Abständen. Bei der jährlichen Kontrolle suchen die Linde-Experten den Dialog zum behandelnden Arzt. Und LISA™ geht noch einen Schritt weiter und setzt sich unter dem Begriff „Assess“ auch für das OSA-Screening ein. „Damit wollen wir bislang nicht diagnostizierte Patienten für ihre Krankheit sensibilisieren und deren Gesundheit und Lebensqualität mit der richtigen Therapie verbessern“, sagt Bonduelle.

Mittlerweile sind sogar Unternehmen an solchen Programmen interessiert. Denn zahlreiche Studien belegen: Nur wer ausgeschlafen ist, ist ein guter und glücklicher Arbeitnehmer. Ein Pilotprojekt bei einer portugiesischen Firma hat ergeben, dass von 165 ausgewählten Schichtarbeitern und Fahrern 32 OSA-Patienten sind, die so auf ihre Schlafprobleme aufmerksam gemacht wurden. Auch Linde plant ein ähnliches Screening seiner Fahrer in Südamerika. Ähnlich erfolgreich war ein Projekt in Portugal, bei dem speziell Diabetes-Patienten auf OSA-Symptome hin befragt und bei einem Verdacht auf die Schlafstörung weitergehend untersucht wurden. Die Erfahrungen der letzten Jahre haben die Arbeit der LISA™-Experten bestätigt: Werden OSA-Patienten von Beginn an intensiv begleitet, dann nutzen sie ihre Geräte nachts länger und brechen die Behandlung seltener ab. Der Aufwand lohnt sich – für einen ruhigen und erholsamen Schlaf.

#### LINK:

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

#### KURZINTERVIEW

## „STÄNDIGES WECKEN BEDEUTET EXTREMEN STRESS“



Linde Technology sprach mit Schlafmediziner Prof. Dr. med. Christian Krüger. Der Internist leitet das Schlaflabor am Universitären Schlafmedizinischen Zentrum Hamburg.

#### ↳ VIELE MENSCHEN SCHNARCHEN NACHTS. WARUM SOLLTEN SIE DESHALB EINEN ARZT AUFSUCHEN?

Schnarchen ist ungesund. Wer schnarcht, sollte unbedingt mögliche Ursachen abklären. Denn es kann auch ein Schlafapnoe-Syndrom auslösen: Das ständige Vibrieren schädigt die Muskulatur im Rachen. In manchen Fällen resultiert das Schnarchen bereits aus einem bestehenden Schlafapnoe-Syndrom.

#### ↳ ABER VIELE SCHLAFAPNOE-PATIENTEN FÜHLEN SICH GESUND UND BEMERKEN DIE ATEMPAUSEN NICHT.

Das stimmt. Der Patient hat subjektiv das Gefühl, dass er nicht aufgewacht ist. Doch wer nicht atmet, bekommt keine Luft: Der Blutsauerstoff sinkt rapide ab. Dann setzt der Körper eine Weckreaktion in Gang. Puls und Blutdruck steigen. Auf Dauer bedeutet das nachts extremen Stress für den ganzen Körper – das Risiko für Schlaganfall, Herzinfarkt und Durchblutungsstörungen steigt.

#### ↳ WELCHE THERAPIE BIETET SICH DAGEGEN AN?

Patienten mit einer leichten Form der Schlafapnoe, die etwa nur in Rückenlage Atemaussetzer haben, können im Schlaftraining lernen, nicht mehr auf dem Rücken zu liegen. Außerdem gibt es eine spezielle Zahnschiene, die den Unterkiefer nach vorne schiebt und die Atemwege frei hält. Als Goldstandard gilt nach wie vor die CPAP-Therapie. Damit haben wir gute Erfahrungen gemacht: Trotz anfänglicher Bedenken kommen im Schnitt 90 Prozent unserer Patienten sehr gut damit klar.

Hightech-Gase für die Multimedia-Industrie

# SCHÄRFER, SCHLANKER, SCHNELLER

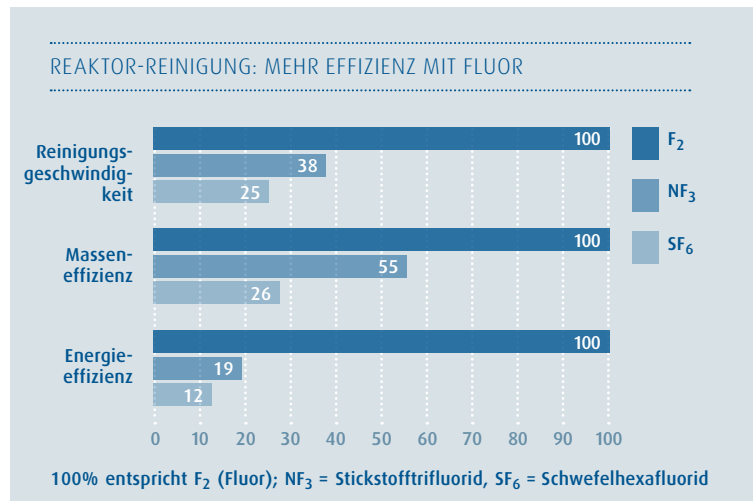
Vom Smartphone bis zum Geldautomaten kommt heute kaum ein Gerät ohne Display aus. Damit deren Farben strahlen und Touchpads auf einen Fingerstreif reagieren, brauchen sie hochleistungsfähige Transistoren. Bei der Produktion der Elektronikbauteile spielen Hightech-Gase die Hauptrolle.

Flachbildschirme überfluten die Regale der Elektromärkte, in Banken flimmern die Aktienkurse über die Mattscheibe und in Bahnhöfen müssen Poster bewegten Werbebildern weichen. Vom Notebook über Smartphones und iPad, Navigationsgeräte und Kameras bis zu Geldautomaten und Supermarktkassen kommt heute kaum ein Gerät ohne ein leistungsfähiges Display aus. Die Devise bei den Hightech-Bildschirmen lautet: schöner, größer, flacher. Ein Trend, der besonders gut bei Fernsehgeräten zu beobachten ist. Seit 2003 erlebt der Markt vor allem in Europa und den USA den größten Umbruch seit der Einführung des Farbfernsehens. Das alte Röhrengerät hat längst ausgedient. Seit der flache Fernsehgenuss auch für den privaten Gebrauch erschwinglich ist und der digitale Empfang die Flimmerkiste nicht mehr an die Empfangsbuchse kettet, hat der Fernseher nicht mehr im Wohnzimmer seinen Stammplatz.

„Die Menschen umgeben sich mit immer mehr Geräten“, sagt Jürgen Boyny, bei der GfK – einem der größten Marktforschungsunternehmen der Welt – für die globale Unterhaltungselektronik zuständig. Rund um den Globus dürften die Elektronikhersteller im Jahr 2011 etwa 212 Millionen Flachbildfernseher mit so genanntem LCD (liquid crystal display), also Flüssigkristallbildschirm, an die Kundschaft gebracht haben, schätzt er. „Mit den Röhrengeräten waren es früher gerade mal 180 Millionen Geräte pro Jahr.“ Drei Monatsgehälter mussten Konsumenten einst dafür sparen. Heute reicht ein Bruchteil davon, um die multimediale Welt ins Wohnzimmer zu holen.

Grund für den Preisverfall ist die günstige Produktion in Fernost. Das Display-Geschäft war von Anfang an fest in asiatischer Hand. Waren es zunächst japanische Hersteller wie Sharp, Sony oder Toshiba, übernahmen später taiwanesischen Unternehmen wie AUO und Südkoreaner wie LG oder Samsung die Führung. Doch neue Player aus China haben längst zum Sprung an die Weltspitze angesetzt. Linde hat früh auf den wachsenden chinesischen Markt gesetzt und

in die Zulieferung zur Produktion von Flachbildschirmen investiert, bei der diverse Spezial- und Elektronikgase zum Einsatz kommen. Denn: „Egal, ob schnelle Touchscreens wie beim iPhone, 3D-Fernseher oder besonders kontrastreiche Notebook-Displays mit organischen Leuchtdioden, sie alle brauchen zum Beispiel einen leistungsfähigen Transistor“, erläutert Andreas Weisheit, Leiter der Marktentwicklung bei Linde Electronics in Schanghai. Der Transistor schaltet gewissermaßen die auf ihm liegenden Flüssigkristalle an und aus. Er besteht – vereinfacht ausgedrückt – aus einer Glasplatte, auf die in einem Reaktor abwechselnd Schichten aus Silizium und Siliziumnitrit aufgedampft werden. Linde liefert für diesen Prozess hochreine Gase wie Silan, aus dem Silizium gewonnen wird. Mittlerweile setzt mehr als die Hälfte der lokalen Hersteller in der Volksrepublik auf Prozessgase von Linde.





**Mediale Bilderflut:** Hochreine Spezialgase von Linde sorgen für leistungsfähige Displays und eine umweltfreundliche Produktion.



**Hightech in Serie:** Die Display-Produktion findet vor allem in Asien statt – Blick in die Fertigungsanlage des chinesischen Herstellers BOE.

Nur dank des Einsatzes der Hightech-Gase in der Transistorproduktion entstehen am Ende auch Hochleistungs-Displays, bei denen sich die Elektronen schneller bewegen und die Pixel genannten Bildpunkte exakt angesteuert werden. Das ermöglicht eine bessere Auflösung, brillantere Bilder und neue Effekte wie das 3D-Fernsehen.

### Klimaneutrales Fluor für Flatscreen-Produktion

Doch längst wollen die Kunden nicht mehr nur scharfe Bilder. „Der anspruchsvolle Endverbraucher legt zunehmend Wert auf energiesparende Geräte und Waren, deren Produktionskette möglichst umweltfreundlich gestaltet ist“, so der Linde-Experte. Aus Sicht des Klimaschutzes ist die traditionelle Fertigung von Flüssigkristallbildschirmen aber problematisch. Denn es werden meist sehr große Mengen klima-

schädlicher Substanzen eingesetzt, wie beispielsweise für Reinigungsprozesse in der Display-Produktion: Weil sich das Silizium und Siliziumnitrit beim Bedampfen an den Wänden des Reaktors festsetzt, verwenden die Hersteller seit 15 Jahren das Reinigungsgas Stickstofftrifluorid, um die Ablagerungen wieder zu lösen und so die Prozesskammern zu säubern. Der Stoff gilt als das Treibhausgas schlechthin: „17.200-mal schädlicher als Kohlendioxid“, so Weisheit. Deshalb setzt Linde verstärkt auf das klimaneutrale Fluor zur Reinigung der Reaktoren. Das Halogen, dessen Umgang Linde dank langjähriger Erfahrung und patentierter Technologie sicher beherrscht, bietet neben ökologischen auch ökonomische Vorteile: Statt es wie Stickstofftrifluorid in Hochdruckbehältern anzuliefern, kann Fluor direkt auf dem Werksgelände des Kunden in Generatoren erzeugt werden – und es ist auch etwa ein Fünftel günstiger. Während inaktive Komponenten im Stickstofftrifluorid die Reinigungswirkung bremsen, säubert das aktive Fluor den Reaktor zudem bis zu 50 Prozent schneller (siehe Grafik).

