

Das Linde Annual 2011.

# Clean Technology Solutions.

Leading.



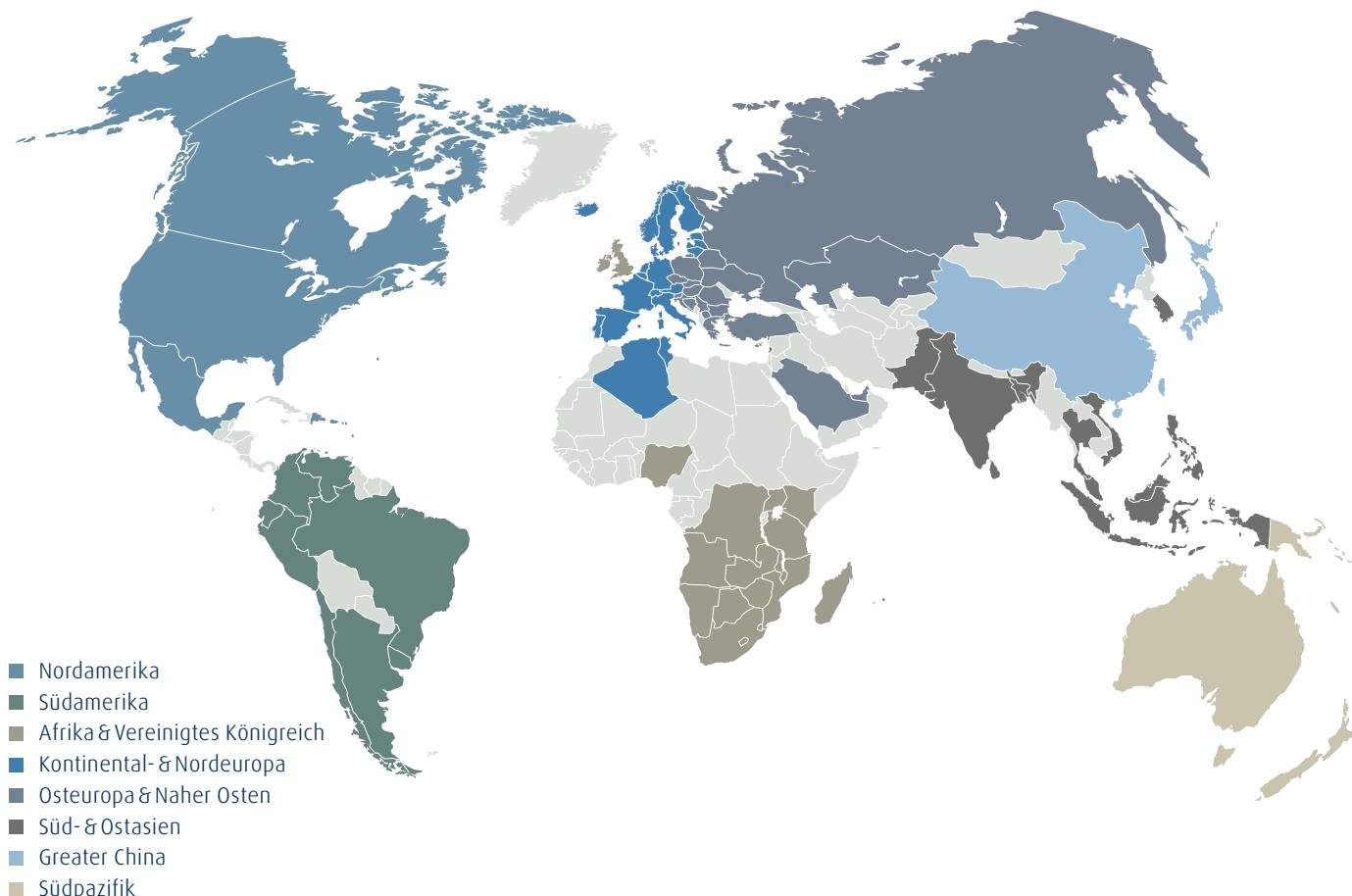
THE LINDE GROUP

## Die Linde Welt

Die Gases Division gliedert sich innerhalb der drei operativen Segmente EMEA (Europa, Mittlerer Osten und Afrika), Asien/Pazifik sowie Amerika in acht Regional Business Units (RBUs). Darüber hinaus umfasst die Gases Division die beiden Global Business Units (GBUs) Healthcare (Medizinische Gase) und Tonnage (On-site) sowie