Die klimaschonenderen Linde-Anlagen sind bereits im Praxiseinsatz: „Ein koreanischer Großkunde hat als erster auf Fluor umgestellt“, sagt Weisheit. Damit konnte er die Produktionskapazität in seinem Werk dank der Linde-Technologie auch noch deutlich erhöhen. Das könnte Signalwirkung für die ganze Branche haben, denn: „Wir kümmern uns um die komplette Umrüstung. Ein Umstieg rechnet sich für die Kunden meist schon nach weniger als einem halben Jahr“, resümiert Weisheit.

LINK:

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

Aluminium wirtschaftlicher recyceln

# ALTE LEICHTGEWICHTE MIT NEUEM GLANZ

Gebrauchtes Aluminium wird schon lange im großen Stil wiederverwertet, eingeschmolzen und zu neuen Produkten wie Autokarosserien geformt – das schont Ressourcen. Doch die etablierten Verfahren lassen sich verbessern: Spezielle Brenner- und Gasetechnologie von Linde sorgt für mehr Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit – und reduziert den Schadstoffausstoß deutlich.

Aluminium ist heute so selbstverständlich wie das tägliche Brot: Wir leben in Häusern mit Alu-Fensterrahmen, fahren Autos mit leichter Aluminiumkarosserie, wir wickeln sogar Sandwiches darin ein. Aber das Metall ist ein kostbares Gut, denn seine Herstellung ist aufwendig und teuer. Es wird aus Bauxit gewonnen, einem Erz, das man vor allem in Südamerika, Australien oder Afrika in großen Tagebauen aus der Erde baggert. Riesige Massengutfrachter tragen es über die Ozeane in die Industrienationen, wo es in Aluminiumhütten auf bis zu 1.300 Grad Celsius erhitzt wird, schmilzt und mit speziellen Chemikalien zu Aluminiumoxid verarbeitet wird. Der Energieverbrauch ist enorm: Zur Herstellung von einer Tonne Aluminium sind rund fünf Tonnen Bauxit erforderlich.

Für die Hersteller ist das Aluminiumrecycling daher schon lange ein großes Thema. Denn dabei entstehen – anders als beispielsweise bei Kunststoffen – keine Qualitätsverluste. Recyceltes Material steht neuem Aluminium in nichts nach. Man kann es beliebig oft einschmel-

zen und zu neuen Produkten verarbeiten: Dosen verwandeln sich so zum Beispiel in Motorblöcke. Im Jahr 2009 wurden weltweit 37 Millionen Tonnen neues Aluminium, so genanntes Primäraluminium, erzeugt. Wiederverwertet wurden knapp 13 Millionen Tonnen. „Die Recyclingquote ließe sich also noch deutlich erhöhen“, sagt Thomas Niehoff, bei der Linde Gases Division Abteilungsleiter für den Bereich Nichteisenmetalle und Bergbau.

Aber die Wiederverwertung ist nicht nur interessant, um Rohstoffe zu schonen. Auch die Energieeinsparungen sind immens. Für die Produktion einer Tonne Primäraluminium sind gut 13.000 Kilowattstunden nötig, für eine Tonne recyceltes Alu nur etwa 1.500 Kilowattstunden – also gut ein Zehntel. Und selbst diese Menge lässt sich deutlich reduzieren. Das könnte auch die Marktpreise für das begehrte Metall senken, denn bis zu 40 Prozent des Aluminiumpreises entfallen auf die Energiekosten. Experten schätzen, dass der Bedarf an Aluminium bis zum Jahr 2015 auf 53 Millionen Tonnen jährlich steigen wird. Will man diese Mengen künftig ressourcenschonender produzieren, ist Recycling der Königsweg. Linde bietet daher schon lange technische Lösungen zur verbesserten Wiederverwertung von Aluminium an. Die Ingenieure haben viel Erfahrung darin, die Brenn- und Schmelzprozesse effizienter und umweltfreundlicher zu machen. „Selbst aus einer etablierten Anlage kann man noch einiges herauskitzeln“, sagt Niehoff. „Nicht nur bezüglich der Energieeinsparung, auch die Abgasemissionen lassen sich reduzieren.“

Gebrauchtes Aluminium wird in großen Öfen erhitzt und wieder eingeschmolzen. Dazu wird der Ofen mit Erdgas befeuert. Früher führte man für die Verbrennung Umgebungsluft in die Kammer. Doch das war ineffizient, denn Luft besteht zu mehr als 70 Prozent aus

**95%** weniger Energie wird durch das Recyceln von gebrauchten Aluminiumprodukten im Vergleich zur Primärherstellung benötigt.

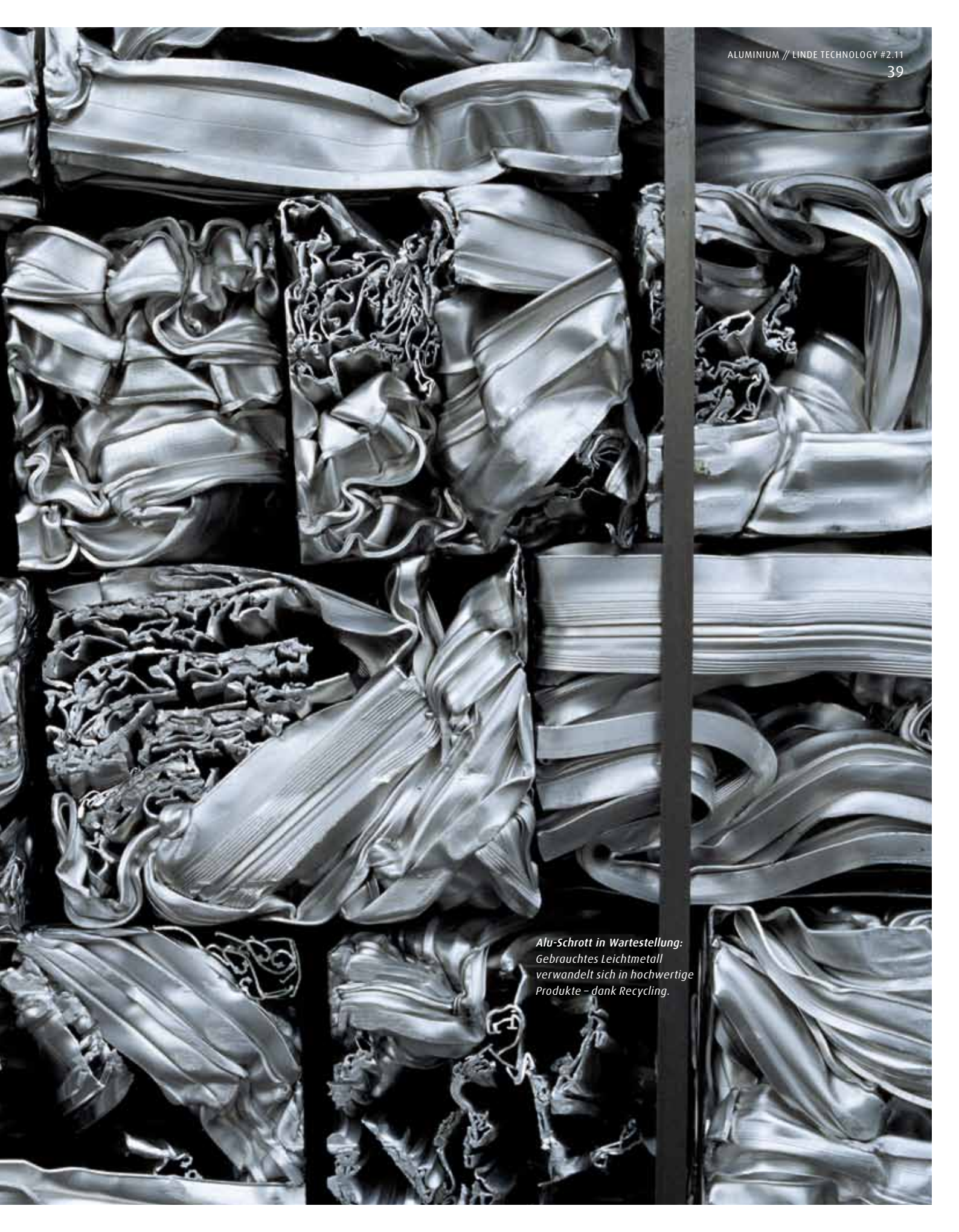
**75%** des jemals produzierten Aluminiums sind heute immer noch im produktiven Einsatz – und wurden bereits mehrfach recycelt.

**1 kg** Aluminium im Auto reduziert durch den Gewichtsvorteil die CO<sub>2</sub>-Emissionen um 20 Kilogramm während der Nutzungsphase.



Autor: Tim Schröder  
Bildquelle: International Aluminium Institute



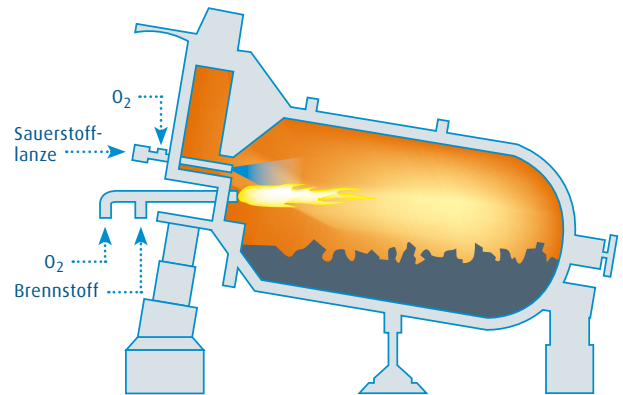


*Alu-Schrott in Wartestellung:  
Gebrauchtes Leichtmetall  
verwandelt sich in hochwertige  
Produkte – dank Recycling.*



## CLEVERE BRENNERTECHNOLOGIE

**Mehr Effizienz im Ofen:** Die WASTOX®-Verbrennungslanzen schießen zusätzlichen Sauerstoff in die Schmelzkammer und verwandeln Schmutzbestandteile in wertvollen Brennstoff. Das spart Energie und reduziert die Abgase.



**Recyclingmaschine:** Der schwenkbare Universaltrommelofen, kurz URTF, verarbeitet kontaminierte Alu-Abfälle in besonders schnellen Produktionszyklen. Kombiniert mit der WASTOX®-Technologie lässt sich die Energie optimal nutzen.