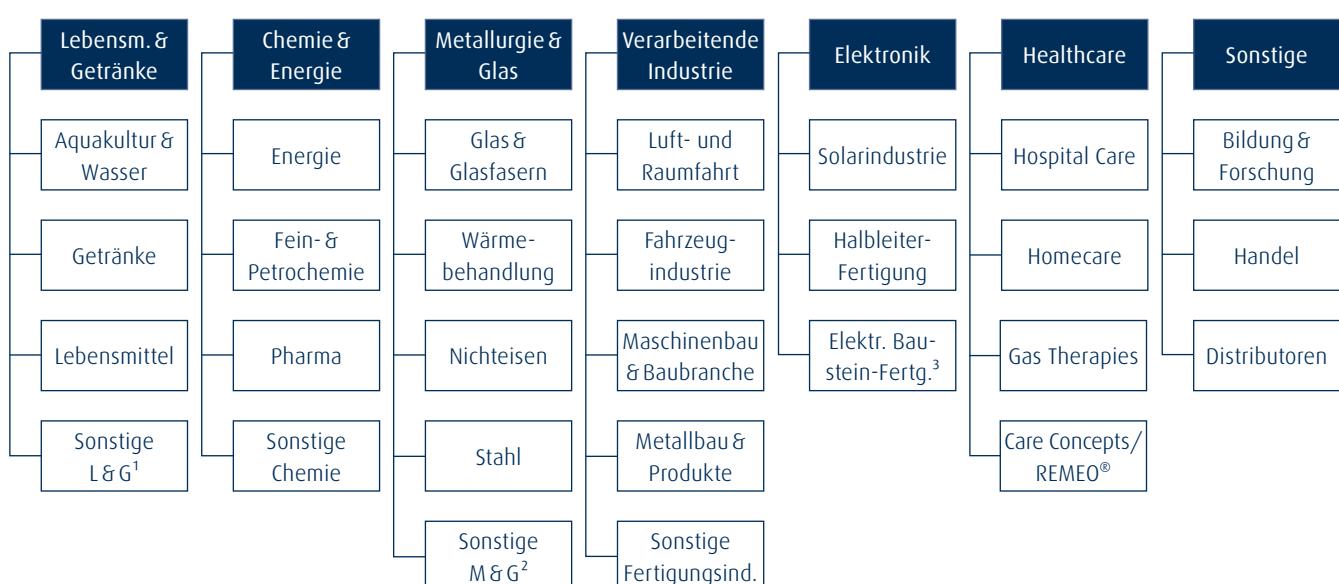
die zwei Business Areas (BAs) Merchant & Packaged Gases (Flüssig- und Flaschengase) und Electronics (Elektronikgase).

Die Engineering Division ist mit ihren Produktbereichen Olefin-Anlagen, Erdgas-Anlagen, Luftzerlegungs-Anlagen sowie Wasserstoff- und Synthesegas-Anlagen weltweit tätig.



## Kundensegmente der Gases Division

Eine breite und ausgewogene Kundenbasis sorgt für Stabilität.



<sup>1</sup> Lebensmittel & Getränke.

<sup>2</sup> Metallurgie & Glas.

<sup>3</sup> Elektronische Baustein-Fertigung.

## Unternehmensprofil

### The Linde Group

The Linde Group ist ein weltweit führendes Gase- und Engineeringunternehmen, das mit rund 50.500 Mitarbeitern in mehr als 100 Ländern vertreten ist und im Geschäftsjahr 2011 einen Umsatz von 13,787 Mrd. EUR erzielt hat. Die Strategie der Linde Group ist auf ertragsorientiertes und nachhaltiges Wachstum ausgerichtet. Der gezielte Ausbau des internationalen Geschäfts mit zukunftsweisenden Produkten und Dienstleistungen steht dabei im Mittelpunkt. Linde handelt verantwortlich gegenüber Aktionären, Geschäftspartnern, Mitarbeitern, der Gesellschaft und der Umwelt – weltweit, in jedem Geschäftsbereich, jeder Region und an jedem Standort. Linde entwickelt Technologien und Produkte, die Kundennutzen mit einem Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung verbinden.

### Organisation

Das Unternehmen ist in drei Divisionen aufgeteilt: Gases und Engineering (Kerndivisionen) sowie Sonstige Aktivitäten (Logistikdienstleister Gist). Die größte Division Gases gliedert sich innerhalb der drei berichtspflichtigen Segmente EMEA (Europa, Mittlerer Osten und Afrika), Asien/Pazifik sowie Amerika in acht Regional Business Units (RBUs). Darüber hinaus umfasst die Gases Division die beiden Global Business Units (GBUs) Healthcare (Medizinische Gase und entsprechende Service- und Beratungsleistungen) und Tonnage (On-site, Vorortversorgung von Großkunden) sowie die zwei Business Areas (BAs) Merchant & Packaged Gases (Flüssig- und Flaschengase) und Electronics (Elektronikgase).