Stickstoff, der in der Kammer erhitzt wird, dann aber ungenutzt mit der Abluft entweicht. So ging bei dem Prozess viel Energie verloren. Vor einigen Jahren wurde in der Aluminiumindustrie deshalb der so genannte Oxyfuel-Prozess eingeführt – maßgeblich vorangetrieben von Linde-Ingenieuren. Dabei wird statt Luft reiner Sauerstoff in den Schmelzofen geleitet. Das Abgasvolumen verringert sich enorm – und damit die Energiemenge, die nutzlos zum Schornstein hinausjagt. Für eine Tonne recyceltes Aluminium benötigt man damit nur noch etwa 500 Kilowattstunden. „Aber mit der Umstellung auf unseren Oxyfuel-Prozess gab es neue Herausforderungen“, so Niehoff. Denn Aluminium reagiert sehr leicht mit Sauerstoff. Es verbrennt zu Aluminiumoxid, einem weißlichen Pulver, das sich als unerwünschter Belag, als so genannte Krätze, in der Brennkammer ablagert und der Schmelze verloren geht. Vor allem an besonders heißen Stellen reagiert das Aluminium heftig mit dem Element. „Für viele Hersteller war die Vorstellung, Sauerstoff in der Aluminiumschmelze einzusetzen, eher abschreckend“, sagt Niehoff. Das Problem: In herkömmlichen Oxyfuel-Schmelzöfen brennt eine heiße, gleißend helle Sauerstoffflamme. Wie ein Flammenwerfer erhitzt sie die Kammer an verschiedenen Stellen unterschiedlich stark. Es entstehen immer wieder so genannte Hotspots, an denen die Krätzebildung besonders intensiv auftritt. Neue Lösungen mussten her – und die lieferten Niehoff und seine Mitarbeiter. Ihre Idee bestand darin, die Flamme aufzu-

## ALU-BEDARF STEIGT: BIS 2015 AUF 53 MILLI- ONEN TONNEN JÄHRLICH.

blähen, so dass sich die Wärme gleichmäßiger in der Kammer verteilt. Um das zu erreichen, strömen die Brennstoffe mit hoher Geschwindigkeit in die Kammer. Dadurch zirkulieren die Ofengase so stark, dass die Flamme aufgeweitet wird. „Die Flamme wird größer, und wir vermeiden so die Bildung von Hotspots“, erklärt Niehoff.

Weil diese aufgeblähte Flamme nicht mehr wie ein heißer Feuerstrahl leuchtet und kaum noch zu sehen ist, spricht man von flammenloser Verbrennung. Inzwischen brennt die neuartige Flammentechnologie in mehreren Aluminiumhütten mit Erfolg. Dank der homogenen Wärmeverteilung erhöhte sich in einem schwedischen Werk die Schmelzleistung im Vergleich zum herkömmlichen Oxyfuel-Prozess um zehn Prozent. Der Energieverbrauch sank um denselben Betrag. Und auch die Krätzebildung verringerte sich deutlich. Die Flamme lässt sich dank des Abgaszustroms einfach besser kontrollieren. „Jedes Aluminiumwerk, jeder Ofen ist anders. Deshalb bieten wir individuelle Lösungen an und justieren den Brennprozess sehr genau“, sagt Niehoff. „Es genügt eben nicht, dem Kunden die Technik einfach vor die Tür zu stellen.“

Das liegt unter anderem auch daran, dass verschiedene Aluminiumproduzenten sehr unterschiedliche Aluminiumabfälle verarbeiten. Ein mittelgroßer Schmelzofen kann etwa 30 Tonnen Aluminium verflüssigen: Dazu wird er schrittweise in mehreren Chargen befüllt und das Altaluminium zur bereits verflüssigten Schmelze hinzugege-

ben. Manche Hersteller füttern ihre Anlagen mit ausgedienten Motorblöcken, andere mit alten Bierdosen mitsamt Plastikfolie und Aufkleber. Kurzlebige Artikel landen schneller wieder in der Schmelze. Eine Karosserie aus Aluminium dagegen rollt für mindestens zehn Jahre über die Straßen. Niehoff erinnert sich an ein Werk, in dem tonnenweise Getränkekartonschnitzel in die Brennöfen geworfen werden. „Diese Kartons bestehen aus einem Verbund von Pappe, Plastik- und hauchdünner Aluminiumfolie“, sagt Niehoff. „Aber auch bei diesem geringen Anteil an Metall im Einsatzmaterial lohnt es sich, das Aluminium zurückzugewinnen.“

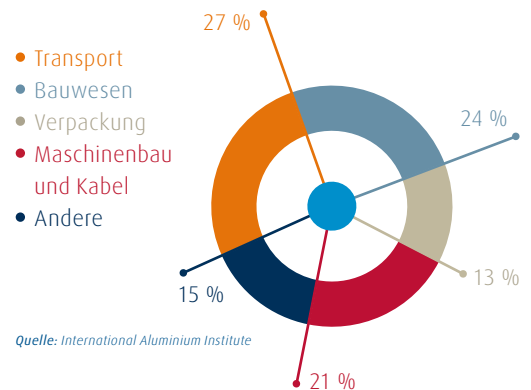
### Exakte Sauerstoff-Dosis für Alu-Schmelzen

Dass beim Schmelzen von Altaluminium unkontrolliert Verbrennungsrückstände aus Kunststoff-, Lack- oder Motorölrückständen frei werden, war Niehoff ein Dorn im Auge. Zudem wurden in den vergangenen Jahren die Abgasnormen erheblich verschärft. Vor allem Kohlenwasserstoffe werden frei, wenn die Rückstände in der mehr als 750 Grad Celsius heißen Schmelze verdampfen. Mit seinem Team entwickelte er deshalb auch eine Technologie, die die aufsteigenden Substanzen noch im Schmelzofen nachverbrennt. Dabei handelt es sich um eine Lanze, die oberhalb der Schmelze in die Kammer hineinragt und Sauerstoff für eine zusätzliche Verbrennung einschießt. Vor allem wenn der Ofen mit einer frischen Charge Recycling-Alu gefüttert wird, werden binnen weniger Minuten große Mengen an Kohlenwasserstoffen frei. Dann zündet die Lanze und verbrennt die unerwünschten Stoffe. „Die Kohlenwasserstoffe ersetzen zum Teil das Erdgas, mit dem der Schmelzofen geheizt wird. Sie dienen als Brennstoff“, sagt Niehoff. Um bis zu 15 Prozent lässt sich die Brennerleistung reduzieren, wenn die Lanze zündet und die Kohlenwasserstoffe zerstört: WASTOX® heißt die intelligente Nachverbrennungstechnik, mit der die Linde-Ingenieure gleich zwei Fliegen mit einer Klappe schlagen: „Abgase werden zum Heizen genutzt und die Menge der Kohlenwasserstoffe in der Abluft sinkt im Vergleich zum herkömmlichen Oxyfuel-Prozess um das Zehn- bis Fünzigfache“, so Niehoff.

Um die WASTOX®-Lanze gezielt an- und abschalten zu können, installieren die Linde-Techniker bei ihren Kunden Sensoren, die den Gehalt an Kohlenwasserstoffen in der Schmelzkammer permanent erfassen. Auch dabei gilt: Jede Anlage benötigt eine individuelle Lösung. In einigen Werken kommen Laserscanner zum Einsatz oder auch optische Sensoren. Meist werden die Gase mittels eines Lichtstrahls gemessen: Er wird durch verschiedene Gase verändert, weil diese unterschiedliche Lichtwellenlängen absorbieren. Anhand des Absorptionsmusters lassen sich die Gase dann im Detail nachweisen. Durch die Schwächung des Lichtsignals kann man zudem auf die Konzentration schließen. In einem Werk setzt der Kunde gar auf optoakustische Sensoren, die zusätzlich am Geräusch der Gasflamme erkennen, ob gerade Kohlenwasserstoffe aus der Schmelze aufsteigen. Niehoff: „Derartige Sensorlösungen sind besonders anspruchsvoll. Denn beim Alu-Recycling hat man es mit einer ausgesprochen schmutzigen und extrem heißen Umgebung zu tun.“ Ein Sensor muss Dämpfen, Hitze und glühend heißen Spritzern widerstehen.

Derzeit arbeitet der Linde-Ingenieur mit seinen Kollegen daran, die WASTOX®-Technologie weiter zu automatisieren, denn noch wird der Verbrennungsprozess meist von Hand geregelt. In naher Zukunft

### GLOBALER MARKT FÜR ALUMINIUMPRODUKTE



*Glänzende Aussichten: Aluminium lässt sich ohne Wertverlust recyceln und in vielfältigen Branchen verwenden.*

sollen Sensor, Brenner und Lanze das allein schaffen. Die Prozesse sind zwar so ausgereift, dass man von einer ressourcenschonenden Produktion des Recyclingaluminiums sprechen kann – dennoch hat Niehoff einiges zu tun: „Der Oxyfuel-Prozess ist inzwischen etabliert. In vielen Gebieten, besonders in Asien, aber auch in Osteuropa und den USA besteht Nachholbedarf für Optimierungen“, so der Metall-Experte. „Dort gibt es viele Werke, in denen man Konzepte wie die flammenlose Verbrennung oder die WASTOX®-Technologie nachrüsten könnte.“ Dass die Bedeutung des Aluminiumrecyclings wächst, steht für ihn außer Frage. „In Sachen Nachhaltigkeit führt an der Wiederverwertung ohnehin kein Weg vorbei“, so Niehoff.

LINK:

[www.world-aluminium.org](http://www.world-aluminium.org)

## Energieeffizientes Gasemanagement für Aquakulturen

# FITNESS FÜR FISCH

Fischzucht findet zunehmend auf dem Trockenen statt – in riesigen Bassins an Land. Das schont natürliche Fischbestände und die Meeresökologie. Damit Lachs und Co. auch in den großen Becken möglichst gut gedeihen, haben Linde-Ingenieure ein neues, besonders energieeffizientes Sauerstoffeintragsverfahren entwickelt.

Fisch ist gut fürs Herz: Eskimos erleiden seltener einen Herzinfarkt als Menschen, die wenig Lachs oder Kabeljau auf dem Speiseplan haben. Das Fleisch der Meeresbewohner ist reich an „guten Fetten“, den so genannten Omega-3-Fettsäuren – und die halten auch Gehirn und Immunsystem fit. Auch deshalb ist Seefisch gefragter denn je. Ob als Sushi im Reismantel, Filet in Paniermehl oder garniert mit Salat im Brötchen: Der weltweite Fischkonsum hat sich in den letzten 50 Jahren etwa verdoppelt – Tendenz weiter steigend. Und weil sich der riesige Bedarf allein mit Fischen aus natürlichen Beständen nicht mehr decken lässt, boomt auch die Fischzucht. Ihr Anteil ist in den letzten zehn Jahren von etwa 30 Prozent auf etwa die Hälfte gestiegen – während die Wildfang-Zahlen nahezu unverändert blieben.

Linde-Ingenieure haben jetzt ein leistungsfähiges und zugleich energiesparendes Verfahren für Aquakulturen an Land entwickelt: Das System SOLVOX® OxyStream mischt reinen Sauerstoff ins Wasser der Zuchtbecken. Der kontinuierliche Wasserstrom verteilt das Lebenselixier für die Fische sehr gleichmäßig – selbst in schwimmbadgroßen Wasserbecken: „In Norwegen werden die Vorteile unseres Verfahrens bereits von mehreren Kunden geschätzt“, sagt Stefan Dullstein, Experte für Aquakulturen bei Linde. Zu den Kunden gehört auch Weltmarktführer Marine Harvest. Weil die neue Technik viel energiesparender als konventionelle Systeme ist, rückt sogar ein bislang unerreichtes Ziel in greifbare Nähe: Die komplette Landaufzucht von Speisefischen. Bislang galt das als kaum bezahlbar. Aber noch müssen die Fische ins Meer. Lachse werden zum Beispiel nur mehrere Monate an Land gepöppelt, bis sie zwischen 80 und 100 Gramm schwer sind. Erst dann ziehen sie in ein Netzgehege im Meer. Das Fernziel: Die Fischzucht gänzlich aus den Meeren verbannen.