### Gases Division

Die Linde Group nimmt im internationalen Gasemarkt eine weltweit führende Position ein. Das Unternehmen bietet eine breite Palette an Druck- und Flüssiggasen sowie Chemikalien und ist damit ein wichtiger und verlässlicher Partner für unterschiedlichste Industrien. Gase von Linde werden beispielsweise im Energiesektor, in der Stahlproduktion, der Chemieverarbeitung, dem Umweltschutz, dem Schweißen sowie in der Lebensmittelverarbeitung, der Glasproduktion und der Elektronik eingesetzt. Darüber hinaus baut das Unternehmen die Sparte Healthcare, das Geschäft mit medizinischen Gasen, konsequent aus und ist zudem in der Weiterentwicklung der umweltfreundlichen Wasserstoff-Technologie weltweit führend.

### Engineering Division

Lindes Engineering Division ist mit der Fokussierung auf die zukunftsreichen Marktbereiche Olefin-Anlagen, Erdgas-Anlagen, Luftzerlegungs-Anlagen sowie Wasserstoff- und Synthesegas-Anlagen (siehe Glossar) weltweit erfolgreich. Im Unterschied zu fast allen Wettbewerbern kann das Unternehmen bei der Planung, der Projektierung und dem Bau von schlüsselfertigen Industrie-Anlagen auf eigenes, umfassendes verfahrenstechnisches Know-how zurückgreifen. Linde Anlagen werden für Projekte in den verschiedensten Bereichen eingesetzt: in der Petrochemie und der chemischen Industrie, bei Raffinerien und Düngemittelfabriken, für die Gewinnung von Luftgasen, zur Erzeugung von Wasserstoff und Synthesegasen, zur Erdgasbehandlung sowie für die pharmazeutische Industrie.

## Linde in Zahlen

	Januar bis Dezember		
	2011	2010	Veränderung
in Mio. €			
<b>Aktie</b>			
Schlusskurs	€ 114,95	113,55	1,2 %
Höchstkurs	€ 125,80	115,30	9,1 %
Tiefstkurs	€ 96,16	76,70	25,4 %
Marktkapitalisierung (zum Jahresschlusskurs)	19.663	19.337	1,7 %
Angepasstes Ergebnis je Aktie <sup>1</sup>	€ 7,71	6,89	11,9 %
Ergebnis je Aktie – unverwässert	€ 6,88	5,94	15,8 %
Anzahl ausstehender Aktien (in Tsd. Stück)	171.061	170.297	0,4 %
<b>Umsatz</b>	13.787	12.868	7,1 %
Operatives Ergebnis <sup>2</sup>	3.210	2.925	9,7 %
Operative Marge	23,3 %	22,7 %	+60 bp <sup>3</sup>
EBIT vor Abschreibung auf aufgedeckte stille Reserven	2.152	1.933	11,3 %
Ergebnis nach Steuern	1.244	1.064	16,9 %
Anzahl der Mitarbeiter	50.417	48.430	4,1 %
<b>Gases Division</b>			
Umsatz	11.061	10.228	8,1 %
Operatives Ergebnis	3.041	2.766	9,9 %
Operative Marge	27,5 %	27,0 %	+50 bp <sup>3</sup>
<b>Engineering Division</b>			
Umsatz	2.531	2.461	2,8 %
Operatives Ergebnis	304	271	12,2 %
Operative Marge	12,0 %	11,0 %	+100 bp <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Bereinigt um die Einflüsse der Kaufpreisallokation.

<sup>2</sup> EBITDA inklusive des anteiligen Ergebnisses aus assoziierten Unternehmen und Joint Ventures.

<sup>3</sup> Basispunkte.

## Unsere Unternehmenswerte

### *Passion to excel.*

Mit Leidenschaft Herausragendes leisten.

### *Innovating for customers.*

Innovationen für unsere Kunden schaffen.

### *Empowering people.*

Uns gegenseitig fördern und fordern, bestärken und vertrauen.

### *Thriving through diversity.*

Erfolg durch Vielfalt.

## Unsere Vision

*Wir werden das weltweit führende Gase- und Engineeringunternehmen sein, dessen Mitarbeiter höchste Wertschätzung genießen und das innovative Lösungen bietet, die die Welt verändern.*



# Clean Technology Solutions.

Unsere moderne Gesellschaft ist auf eine bezahlbare, verlässliche und umweltschonende Energieversorgung angewiesen. Dies sicherzustellen ist mehr denn je eine große Herausforderung. Denn der Energiebedarf steigt weltweit weiter an, und damit erhöhen sich auch die Risiken für Klima und Umwelt. Der Weg zu einer zunehmend sauberen Energiewirtschaft führt über den kontinuierlichen Ausbau erneuerbarer Energiequellen und über den Einsatz neuer Technologien. Linde verfügt über alle erforderlichen Kompetenzen, die eine effiziente Erschließung und Nutzung unserer Ressourcen ermöglichen. Mit seinen Clean Technologies ist das Unternehmen in dem strukturellen Wachstumsmarkt Energie und Umwelt global hervorragend positioniert und leistet einen wertvollen Beitrag zu einer nachhaltigen Energieerzeugung und -versorgung.

**Vorderer Umschlag**

- U2 Unsere Unternehmenswerte
- U2 Unsere Vision
- U3 Die Linde Welt
- U3 Kundensegmente der Gases Division
- U4 Unternehmensprofil
- U4 Linde in Zahlen

**Hinterer Umschlag**

- U5/U7 Jahresrückblick
- U6 Glossar

04 Kapitel 1

## Die Energie der Zukunft.

05 Dr. Fatih Birol, Chefökonom der Internationalen Energieagentur, über unsere künftige Energieversorgung

10 Kapitel 2

## Förderung fossiler Rohstoffe.

16 Effiziente Erdöl- und Erdgaserschließung  
18 Wachstumsmarkt Erdgasverflüssigung  
18 Erschließung unkonventioneller Lagerstätten  
19 Die Zukunft: schwimmende Erdgasverflüssigungs-Anlagen

20 Kapitel 3

## Intelligente Nutzung von Erdgas.

26 Nynäshamn: Schwedens erstes LNG-Terminal  
27 LNG als Treibstoff für Schiffe  
28 Sauerstoff für die GTL-Produktion  
29 Neue Energie für Südostasien

30 Kapitel 4

## Innovatives CO<sub>2</sub>-Management.

39 Verfahren zur CO<sub>2</sub>-Abtrennung in Kraftwerken  
40 Europas größte Offshore-CO<sub>2</sub>-Injektion  
41 CO<sub>2</sub> als Wachstumsbeschleuniger für Pflanzen  
42 CO<sub>2</sub>-Management für die Algenkultivierung

44 Kapitel 5

## Erneuerbare Energien auf dem Vormarsch.

53 Technologie-Sprünge bei der Solarenergieerzeugung  
54 Umweltneutrale Gase für die Produktion von Solarmodulen  
55 Vom Abfall zum Bio-Treibstoff  
56 Grüner Wasserstoff aus Glycerin