„Die großen Fischzüchter wollen die Tiere schon bald bis zu einem Kilogramm Körpergewicht an Land groß ziehen und erst dann in marine Aquakulturen bringen“, erklärt Dullstein. „Der Trend zur Fischzucht an Land geht in großen Schritten voran.“ Schließlich gibt es dafür gute Gründe. Mit Aquakulturen in Beton- oder Stahlbecken wird die Meeresökologie geschont, denn das mit Exkrementen und Futterresten verunreinigte Wasser lässt sich einfacher aufbereiten.

„Zudem können von außen keine Krankheiten eingeschleppt werden“, so der Linde-Experte. „Und wenn sich trotzdem einmal ein Virus ausbreitet, lassen sich die Fische in einem geschlossenen System besser behandeln.“ Nicht zuletzt verhindern Aquakulturen an Land, dass Zuchtfische aus den Gehegen entkommen können und sich unter die natürlichen Bestände mischen. Das kann zum Beispiel passieren, wenn hungrige Seehunde die Gehegenetze beschädigen.

Das SOLVOX® OxyStream-Verfahren von Linde, das beim Wechsel zur umweltschonenderen Zucht an Land helfen kann, erinnert an das Periskop eines U-Bootes: Ein gebogenes Rohr – zwischen 20 und 60 Zentimeter im Durchmesser. Es besteht aus schwarzem Kunststoff, an dessen Vorderseite eine mit Löchern in Reih und Glied gespickte Linie zu sehen ist. Durch die Öffnungen strömt Wasser in das Becken, angereichert mit Sauerstoffbläschen, die feiner sind als Sektperlen. Die neue zum Patent angemeldete Technologie arbeitet mit einer so genannten Venturidüse: ein Rohrstück mit einer engen Stelle in der Mitte, das so den Raum für das einströmende Wasser verkleinert. Dadurch wird

**RUND 50 PROZENT  
ALLER SPEISE-  
FISCHE STAMMEN  
AUS DER ZUCHT.**

das Wasser hier schneller und vermischt sich besonders gut mit dem Sauerstoff, der genau an dieser Stelle injiziert wird. Im Inneren des Rohres stecken den Ingenieuren zufolge noch weitere technische Kniffe, die den Mix perfekt machen. Wie das aber im Detail funktioniert, wollen sie nicht verraten. „Das Besondere an diesem System ist, dass es gleich zwei Funktionen erfüllt: die Sauerstoffzufuhr und die Verteilung des Gases im Becken“, betont Kenneth Glomset von der Linde Gases Division, der die Technologie entwickelt hat. „Und diese Einheit kann komplett im Fischbecken montiert werden.“

Bisher brauchten die Fischzuchtbetreiber zwei Komponenten und ein externes Rohrsystem für die Sauerstoffversorgung. „Dank der kompakten Bauweise und der wirkungsvollen Vermischung von Gas und Wasser kann das SOLVOX® OxyStream-Verfahren mit sehr niedrigen Drücken arbeiten, die zwischen 50 und 200 Millibar liegen“, betont Glomset. Das ist etwa eine Größenordnung kleiner als der Betriebsdruck gängiger Systeme. Die Wohlfühl-Sauerstoffkonzentration beträgt für Fische etwa 85 Prozent. Der Wert bezieht sich auf den Sauerstoffgehalt von Wasser, das mit Luft gesättigt ist. „Über den





#### **Blau Revolution:**

Die Ozeane können den Bedarf nicht stillen. In Hightech-Bassins mit optimaler Sauerstoffversorgung (rechts) gelingt die Aufzucht von Speisefischen auch an Land.

lichen Rahmen gehalten. Diese Systeme mit ihren stromfressenden Pumpen können durch die SOLVOX® OxyStream-Technologie deutlich reduziert werden.

Insbesondere Lachszüchter können noch von einem weiteren Vorteil profitieren: „Mit dem neuen System wird ein kontinuierlicher Umstieg von Süßwasser auf Salzwasser möglich – und auch bezahlbar“, sagt Glomset. In der Natur verbringen Lachse ihre ersten Lebensjahre in Flüssen, also im Süßwasser, bevor sie in die salzigen Meere ziehen. Bisher gibt es für jede der beiden Wassersorten separate Zuchtbecken mit eigener Sauerstoffversorgung. „Das Problem bei der Sauerstoffversorgung in Süßwasser ist, dass die kleinen Gasblasen schnell zu großen verschmelzen und der Stoffaustausch dadurch schlechter wird“, so der Experte. Dieser Effekt lässt sich durch höhere Gasdrücke verhindern, denn dann wird der Sauerstoff gleich zu Beginn vollständig gelöst und die Gasblasenbildung unterbleibt. „Zwar funktioniert dies auch mit anderen Technologien“, räumt Glomset ein. „Aber nur beim stromsparenden SOLVOX® OxyStream-System bleiben die Kosten dafür auch im Rahmen.“ Ein wichtiger Vorteil der Technologie, denn der Energieverbrauch gilt neben dem Futterbedarf als größter Kostenfaktor für den Betrieb von Fischfarmen an Land.

Die neue Linde-Technologie ist auch immer ein Stück Maßanfertigung. „Denn keine Anlage gleicht der anderen. Die Technik muss immer individuell an die Bedingungen in den Zuchtbetrieben angepasst werden“, betont der Linde-Ingenieur. Je nach Tankgröße, Fischart und Besatzdichte müssen die Strömungsgeschwindigkeiten optimiert werden. Mittlerweile sind knapp 200 Anlagen in Planung – zum größten Teil in Norwegen. „Die Nachfrage stimmt“, freut sich Glomset. Doch die Linde-Experten haben schon weitere Märkte fest im Visier, vor allem in Chile, Großbritannien und Nordirland, in Kanada und den USA. Und wenn noch mehr Fisch auf den Tellern rund um den Globus landet, treibt dies den Trend zur Fischzucht an Land weiter an – und damit auch die Versorgung der Aquakulturen mit dem Lebenselixier Sauerstoff.



**Quartier für Fischschwarm:** Aquakulturen an Land schonen die Meeresökologie. Die Zuchtische können sich zudem nicht mit natürlichen Beständen vermischen.

Daumen entsprechen die 85 Prozent achteinhalb Milligramm Sauerstoff je Liter Wasser. Wie viel es genau ist, hängt aber unter anderem auch von der Temperatur ab“, sagt Glomset. Liegt der Wert unter 85 Prozent, schwindet der Appetit der Zöglinge und sie werden anfälliger für Krankheiten. Sinkt die Sauerstoffkonzentration gar unter 60 Prozent, besteht Lebensgefahr für Lachs, Kabeljau und Co. Die neue Linde-Technologie sorgt dafür, dass ideale Lebensbedingungen im Becken herrschen. Die kräftige Strömung hilft zudem beim Muskelaufbau: „Die Fische müssen dagegen anschwimmen und bleiben so gut in Form“, erklärt Glomset das Fitnesstraining für die Fische. Und nicht zuletzt treiben die Sauerstoffbläschen andere Gase wie Argon, Kohlendioxid und vor allem Stickstoff aus dem Wasser. Denn selbst eine geringfügige Übersättigung mit Stickstoff kann das Wachstum der Fische behindern oder sogar lebensbedrohlich werden. Mit verschiedenen Methoden wurde die Stickstoffkonzentration bisher im natür-

#### **LINK:**

[www.feap.info](http://www.feap.info)

*Anlagendesign für die Chemie:  
Im United Olefins Complex in Al Jubail, Saudi-  
Arabien, werden Lineare Alpha-Olefine produziert.  
Dieses so genannte alpha-Sablin®-Verfahren  
haben SABIC und Linde gemeinsam entwickelt.*



*Innovative Technologie für Polymer-Komponenten*

# KUNSTSTOFF-BAUSTEINE NACH MASS

Kunststoffe durchziehen alle Bereiche des modernen Lebens: Sie machen Autos zu robusten Leichtgewichten, sorgen für hygienische Verpackungen und umspannen den Globus mit einem riesigen Kabelnetzwerk. Um die Eigenschaften des Massenkunststoffs Polyethylen optimal zu designen, benötigt die Industrie spezielle Molekülbausteine, die so genannten Linearen Alpha-Olefine. Zusammen mit dem Chemieunternehmen SABIC haben die Linde-Ingenieure ein neues, besonders effizientes Reaktorkonzept zur Marktreife gebracht.

Bildquelle: Linde AG  
Autorin: Caroline Zörlein

Wir leben in einer Kunststoffwelt. Buntes Plastik begleitet uns auf Schritt und Tritt: in Schuhsohlen, Computern, Einkaufstüten oder Zahnbürsten. In knapp hundert Jahren haben die künstlichen Polymere eine steile Karriere gemacht – zum meistgenutzten Werkstoff unserer Zeit. Die weltweite Produktion steigt weiter enorm: In den letzten zehn Jahren wurde etwa so viel Kunststoff hergestellt wie im gesamten vergangenen Jahrhundert. Die Kunststoffindustrie hat bereits eine große Sortenvielfalt kreiert. Ein Multitalent ist Polyethylen – kurz PE. Die Anwendungen reichen von flexiblen Folien und Lebensmittelverpackungen über Innen- und Außenkomponenten für Autos, Kinderspielzeug bis hin zu Rohren und Kabeln.

Chemisch gesehen ist PE sehr einfach aufgebaut: aus extrem langen Kohlenwasserstoffketten. Und diese Polymerketten lassen sich untereinander vernetzen. Die Eigenschaften des Werkstoffs hängen direkt davon ab, wie stark das Netzwerk ausgeprägt ist. Um diese Verbindungen zu knüpfen, benötigen die Polyethylen-Produzenten zusätzlich kleine chemische Bausteine, die so genannten Co-Monomere. „Die Industrie verwendet dafür Lineare Alpha-Olefine, abgekürzt LAO“, erklärt Heinz Bölt, F&E-Manager für Kommerzialisierung & Lizenzierung bei der Linde Engineering Division. „Durch das Einfügen der LAO-Moleküle lassen sich die physikalischen Eigenschaften von Polyethylen gezielt verändern und ganz unterschiedliche Produkteigenschaften designen“, so der Ingenieur. Um die Co-Monomere zu produzieren, hat Linde gemeinsam mit Experten des Chemieunternehmens SABIC (Saudi Arabian Basic Industries Corporation) eine neue Technologie entwickelt, das so genannte alpha-SABLIN®-

Verfahren und auch die erste kommerzielle LAO-Anlage in Al Jubail, Saudi-Arabien, gebaut: Diese erzeugt für das SABIC-Tochterunternehmen Jubail United Petrochemical Company (UNITED) mittlerweile ca. 150.000 Tonnen der benötigten LAO pro Jahr.

Bis die Anlage in Betrieb gehen konnte, war es jedoch ein langer Weg. Denn es gab zunächst kein frei lizenzierbares Verfahren auf dem Markt, um die benötigten Chemiebausteine herzustellen. Deshalb startete Linde mit der Entwicklung einer eigenen Technologie zur Produktion der LAO. Die Grundidee für ein Verfahren fand das Team um Heinz Bölt und dem Chemiker Dr. Peter M. Fritz im Jahr 1993 bei

einem Besuch im russischen Institut für Chemische Physik (ICP) in Chernogolovka. „Die Wissenschaftler dort hatten viel Erfahrung in der Ethylen-Oligomerisierung, dem chemischen Schlüsselschritt bei der LAO-Produktion“, sagt Bölt. „Und auch eine Pilotanlage wurde in Russland schon einmal betrieben, die jedoch nicht mehr verfügbar war“, erinnert sich der Linde-Experte. Aber um die Pro-

duktqualität wirklich beurteilen zu können, benötigen die großen Kunststoffhersteller die Substanz für Testzwecke im Tonnenmastab. „Eine dadurch erforderliche neue Pilotanlage dieser Größenordnung kostet aber mehrere Millionen Euro und wird sinnvollerweise an einem Petrochemiestandort betrieben“, so Bölt.