58 Kapitel 6

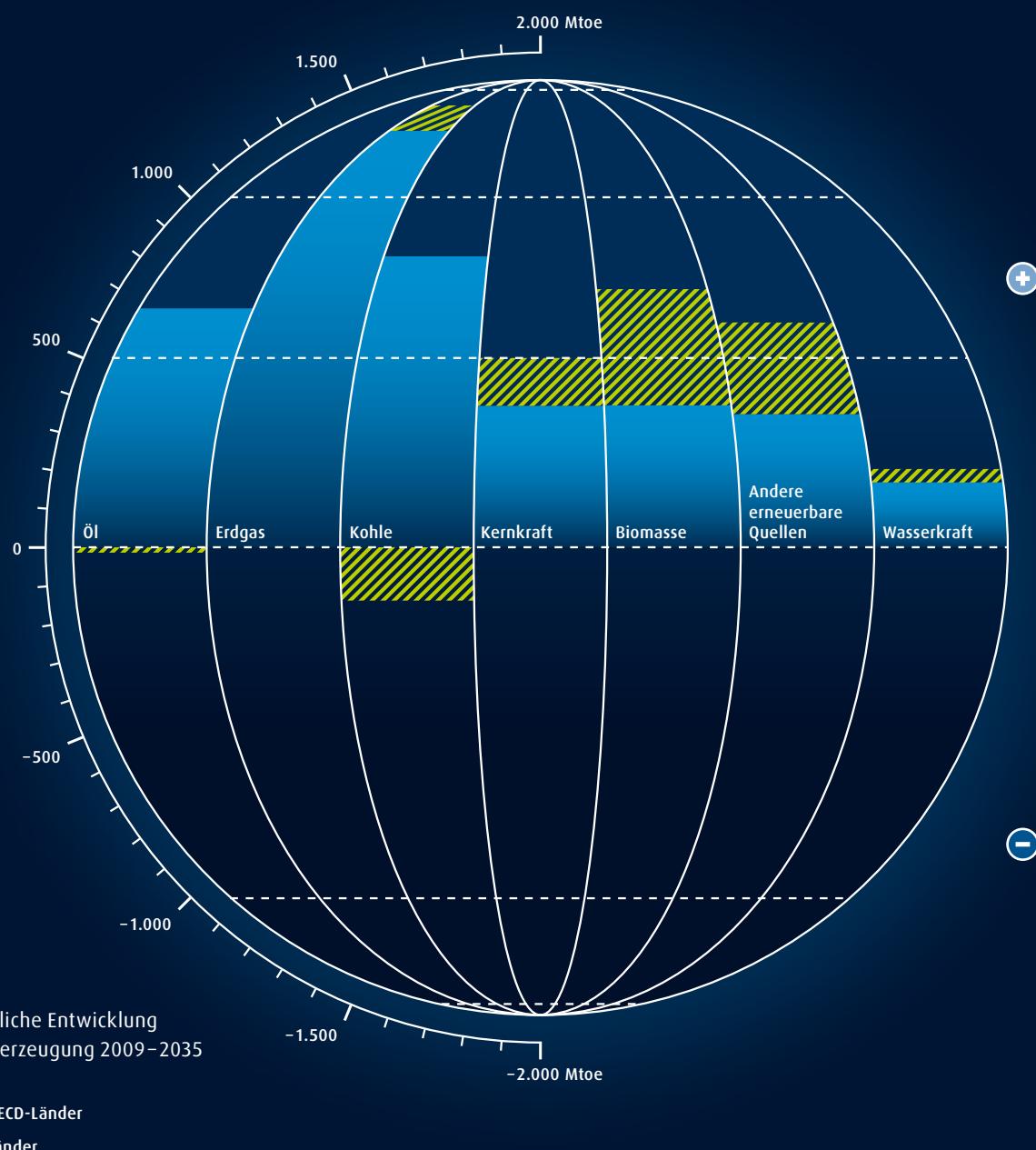
## Auf dem Weg zur Wasserstoff-Gesellschaft.

64 Initiativen für mehr Wasserstoff-Mobilität  
65 20 neue H<sub>2</sub>-Tankstellen in Deutschland  
66 Grüne Busse für Kalifornien  
67 Wasserstoff als Energiespeicher

68 Impressum  
68 Kontakt

# Energieerzeugung steigt bis 2035 weltweit stark an.

- Besonders in den Nicht-OECD-Ländern<sup>1</sup> wächst die Energieerzeugung.
- Bedeutung von Erdgas zur Energieerzeugung nimmt zu.
- Kohle- und Ölverbrauch zur Erzeugung von Energie geht nur in den OECD-Ländern<sup>2</sup> zurück.



OECD: Die Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (Organisation for Economic Co-operation and Development) vereinigt 34 Länder auf der ganzen Welt, die sich zu Demokratie und Marktwirtschaft bekennen. Sie widmet sich unter anderem der Förderung nachhaltigen Wirtschaftswachstums, der Steigerung des Lebensstandards und der Unterstützung der Entwicklung anderer Länder und trägt damit zum Wachstum des Welthandels bei.

Quelle: World Energy Outlook 2011, New Policies Scenario, Internationale Energieagentur.

Mtoe = Millionen Tonnen Öl-Äquivalent

<sup>1</sup> Nicht-OECD-Länder: meist aufstrebende Volkswirtschaften oder noch wenig entwickelte Länder mit vergleichsweise niedrigem Pro-Kopf-Einkommen.

<sup>2</sup> OECD-Länder: meist entwickelte, industrialisierte Länder mit hohem Pro-Kopf-Einkommen.

# Die Energie der Zukunft.

Dr. Fatih Birol ist Chefökonom der Internationalen Energieagentur (IEA). In einem Gastbeitrag für das Linde Annual gibt er einen Ausblick auf unsere künftige Energieversorgung und verdeutlicht, worauf es dabei ankommt: auf Verlässlichkeit, Nachhaltigkeit und Wirtschaftlichkeit.