Um diesen Schritt gehen zu können, brauchte man einen Kooperationspartner – und fand ihn im Chemieunternehmen SABIC. Der Konzern besaß zudem einen wichtigen Vorteil: die optimale Versorgung mit gasförmigem Ethylen, dem notwendigen Ausgangsstoff. „Die Unternehmen im Mittleren Osten haben eine weltweit führende, stabile

**MATERIALEIGENSCHAFTEN VON POLYETHYLEN GEZIELT STEUERN.**



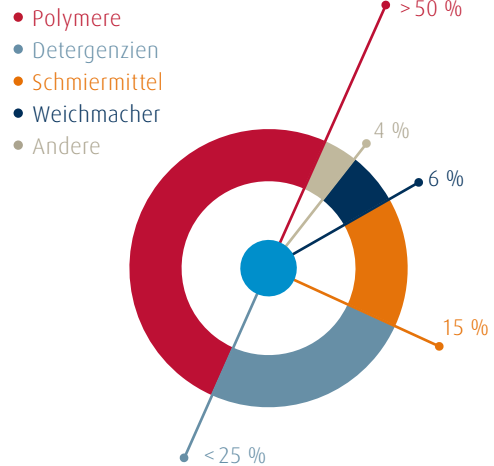
Plattform in der petrochemischen Grundchemie aufgebaut“, sagt Dr. Wolfgang Falter, Chemie-Branchenexperte bei AlixPartners. „Dieses Fundament nutzen sie jetzt, um in weiterverarbeitenden Stufen zu wachsen. Die Wurzeln des Chemiebaumes im Mittleren Osten sind fest verankert und wir können davon ausgehen, dass es in Zukunft noch viele weitere starke Chemieäste in der Region geben wird“, erklärt Falter. Die industrielle Produktion kann also direkt über dem Bohrloch stattfinden. Bölt: „Einen Erstkunden für eine kommerzielle Anlage zu finden, ist zudem extrem schwierig, wenn noch keine technische Referenz für die neue Technologie vorliegt. Bei SABIC konnten wir die Pilotanlage direkt im Konzern etablieren und die Produktqualität vor Ort testen“, so der Ingenieur.

Nachdem Linde die Patente und Rechte an deren LAO-Grundlagen von dem russischen ICP erworben hatte, fehlten die Ingenieure gemeinsam mit den SABIC-Experten weiter an Technologiekonzept und Anlagendesign. Die größte Herausforderung für Ingenieure und Chemiker: das Verhindern von Polymerbildung als unerwünschte Nebenreaktion, also der spontanen und endlosen Verkettung einzelner Ethylen-Moleküle. Denn das Ziel der LAO-Reaktion ist, dass sich nur wenige Chemiebausteine zusammenschließen und möglichst kurze Kohlenwasserstoffketten von vier bis zu maximal ca. 30 Kohlenstoffatomen bilden. Das Herzstück der alpha-SABLIN®-Technologie ist deshalb unter anderem der Katalysator, der die chemische Reaktion in Gang setzt. „Bei dem Verfahren spielen zwei Katalysatorkomponenten eine Rolle, eine Zirkonium- und eine Aluminiumverbindung“, erklärt Bölt. Dieses System ist sehr selektiv und produziert beispielsweise nur besonders wenige der unerwünschten langen Alpha-Olefine – also Ketten mit mehr als 30 Kohlenstoffatomen. Zudem lässt sich über das Verhältnis der beiden Katalysatorkomponenten die Produktver-

teilung leicht verändern: Ein hohes Aluminium-/Zirkonium-Verhältnis führt beispielsweise zu einem Produktgemisch, das zu mehr als 80 Prozent 1-Buten, 1-Hexen und 1-Octen enthält, also Alpha-Olefine mit vier, sechs oder acht Kohlenstoffatomen.

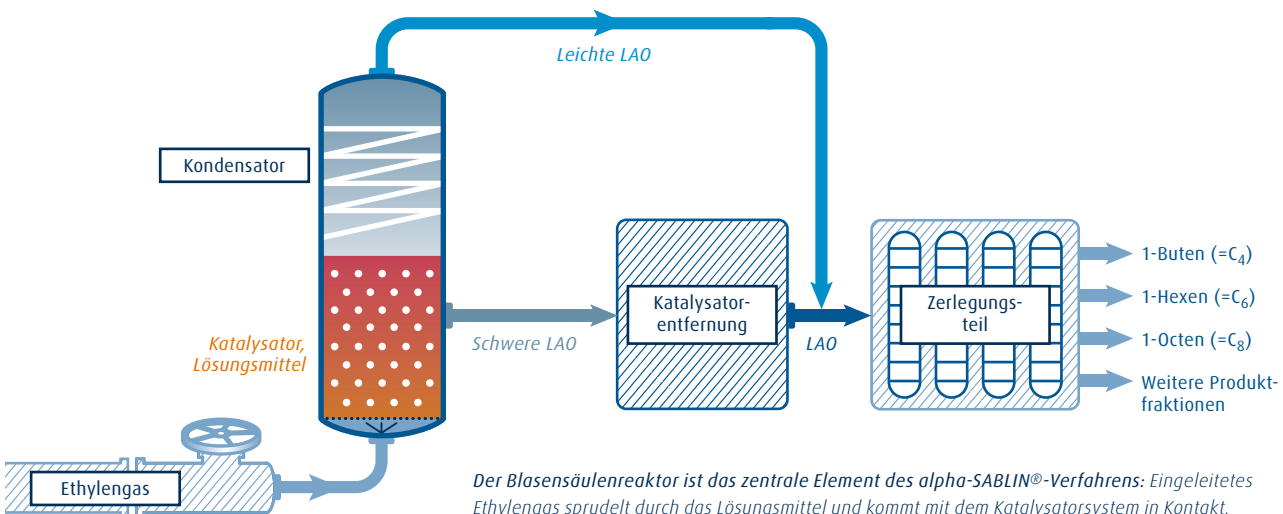
Aber mindestens ebenso wichtig ist das ausgeklügelte Reaktor-konzept: „Vor allem um die entstehende Reaktionswärme muss man sich kümmern“, so Bölt. Die kommerzielle LAO-Produktion findet

### MARKTANTEILE LINEARER ALPHA-OLEFINE



## KOHLLENWASSERSTOFFE KONTROLLIERT VERKETTEN

Das Ethylengas perlt in feinen Bläschen durch die Reaktionslösung. Dort sorgt ein optimiertes Katalysatorsystem dafür, dass sich Lineare Alpha-Olefine (LAO) bilden. Die schweren, langkettigen Produktfraktionen werden zusammen mit dem gelösten Katalysator abgeführt. Dieser wird inaktiviert und entfernt. Anschließend lassen sich die leichten und schweren LAO-Anteile in nachgelagerten Zerlegungsschritten in die gewünschten Produkte auftrennen.





*Pipelines für Polymere: In der Polyethylen-Anlage in Al Jubail, Saudi-Arabien, wird Ethylengas zum Massenkunststoff PE verarbeitet (rechts). Daraus lassen sich Plastikflaschen (links) herstellen, aber auch Folien, Fasern, Kabel und andere Bauteile.*

heute in einem über zehn Meter hohen Blasensäulenreaktor mit einem Durchmesser von mehreren Metern statt. Durch ein spezielles Verteilersystem sprudeln kontinuierlich wenige Millimeter große Ethylen-Gasbläschen durch die Flüssigkeitssäule: Das Katalysatorsystem verknüpft die kleinen Chemiebausteine zu längeren Molekülketten. Dabei entsteht viel Reaktionswärme, die abgeleitet werden muss. Herkömmliche Konzepte wie Kühlschleifen und Wärmetauscher im Reaktionsraum kamen dafür allerdings nicht in Frage. Bölt: „Durch diese Kühlsysteme bilden sich kalte Flächen, und dort können sich unerwünschte Polymere leicht absetzen – das mussten wir unterbinden.“

### Innovatives Reaktorkonzept spart Energie

Dazu griffen die Experten von Linde und SABIC in die Verfahrenstechnik-Trickkiste: Sie lassen kaltes Ethylengas im großen Überschuss durch den Blasensäulenreaktor perlen und nutzen den Gasstrom gleichzeitig als interne Kühlung. „Das Ethylen wird mit Umgebungstemperatur eingeleitet und wird im Reaktor beispielsweise auf 80 Grad Celsius erwärmt – dabei entzieht es der Reaktionsmasse genug Wärme. Zudem sorgen die fein verteilten Gasperlen für eine gleichmäßige Temperaturverteilung“, erklärt der Linde-Ingenieur. Durch diese elegante Lösung lassen sich Ablagerungen von Polymeren oder langkettigen LAO an kalten Oberflächen im Reaktionsraum effektiv vermeiden. Und auch lokale Temperaturspitzen, so genannte Hotspots, die die LAO-Qualität verringern, werden eliminiert. Man benötigt jedoch relativ viel Gas, der Großteil der Ethylenbläschen sprudelt allein für die Kühlung durch den Reaktor.

Beim Scale-up – also dem Transfer von Laborergebnissen in den industriellen Maßstab – spielen neben anderen Gesichtspunkten Recyclingkreisläufe eine große Rolle. „Die Aufbereitung und Rückführung des Ethylengases und des Lösungsmittels für die Reaktion sind nur Beispiele, bei dem unser verfahrenstechnisches Know-how wichtig ist. Denn nur wenn alle Anlagenkomponenten optimal ineinander greifen, arbeitet das ganze System am Ende auch zuverlässig und

wirtschaftlich“, sagt Bölt. Ein weiterer Vorteil des alpha-SABLIN®-Verfahrens: Es kommt mit „milden“ Reaktionsbedingungen aus, also Drücken von 20 bis 30 Bar und Temperaturen zwischen 60 bis 100 Grad Celsius – das spart Energie und Investitionskosten. Zum Vergleich: Andere LAO-Produktionsverfahren, die zudem nicht frei lizenzierbar sind, benötigen rund 200 Bar und arbeiten bei bis zu 300 Grad Celsius.

Das produzierte LAO-Gemisch wird kontinuierlich aus dem Reaktor abgezogen, in seine Komponenten aufgetrennt und gereinigt: zuerst die kürzeren Kohlenwasserstoffketten wie 1-Buten und 1-Hexen und dann sukzessive die schweren Alpha-Olefine. Für die Polyethylenhersteller sind vor allem die kurzkettigen Molekülbausteine interessant: Dieser Anteil fließt denn auch direkt in die Polyethylen-Anlagen von SABIC. Das alpha-SABLIN®-Verfahren ist ein Musterbeispiel für ein erfolgreiches Entwicklungsprojekt, bei dem eine Technologie ausgehend von Laborversuchen, nachfolgendem Betrieb einer Pilotanlage und anschließender Realisierung einer kommerziellen Großanlage entwickelt und erfolgreich vermarktet wird.

„In den letzten Jahren geht der Trend zu Verfahren, die selektiv die Produktion jeweils nur eines einzelnen kurzkettigen LAO ermöglichen – also zum Beispiel nur Ketten mit sechs oder acht Kohlenstoffatomen“, sagt Experte Bölt. Daher arbeitet Linde, wieder zusammen mit SABIC, bereits an der nächsten Generation für die LAO-Produktion – der so genannten LAO On-Purpose-Technologie. Gemeinsam mit Forschern des Leibniz-Instituts für Katalyse an der Universität Rostock wollen Linde und SABIC jetzt ein neues Katalysatorsystem für das bewährte Reaktorkonzept etablieren, um die Kunststoffindustrie noch besser mit hochwertigen Chemiebausteinen versorgen zu können.

---

#### LINK:

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

---

*Antibakterielle Oberflächen durch Kaltgasspritzen*

# MIT ÜBERSCHALL GEGEN MIKROBEN

Tausende von Patienten infizieren sich jedes Jahr mit gefährlichen Klinikbakterien. Besonders leicht verbreiten sich die Krankheitskeime über Türgriffe und Lichtschalter. Mit einem neuen Beschichtungsverfahren, dem Kaltgasspritzen, lassen sich solche Oberflächen jetzt mit einer hochwirksamen Schutzschicht ausstatten: Die Titandioxidkeramik wirkt stark antibakteriell und ist besonders robust. Linde-Ingenieure etablieren die Technologien jetzt gemeinsam mit Materialforschern der Helmut-Schmidt-Universität in Hamburg.

Bakterien sind überall zu Hause. Allein auf unserer Haut und in unserem Körper tummeln sich rund zehn Milliarden Einzeller. Viele Mikroben, beispielsweise Darmbakterien, sind sogar lebenswichtig und unterstützen unser Immunsystem. Aber die Winzlinge können dem Menschen auch gefährlich werden, besonders wenn der Körper schon geschwächt ist – zum Beispiel bei Patienten im Krankenhaus. Experten schätzen, dass sich allein in Deutschland jährlich rund 500.000 Menschen in Kliniken mit Erregern infizieren. Meist geht es glimpflich aus, und es verlängert sich nur der Krankenhausaufenthalt. Aber extrem gefährlich sind so genannte multi-resistente Keime: „Gegen sie sind viele der gängigen Antibiotika wirkungslos, so dass Infektionen mit solchen Erregern teilweise tödlich enden“, sagt Peter Heinrich von der Linde Gases Division.

Der Ingenieur arbeitet deshalb zusammen mit Wissenschaftlern an Methoden, mit denen sich Bakterien in Kliniken bekämpfen lassen: „Am besten setzt man dort an, wo die Mikroben lauern: auf Lichtschaltern, Türklinken oder Wasserhähnen“, so Heinrich. Selbstverständlich desinfiziert das Reinigungspersonal solche Bakterienhorte regelmäßig. Doch zwischen den Reinigungen werden die Oberflächen durch medizinisches Personal, Patienten und Besucher immer wieder neu kontaminiert. Die Mikrobenabwehr ist also schnell dahin. Gemeinsam mit Materialforschern

## KRANKENHAUS – BAKTERIEN LAUERN AUCH AUF TÜRKLINKEN.

der Helmut-Schmidt-Universität (HSU) in Hamburg haben Heinrich und sein Kollege Werner Krömmel jetzt eine neue selbstdesinfizierende Beschichtung entwickelt: Diese neue Keramikbeschichtung „ist für Menschen absolut ungefährlich – für Bakterien aber fast hundertprozentig tödlich“, erklärt Jan-Oliver Kliemann, Physiker in der Arbeitsgruppe an der HSU. Die neue Schutzschicht besteht aus Titandioxid. Die Substanz ist in der Industrie seit Langem etabliert – als weißes Pigment in Zahnpasta oder Wandfarben. Das Besondere daran: Fällt Licht auf ein Titandioxidmolekül, wird es chemisch reaktionsfähig. Photokatalyse nennen Fachleute diese chemische Lichtreaktion. Elektronen werden aktiviert. Diese greifen die Moleküle in der dünnen Bakterienmembran an und durchlöchern so die lebenswichtige Außenhaut der Erreger.

Die Herausforderung für die Oberflächen-Experten bestand darin, mit dem Titandioxid eine feste, haltbare und antibakteriell wirksame Schicht auf völlig verschiedenen Metallen wie Aluminium, Kupfer und Stahl zu erzeugen. Dabei setzen die Forscher auf ein erst seit wenigen Jahren etabliertes Industrieverfahren – das Kaltgasspritzen: Dabei wird aus einer Düse feines Metallpulver mit Überschallgeschwindigkeit auf eine Oberfläche geschossen. Durch den extrem starken Aufprall werden die einzelnen Partikel in Sekundenbruchteilen fest mit der Bauteil-



Autor: Tim Schröder  
Bildquelle: Danny Gys/Reporters/SPL/Agentur Focus

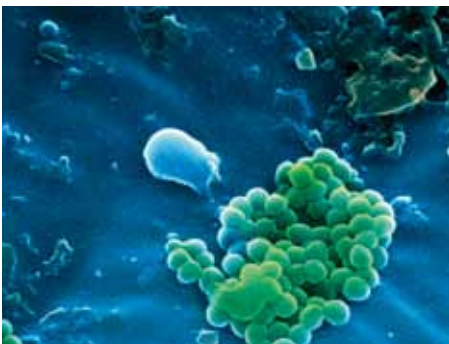




**Keimfreie Zonen:**  
Die hygienischen Bedingungen in  
Krankenhäusern entscheiden über das  
Wohlergehen der Patienten.



**Türklinken-Check:** Werner Krömmer, Peter Heinrich und Prof. Thomas Klassen (von li.) prüfen die Beschichtung.

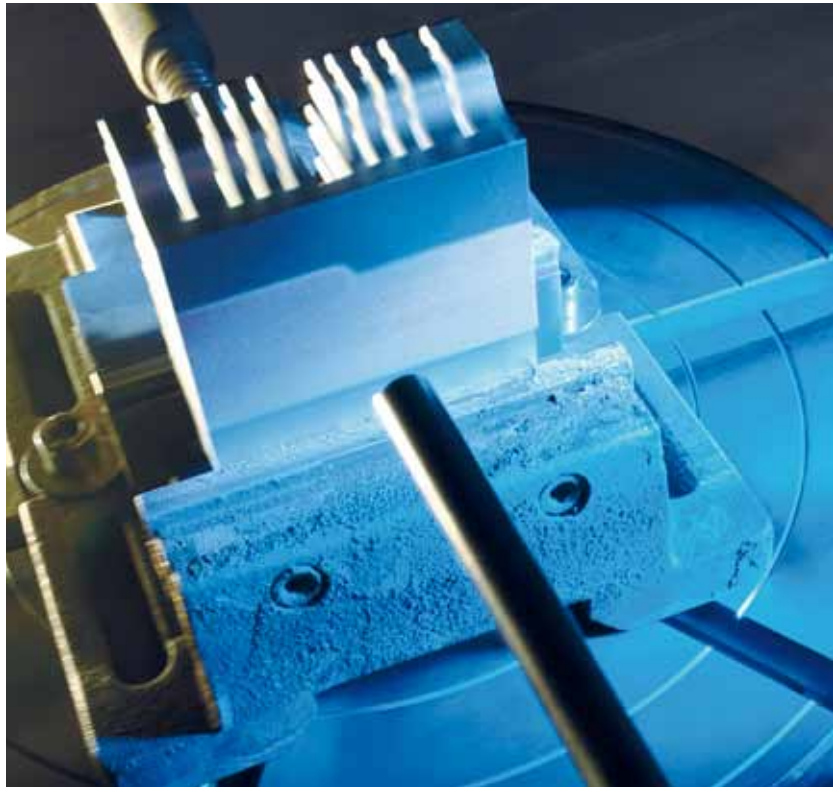


**Gefürchtetes Bakterium:** Staphylococcus aureus ist für geschwächte Patienten besonders gefährlich.

oberfläche verschweißt. Den Forschern an der Helmut-Schmidt-Universität ist es nun gelungen, mit diesem Verfahren auch das keramische Titandioxid zu verarbeiten.

„In den vergangenen Jahren haben Forscher weltweit schon mehrfach versucht, antibakterielle Titandioxidschichten auf Oberflächen zu erzeugen“, sagt Kliemann, „doch diese sind entweder nicht robust genug oder ihre antibakterielle Wirkung ist zu gering.“ Der Grund: Bislang wollte man die Keramik mit herkömmlichen thermischen Spritzverfahren auf die Oberflächen bringen. Dabei wird das Material auf mehr als 2.000 Grad Celsius erhitzt. Für Titandioxid sind diese Bedingungen zu hart: Die Verbindung wandelt sich um und verliert damit auch ihre photokatalytische Eigenschaft – und wirkt dann nicht mehr antibakteriell. Der Vorteil beim Kaltgasspritzen: Dank der hohen Geschwindigkeit, mit der die Keramikpartikel auf die Oberfläche treffen, sind nur geringe Temperaturen von wenigen 100 Grad Celsius nötig. Die erträgt das Titandioxid durchaus. „Verglichen mit alltäglichen Temperaturen ist das natürlich hoch, aber im Gegensatz zu thermischen Spritzverfahren noch moderat“, sagt Kliemanns Kollege Henning Gutzmann. „Daher rührt die Bezeichnung Kaltgas“, so der Forscher.

Ohne die Zusammenarbeit mit Linde hätte es die Titandioxidbeschichtung nicht gegeben, betonen die Hamburger. Denn die technischen Hürden waren enorm: Um die Keramikpartikel auf Überschallgeschwindigkeit zu bringen, müssen in kürzester Zeit große Mengen Trägargas – die Hamburger Forscher verwenden Stickstoff – durch die



**Überschalltempo für Partikel:** Mit extremer Geschwindigkeit treffen die Keramikteilchen auf das Bauteil und verschmelzen dort mit der Oberfläche.

Leitungen gepumpt werden. Der Gasstrom reißt die Partikel mit und schleudert sie auf die Metalloberflächen. Mit 40 Bar, dem Zwanzigfachen des Autoreifendruckes, jagt der Stickstoff durch die Düse und erreicht dabei Geschwindigkeiten von rund 800 Meter pro Sekunde – das ist rund eineinhalbmal so schnell wie der schnellste Düsenjäger. Gut 200 Kubikmeter Stickstoff – ein Volumen von Swimmingpool-Ausmaßen – rauschen in einer Stunde durch die wenige Millimeter breite Düsenöffnung. „Für uns bestand die Schwierigkeit darin, ein Leitungs- und Ventilsystem zu entwickeln, das diese Durchflussmenge bewältigen kann“, erklärt Heinrich, Spezialist für das Kaltgasspritzen bei Linde.