Dr. Fatih Birol ist der Herausgeber des *World Energy Outlook*, der jährlich erscheinenden IEA-Publikation, die als zuverlässigste Quelle für Analysen und Prognosen zur Welt-Energieversorgung gilt. Birol ist außerdem Gründer und Vorsitzender des Energy Business Council der IEA, eines Gremiums, das Entscheider aus führenden Energieunternehmen und aus der Politik zusammenbringt, um Lösungsansätze für die Herausforderungen auf dem weltweiten Energiemarkt zu entwickeln.

Das *Forbes Magazine* zählt Birol zu den einflussreichsten Persönlichkeiten der internationalen Energieszene. Für seine herausragenden Beiträge zum Thema Energieversorgung wurde er von zahlreichen Staatsregierungen und Organisationen ausgezeichnet.

# D

ie weltweite Nachfrage nach Energie wird im Zuge von wachsenden Bevölkerungen und Volkswirtschaften in den kommenden Jahrzehnten weiter steigen. Diese Entwicklung stellt die Energiebranche vor große Herausforderungen: Es gilt, den zunehmenden Bedarf auf eine Weise zu decken, die gleichermaßen verlässlich und bezahlbar ist und die Umwelt, die wir nachfolgenden Generationen hinterlassen, nicht belastet. Inwieweit dies gelingen wird, hängt von zahlreichen Faktoren ab, die sich gegenseitig beeinflussen und deren Entwicklung sich oft nur ungenau vorhersagen lässt. Mehr als je zuvor durchläuft dieser Industriezweig eine Phase großer Unsicherheit. Dies betrifft die künftige wirtschaftliche Entwicklung ebenso wie politische Weichenstellungen, durch die wichtige Investitionsentscheidungen erschwert werden können.

Die IEA-Analyse zu den Energie- und Klimatrends, die wir in unserer zentralen Publikation *World Energy Outlook* ausführlich beschreiben, bietet eine quantitative Bewertung der Risiken und Chancen für die weltweite Energiewirtschaft bis zum Jahr 2035. Eine der zentralen Schlussfolgerungen lautet: Wir können nicht von einer Energie der Zukunft sprechen. Die Frage, wie wir in den kommenden Jahrzehnten Energie produzieren und nutzen werden, hängt ganz wesentlich davon ab, welche Maßnahmen die Staatsregierungen ergreifen, welche politischen Rahmenbedingungen sie schaffen und wie sich die Industrie und die Verbraucher verhalten. Wenn wir die aktuellen Energie- und Umweltprogramme betrachten und einen vorsichtigen Blick auf die Ankündigungen einiger Regierungen werfen, ergeben sich mehrere für die weltweite Energiewirtschaft maßgebliche Aspekte und Fragestellungen.

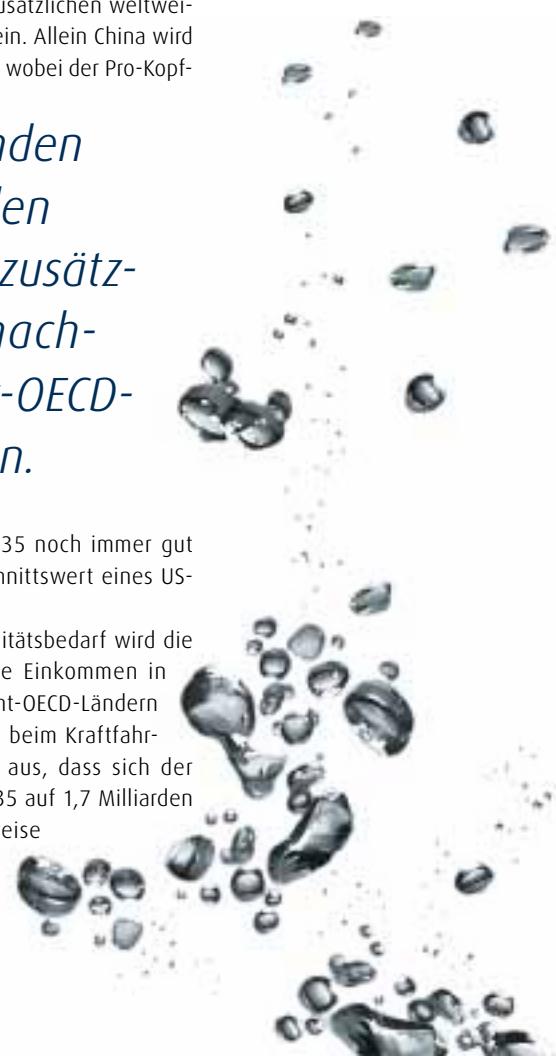
Die Entwicklung der Energiemarkte wird zunehmend auf Entscheidungen basieren, die in Peking