### Teamwork: Licht und Titandioxid vernichten Keime

Zwar zischt der Stickstoff mit einem hohen Druck von 200 Bar durch die Leitung, doch er muss auf 40 Bar Betriebsdruck gedrosselt werden. „Dennoch wollten wir zugleich einen hohen Durchfluss erreichen“, so der Linde-Experte. Druck mindern bei hohem Durchfluss – das kam einer Quadratur des Kreises gleich. Heinrich und sein Team entwarfen ein Leitungssystem mit einem speziellen Druckminderer: einer Art Stahltopf, der das Gas zwar bremst, aber 200 Kubikmeter pro Stunde passieren lässt. Um das Verfahren unabhängig voneinander testen zu können, bauten die Ingenieure in Hamburg und im Anwendungstechnischen Zentrum von Linde in Unterschleißheim bei München zwei identische Anlagen auf. Wenn die Maschinerie angeworfen wird und das Gas-Pulvergemisch gegen das Metall donnert,



### WACHSTUMSBASIS FÜR KNOCHENZELLEN

Vom Zahn bis zum Zeh: Die Medizintechnik hat Implantate für verschiedenste Einsatzmöglichkeiten im menschlichen Körper entwickelt. Besonders wichtig: eine raue und offenporige Oberfläche. Nur dann kann das Knochengewebe optimal mit dem Ersatzteil verwachsen. Mithilfe des Thermischen Spritzens lassen sich Knie- (oben) und Schultergelenke (unten) mit geeigneten Schichten ausstatten.



ist der Lärm enorm. Daher steht der Versuchsbau auf dem Hamburger Campus etwas abseits. Das kleine Labor beherbergt ein Geflecht von Rohren, Ventilen und Apparaturen. Eine Heizspirale bringt das Trägergas auf Temperatur, bevor es durch die Düse strömt. Aus zwei thermoskannengroßen Vorratsbehältern wird das Keramikpulver zugeführt, wenn der Stickstoff vorbeirauscht. Damit eine neue Beschichtung fest auf einer Werkstoffoberfläche haftet, müssen die Forscher die Mischung optimal dosieren – und alle Parameter aufeinander abstimmen: Druck, Durchflussgeschwindigkeit, Temperatur und selbst die Form der mehrere Zentimeter langen Düse. „Von ihrer Geometrie hängt es ab, ob die Teilchen die ideale Flugbahn und das erforderliche Tempo erreichen“, sagt Heinrich. Die Düsenform muss präzise an das Trägergas und die Partikel angepasst werden. Linde und die Hamburger Hochschule kooperieren dazu mit dem Aerodynamik-Experten Horst Richter vom Dartmouth College in Hanover, New Hampshire, USA.

Für die Titandioxidbeschichtung haben die Kooperationspartner ihren Kaltgasspritzprozess inzwischen optimiert. Und auch bereits Vergleiche mit etablierten Verfahren angestellt. Denn antibakterielle Beschichtungen sind bereits seit einigen Jahren auf dem Markt: Kupferoberflächen sind ausgesprochen wirksam, wenn sie neu sind. Mit der Zeit oxidieren diese allerdings und die antibakterielle Wirkung schwindet. Silberverbindungen, mit denen man auch Kühlschränke

beschichtet, halten auf Dauer aggressiven Reinigungsmitteln nicht stand. „Als sehr viel robuster erweist sich unsere kaltgasspritzte Titandioxidoberfläche“, resümiert Gutzmann. Das neue Hamburger Verfahren musste sich bereits in einem Mikrobiologielabor dem Vergleich mit alternativen Oberflächen stellen – beispielsweise mit einer durch thermische Spritzverfahren hergestellten Titandioxidbeschichtung. Das Ergebnis: Die kaltgasspritzten Oberflächen zeigen eine sehr viel stärkere photokatalytische Wirkung.

Mit der Verwirklichung einer antibakteriell hochwirksamen Keramikbeschichtung schlagen die HSU- und Linde-Experten ein neues Kapitel im Kaltgasspritzen auf, denn bislang konzentriert man sich fast ausschließlich auf metallische Beschichtungen. „Seit knapp zehn Jahren ist das Verfahren etabliert“, sagt Thomas Klassen, Professor für Werkstofftechnik an der HSU. Zu den Anwendungen gehört unter anderem die Beschichtung von Wärmetauschern für die Computerkühlung. Die Hitze der Prozessoren wird üblicherweise über teure Kupferbauteile abgeführt. Jetzt werden Kupferschichten auf Aluminiumstrukturen gespritzt, die die Wärme ableiten. „Die Kupferpartikel durchdringen dabei die sonst unvermeidbare Oxidschicht auf dem Aluminiumkörper – ein großer Vorteil für die Wärmeleitung“, sagt Klassen. Etabliert ist auch die Beschichtung von Aluminiumpfannen mit Eisenmetallen. Dank der dünnen Stahlschicht kann man diese auch auf modernen Induktionsherden verwenden.

Rund 75 Kaltgasspritzanlagen gibt es inzwischen weltweit. In den meisten steckt das Anlagen-Know-how von Linde. Dabei ist Heinrich zusammen mit dem Amtsvorgänger von Klassen – Prof. Dr. Heinrich Kreye – in den 1990er-Jahren eher zufällig auf das Verfahren gestoßen. Russische Materialwissenschaftler hatten das Prinzip unfreiwillig entdeckt, nachdem sie versehentlich im Windkanal eine fest haftende Metallschicht auf ihren Messinstrumenten erzeugt hatten. „Die russischen Kollegen stellten die Ergebnisse auf einer Tagung vor“, erinnert sich Heinrich. „Das klang für uns hochinteressant.“ Der Erfolg der Technologie sei in dem Maße aber nicht vorauszusehen gewesen, sagt Heinrich – und ebenso wenig eine antibakterielle Keramikbeschichtung. Die Hamburger sind mittlerweile mit zwei Kliniken im Gespräch. „Uns war schnell klar, dass die Technologie großes Marktpotenzial besitzt“, so Kliemann, „dementsprechend groß war das Interesse, das uns insbesondere Kliniken und Behörden entgegengebracht haben.“

Im kommenden Jahr sollen erste Türklinken und Schalter mit Titandioxidoberflächen getestet werden. Gutzmann und Kliemann prüfen die Robustheit ihrer Beschichtung schon lange: Seit gut zwei Jahren steckt in ihrer Bürotür ein solcher Türgriff. „Und der sieht immer noch sehr gut aus“, so Kliemann.

## BAKTERIEN- ABWEHR AB 2012 IM PRAXISTEST.

LINK:

[www.coldspraying.info](http://www.coldspraying.info)

*Erdgasförderung auf hoher See*

# DIE SCHWIMMENDE LNG-FABRIK

Erdgas aus dem Meer: Um den begehrten Energierohstoff effizient zu bergen, werden schwimmende Hightech-Fabriken benötigt. Linde-Ingenieure entwickeln gemeinsam mit Experten von SBM Offshore Schiffe, die den Rohstoff fördern und auch in Flüssigerdgas, kurz LNG, verwandeln. Mit dieser Technologie könnten sich künftig selbst küstenferne Ressourcen wirtschaftlich erschließen lassen.

Der Schatz schlummert tief unter dem Ozean: Rund 680 Kilometer westlich von der australischen Küstenstadt Darwin liegen mehrere Erdgasfelder dicht beieinander. Die verborgenen Ressourcen sollen künftig helfen, den wachsenden Energiehunger der Welt möglichst klimaweltfreundlich zu stillen: Denn Erdgas besteht überwiegend aus Methan, und das verbrennt mit 30 Prozent weniger CO<sub>2</sub>-Emissionen als beispielsweise Erdöl. Experten sehen daher im Erdgas einen unverzichtbaren Rohstoff im Energiemix der Zukunft.

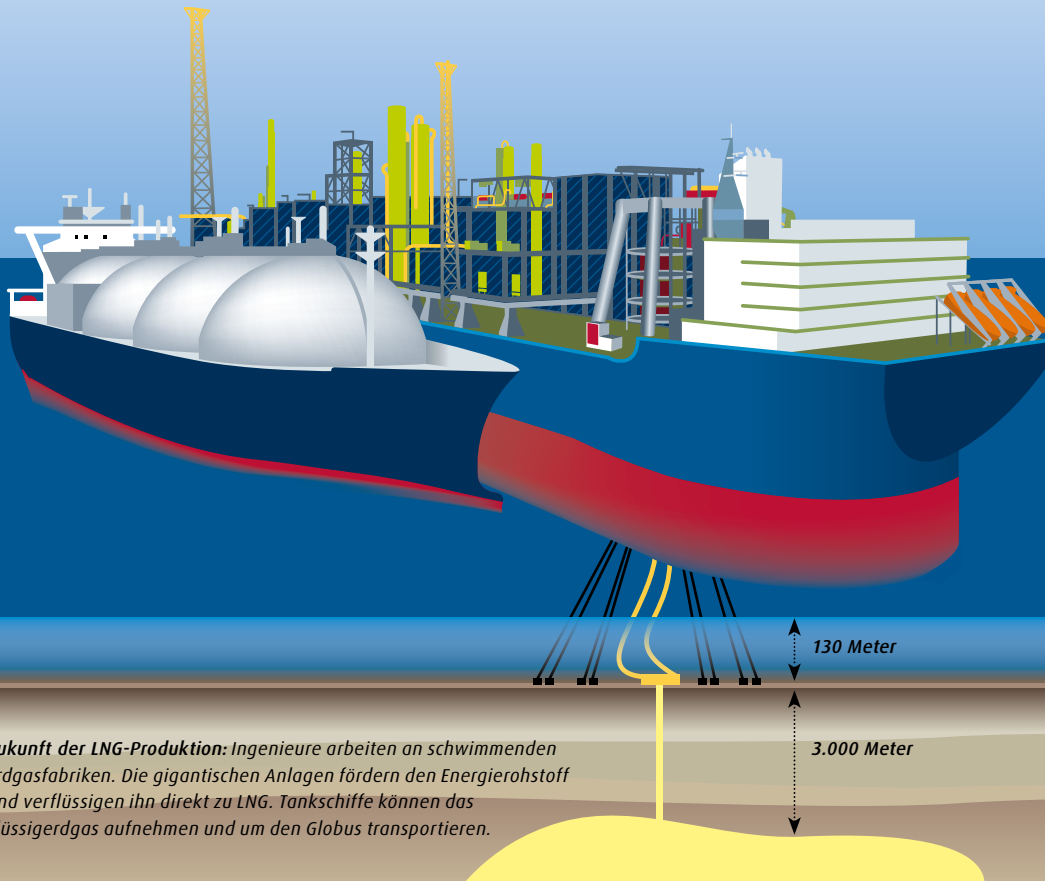
Aber die Nutzung abgelegener Lagerstätten unter dem Meeresboden – die Offshore-Gasförderung – ist bislang wirtschaftlich kaum machbar. Denn: „Unterseepipelines über hunderte Kilometer zu installieren, ist sehr kostspielig“, sagt Dr. Marc Schier, Projektmanager bei der Linde Engineering Division. Gemeinsam mit seinen Kollegen arbeitet der Ingenieur an innovativen Technologien. Noch hängen diese als

Computerskizze an der Wand hinter seinem Schreibtisch. Das Poster zeigt einen völlig neuen Schiffstyp: eine schwimmende Fabrik. Auf dem Spezialschiff, einer Kombination aus Riesentanker und Raffinerie, prangt der Schriftzug „LNG-FPSO“. Die Abkürzung steht für Liquefied Natural Gas – Floating Production Storage and Offloading. Das Schiff soll Erdgas auf hoher See fördern, aufbereiten und in flüssiges Erdgas, kurz LNG, verwandeln – zum einfachen Transport in alle Welt. „Mit dieser neuen Technologie wollen wir künftig auch Erdgasvorkommen in weit entfernten Ozeanregionen anzapfen“, so Schier.

Zusammen mit Spezialisten für Offshore-Technik, der niederländischen Firma SBM Offshore, arbeiten die Linde-Ingenieure daran, aus der Computerskizze Realitäten zu schaffen. An Bord des Hightech-Schiffes sollen sämtliche Anlagen bereitstehen, um das Gas zu reinigen, auf minus 163 Grad Celsius zu flüssigem Erdgas abzukühlen und mehrere Tage zu lagern. Entsprechend groß ist der schwimmende Koloss: Mit 400 Metern Länge und 65 Metern Breite misst er soviel wie vier Fußballfelder hintereinander. „Der Schiffskörper ist 36 Meter hoch, und die Rohrsysteme und Kolonnen ragen bis zu 40 Meter über das Deck hinaus. Der integrierte Fackelturm misst sogar mehr als 100 Meter“, so Schier. Und auch die Aufbauten für Besatzung und zur Produktionssteuerung müssen auf dem Schiff untergebracht werden. Im normalen Betrieb leben und arbeiten bis zu 120 Menschen an Bord. Trotz der gigantischen Ausmaße ist die schwimmende LNG-Fabrik verglichen mit einer Flüssigerdgas-Produktion an Land sehr kompakt. „Dort würde eine Anlage mit vergleichbarer Kapazität die zehnfache Fläche einnehmen“, sagt Taco Terpstra, Projektmanager bei SBM Offshore. Bereits seit 2007 arbeitet Linde mit SBM an der Offshore-Erdgasverflüssigung. Die Linde-Experten entwickeln Anlagen zur Aufbe-



*Flüssige Energie: Kugeltankschiffe transportieren das LNG rund um den Globus.*



**Zukunft der LNG-Produktion:** Ingenieure arbeiten an schwimmenden Erdgasfabriken. Die gigantischen Anlagen fördern den Energierohstoff und verflüssigen ihn direkt zu LNG. Tankschiffe können das Flüssigerdgas aufnehmen und um den Globus transportieren.

reitung und Verflüssigung des Gases. SBM bringt das Know-how für den Schiffsbau, die Offshore-Energieerzeugung und die LNG-Verladedechnik mit. Mehr als 180.000 Ingenieursstunden stecken bereits in dem Konzept. Der Aufwand zahlt sich jetzt aus: Linde und SBM haben einen Kooperationsvertrag mit den Firmen PTT FLNG Limited und PTTEP Australasia über die Entwicklung der schwimmenden Erdgasfabrik abgeschlossen. Damit sollen die drei Gasfelder Cash/Maple, Oliver und Southern in der Timorsee zwischen Australien und Indonesien erschlossen werden. Läuft alles nach Plan, könnte ab Anfang 2017 die Bergung des Erdgas-schatzes beginnen.

Derzeit bewährt sich die FPSO-Technik bei einem vergleichbaren Einsatz: in der Offshore-Förderung von Petroleumgas und Erdöl. Petroleumgas, das zu LPG (Liquefied Petroleum Gas) verarbeitet wird, muss allerdings nur auf minus 40 Grad Celsius gekühlt werden, bis es flüssig wird. Der Kühlprozess für Erdgas ist viel aufwendiger und erfordert größere Anlagen. „Die Aufbauten der schwimmenden LNG-Fabrik wiegen bis zu fünfmal mehr als die eines Schiffs für die Offshore-Ölförderung“, sagt Terpstra. Entscheidend für das Anlagen-design ist auch die Auswahl des Kühlprozesses. Die Ingenieure haben sich für den von Linde entwickelten LIMUM®-Prozess entschieden. Herzstück sind die gewickelten Wärmetauscher und die Verwendung eines Gemischkältekreislaufes: „Im Gegensatz zur Kühlung mit auf Stickstoff-Expander-Kreisläufen basierenden Technologien ist das Verfahren bis zu 40 Prozent effizienter“, sagt Linde-Experte Schier. „Und es benötigt für die von uns angestrebte Kapazität weniger Platz.“ Die Anlagen- und Rohrsysteme müssen selbst bei

Seegang störungsfrei und sicher funktionieren. „Durch die Wellen ist das Schiff permanent in Bewegung“, sagt Schier.

Zusammen mit seinen Kollegen hat er die Wärmetauscher optimal an die Bedingungen auf hoher See angepasst: Wellensimulationen in Labortests zeigten, dass die schwimmende LNG-Fabrik selbst einem Zyklon mit einer Stärke standhalten würde, wie er nur alle 10.000 Jahre vorkommt. Das tiefkalt verflüssigte Erdgas kann dann seine Reise per LNG-Tanker antreten. „Alle acht bis zehn Tage würde

ein solches Tankschiff an das FPSO-Schiff andocken und das produzierte LNG abholen – bis zu 140.000 Kubikmeter pro Ladung“, erklärt Schier. An Land wird die kalte Fracht wieder in den gasförmigen Zustand überführt, in ein bestehendes Erdgas-Pipelinennetz gespeist und zum Verbraucher transportiert. Die schwimmende LNG-Fabrik soll künf-

tig rund 2,3 Millionen Tonnen Flüssigerdgas im Jahr fördern. Diese Menge reicht aus, um den Energiebedarf einer Stadt mit etwa zwei Millionen Einwohnern zu decken, also mit Wärme, Strom und Kraftstoff zu versorgen. Das Potenzial für die innovative Fördertechnik ist enorm: Schätzungen besagen, dass 85 Billionen Kubikmeter Erdgas im Meeresboden lagern. Ein gewaltiger Schatz für die Energieversorgung der Zukunft – den es aber noch zu heben gilt.

## OZEANGIGANT: FPSO-SCHIFF MISST 400 METER.

LINK:

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



↙ Bildquelle: H.-B. Huber/loif  
↘ Autorin: Clara Steffens

## Ultraleicht-Flaschen für die Ambulanz

# LEBEN RETTEN MIT SAUERSTOFF

Wenn ein verunglückter Mensch um sein Leben kämpft, zählt jede Sekunde. Damit Notärzte ein Unfallopfer vor Ort mit lebensrettendem Sauerstoff versorgen können, brauchen sie kompakte Flaschen für ihre Rettungskoffer. Linde hat den weltweit leichtesten Gaszylinder entwickelt.

Gipfeldrama in den Alpen: Wetterumschwünge, Sturzverletzungen oder Erschöpfung – immer wieder geraten Bergsteiger in akute Not. Oft gelangen die Retter nur per Helikopter zu den Verunglückten. Dann steht den Helfern nur eine reduzierte medizinische Ausrüstung zur Verfügung. Entsprechend leicht muss der Notfallkoffer sein.

Ein wertvoller Lebensretter ist Sauerstoff. Das Medizingas zählt zur Basisausrüstung in der Notfallambulanz: Leidet ein Patient unter Atemnot oder sinkt die Sauerstoffsättigung im Blut, muss mit einer Atemmaske zusätzlich Sauerstoff zugeführt werden. Die Linde-Tochter BOC Healthcare in Großbritannien hat für die kompakten Rettungskoffer der Sanitäter und Ärzte eine Sauerstoffflasche entwickelt, die besonders leicht und handlich ist: Gerade einmal 1,55 Kilogramm wiegt sie in gefülltem Zustand – und ist damit die weltweit leichteste ihrer Art. Die O<sub>2</sub>-Zylinder eignen sich nicht nur für Gebirgsinsätze. „Auch Notärzte in Großstädten bevorzugen die Leichtgewichte“, erklärt Melike Palalioglu, Projektmanager bei BOC Healthcare. „Viele Ambulanzen setzen mittlerweile auf wendige Motorräder, damit Notärzte schneller an enge Unfallstellen gelangen – entsprechend kompakt muss der Rettungskoffer sein.“

Das Gewicht ist nur ein Vorteil der Sauerstoffflaschen im Mini-Format. „Beim Design haben wir besonders darauf geachtet, dass sie sich auch leicht bedienen lassen – und Rettungsärzten und Patienten jederzeit Sicherheit bieten“, so Palalioglu. In enger Zusammenarbeit mit Medizinern haben die Experten von BOC Healthcare und Zylinderhersteller Luxfer Gas Cylinders deshalb so lange am Design der Flasche und dem Gasventil gefeilt, bis alle Anforderungen erfüllt waren: Die Ultraleicht-Flasche mit dem Namen „101-ZA“ setzt sich zusammen

## O<sub>2</sub> FÜR DEN NOTFALL EINFACH TRANSPORTIEREN – UND DOSIEREN.

aus einem Innenbehälter, der aus einer Aluminiumlegierung besteht. Diese innerste Gefäßwand wird umhüllt von einer Schicht aus Kohlenfasern. Eine zusätzliche äußere Gel-Hülle macht die Oberfläche robust. „Dadurch sinkt das Risiko, dass ein Sanitäter den Zylinder versehentlich beim Einsatz am Unfallort beschädigt“, sagt Palalioglu. Das Gasventil besitzt einen einfachen Regler, mit dem sich die Sauerstoffdosis variieren lässt: vom Kind bis zum Erwachsenen kann der Notarzt die passende Durchflussmenge präzise einstellen und über eine Anzeige die aktuelle Füllmenge ablesen. Palalioglu: „Je weniger sich die Rettungskräfte auf die Bedienung konzentrieren müssen, desto besser für den Verunglückten.“ Auch das inhalierbare Schmerzmittel ENTONOX® – eine Mischung aus Distickstoffmonoxid und Sauerstoff – gibt es mittlerweile in den kompakten Ultraleicht-Zylindern. Die Inhalation von ENTONOX® lindert Schmerzen schnell und effektiv –

ganz ohne Spritze. Der Vorteil: Das Schmerzmittel spricht rasch an – und seine Wirkung klingt schnell wieder ab. 30 Minuten nach der Inhalation spüren die Patienten in der Regel keine Nachwirkungen mehr.

Nicht nur im Rettungsdienst, auch für Patienten zu Hause eignen sich die Ultraleicht-Zylinder. „Vor allem für junge Patienten und ältere Menschen sind sie leichter zu handhaben“, sagt Mark Habgood, Planungsmanager. Robust, leicht und sicher – die kleinen Zylinder für medizinische Gase kommen nicht nur im Notfall groß raus.

### LINK:

[www.boclifeline.co.uk](http://www.boclifeline.co.uk)

# So sieht Zukunft aus:

Wir zeigen unsere innovative Wasserstofftechnik im Linde Hydrogen Center.

Als eines der weltweit führenden Gase- und Engineeringunternehmen entwickeln wir unter anderem nachhaltige Energielösungen für die Zukunft. Wasserstoff ist als ideales Speichermedium für regenerative Energiequellen besonders geeignet. Im Linde Hydrogen Center bei München und weiteren Installationen rund um die Welt findet die emissionsarme Wasserstofftechnologie bereits heute tägliche Anwendung. Diese weltweit einzigartige Einrichtung dient neben der Betankung von wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen auch als Test- und Erprobungszentrum für die nächste Generation von Technologien und Anwendungen. Weitere Informationen finden Sie unter [www.linde.com/hydrogen](http://www.linde.com/hydrogen)

Leading.

  
THE LINDE GROUP

Herausgeber

Linde AG

Klosterhofstraße 1

80331 München

Telefon +49.89.35757-01

Telefax +49.89.35757-1398

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