oder Neu-Delhi getroffen werden. 2009 vollzog sich eine historische Gewichtsverschiebung auf dem weltweiten Energiemarkt: China überholte die Vereinigten Staaten als größter Energiekonsument der Welt. Glaubt man den Prognosen, werden im Laufe der kommenden 25 Jahre 90 Prozent des weltweiten Bevölkerungswachstums, 70 Prozent der neu hinzukommenden Wirtschaftsleistung und 90 Prozent der zusätzlichen Energienachfrage auf Nicht-OECD-Länder entfallen. China und Indien werden dabei für etwa die Hälfte der zusätzlichen weltweiten Nachfrage verantwortlich sein. Allein China wird auf beinahe ein Drittel kommen, wobei der Pro-Kopf-

*In den kommenden 25 Jahren werden 90 Prozent der zusätzlichen Energienachfrage auf Nicht-OECD-Länder entfallen.*

Verbrauch in China im Jahr 2035 noch immer gut 50 Prozent unter dem Durchschnittswert eines US-Bürgers liegen wird.

Der stetig wachsende Mobilitätsbedarf wird die Ölmarkte antreiben. Steigende Einkommen in China, Indien und anderen Nicht-OECD-Ländern führen zu rasanten Zuwächsen beim Kraftfahrzeugbesitz. Wir gehen davon aus, dass sich der weltweite Pkw-Bestand bis 2035 auf 1,7 Milliarden verdoppeln wird. Glücklicherweise bedeutet die Verdoppelung der Fahrzeugmenge nicht, dass auch die Nachfrage nach Öl im gleichen Maße steigt. Mildernd





### **Alternativen zum Erdöl.**

Die Erschließung neuer Ressourcen fossiler Energieträger durch moderne Technologien kann zu mehr Unabhängigkeit der Verbraucher von den erdölproduzierenden Ländern führen.

1

dürfte sich – neben einem niedrigeren Verbrauch der Motoren – die allmähliche Zunahme des Anteils alternativer Treibstoffe auswirken. Beispiele hierfür sind Erdgas, Bio-Kraftstoffe oder elektrischer Strom, der auch aus Wasserstoff in Verbindung mit einer Brennstoffzelle erzeugt werden kann.

Auf Anbieterseite lassen sich durch den Einsatz entsprechender Technologien neue Ressourcen fossiler Energieträger erschließen. Die weltweite Ölversorgung wird jedoch weiterhin stark von der Entwicklung im Nahen Osten und in Nordafrika abhängen. Tatsächlich entspricht die aus dieser Region bis zum Jahr

Möglichkeiten ergeben sich durch die Tiefseeförderung oder das sogenannte Light Tight Oil, das aktuell in den USA mit modernster Bohr-Technologie gewonnen wird. Diese Technologien bergen allerdings auch Risiken, insbesondere für die Umwelt, die die Förderunternehmen noch in den Griff bekommen müssen.

Die Vereinigten Staaten sind die größte Ölimportnation der Welt. Bis vor kurzem ging man davon aus, dass sie sich auch zu einem wichtigen Importeur von Erdgas entwickeln würden. Durch den Boom bei der Förderung von unkonventionellem Gas (insbesondere Schiefergas) hat sich diese Erwartung jedoch umgekehrt. Eine verbesserte Transporteffizienz in Verbindung mit einer erhöhten Ölförderung im eigenen Land verspricht dabei auch eine erhebliche Reduzierung bei den Ölimporten der USA. Bis 2015 werden die Ölimporte in die EU einen höheren Umfang erreicht haben als die in die USA. Um das Jahr 2020 wird China zum größten Ölimporteur der Welt aufgestiegen sein. Bereits jetzt ist die EU weltweit größter Importeur von Erdgas, während gleichzeitig die Importe nach China und in andere schnell wachsende Länder im asiatischen Raum rasant zulegen. Diese Verschiebungen im globalen Energiehandel rücken nicht nur die Frage nach den Importkosten und die Versorgungssicherheit bei Öl und Gas immer mehr in den Blickpunkt, sie bedeuten auch einen weiteren grundlegenden Wandel in der geopolitischen Energiesituation.

Beim Erdgas deuten alle Anzeichen – sowohl auf der Nachfrage- als auch auf der Angebotsseite –

*Beim Erdgas deuten alle Anzeichen – sowohl auf der Nachfrage- als auch auf der Angebotsseite – auf eine glänzende Zukunft, vielleicht sogar auf ein goldenes Zeitalter hin.*

2035 erwartete Mehrförderung 90 Prozent des weltweit zusätzlich benötigten Öls. Investitionsausfälle in dieser Region aufgrund einer erhöhten Risikowahrnehmung oder veränderter politischer Prioritäten infolge des Arabischen Frühlings könnten sich nachteilig auf die Versorgungssituation auswirken. Neue

auf eine glänzende Zukunft, vielleicht sogar auf ein goldenes Zeitalter hin. Wir gehen davon aus, dass die Nachfrage nach Erdgas bis zum Jahr 2035 das gleiche Niveau wie die nach Kohle erreichen wird. Der größte Teil des zusätzlichen Bedarfs wird dabei in Ländern außerhalb der OECD entstehen, insbesondere in China, in Indien und in Staaten des Nahen Ostens. Gas erweist sich als ein besonders

## *Die Zeit der fossilen Energieträger ist zwar noch lange nicht vorbei, sie werden ihre Vormachtstellung aber allmählich verlieren.*

attraktiver Energieträger für Länder, die einen dynamisch steigenden Energiebedarf in schnell wachsenden Städten decken müssen. Auf der Angebotsseite macht unkonventionelles Gas mittlerweile die Hälfte der geschätzten Vorkommen aus. Zudem sind hier die Ressourcen geografisch breiter verteilt als bei herkömmlichem Erdgas – ein Umstand, der sich positiv auf die Versorgungssicherheit auswirkt. Prognosen zufolge wird unkonventionelles Gas bis 2035 ein Fünftel der gesamten Fördermenge ausmachen, wobei das Tempo bei der Erschließung unkonventioneller Gasvorkommen je nach Region erheblich variiert. Die Vereinigten Staaten, China und Australien werden in diesem Bereich die Führungsrolle übernehmen. Erdgas ist von allen fossilen Brennstoffen die sauberste Option und kann somit auf dem Weg in eine CO<sub>2</sub>-ärmere Energiezukunft von großer Bedeutung sein. Allein die intensivere Nutzung von Erdgas (ohne CO<sub>2</sub>-Abscheidung und -Speicherung) bietet allerdings noch keine Lösung, um die Herausforde-

rungen des Klimawandels zu bewältigen.

Obwohl die Kohle im Energiewettlauf der vergangenen zehn Jahre als großer Gewinner hervorgegangen ist, bleibt die Zukunft dieser vernachlässigten Energiequelle eher ungewiss.

Annähernd die Hälfte des weltweiten Zuwachses beim Energieverbrauch entfiel im vergangenen Jahrzehnt auf Kohle. Davon diente ein Großteil der Stromerzeugung in den Schwellenländern; Kohle spielt eine Schlüsselrolle, um den Zugang zu modernen Energiedienstleistungen zu verbessern. Der internationale Kohlemarkt ist dabei stark von den Entwicklungen in China abhängig, auf das annähernd die Hälfte der weltweiten Förderung und Nachfrage entfallen. Auch Indien rückt zunehmend ins Blickfeld. Prognosen zufolge wird Indien die USA in den 2020er Jahren als weltweit zweitgrößter Verbraucher überholen und gleichzeitig zum größten Importeur von Kohle aufsteigen. Auf diesen Märkten wie auch anderswo wird viel von den richtigen politischen und technologischen Weichenstellungen abhängen. Dabei geht es auch um die Frage, inwieweit die Umweltauswirkungen der Kohleverbrennung durch den Einsatz effizienterer Kraftwerke und die Entwicklung von Technologien zur CO<sub>2</sub>-Abscheidung und -Speicherung abgedeckt werden können.

Die Prognosen für die Zukunft von Öl, Erdgas und Kohle in der weltweiten Energiewirtschaft zeigen: Die Zeit der fossilen Energieträger ist zwar noch lange nicht vorbei, sie werden ihre Vormachtstellung aber allmählich verlieren. Ein weiterer Ausbau der Kernenergie ist auch nach Fukushima durchaus noch denkbar. In den Ländern, die diesen Ausbau im Wesentlichen vorantreiben (wie etwa China, Indien, Russland und Korea), ist keine Veränderung der Politik zu beobachten. Gleichzeitig werden sich – unterstützt durch anhaltende staatliche Subventionen – die erneuerbaren Energien immer weiter etablieren. Der Anteil der erneuerbaren Energien (ohne Großwasserkraft) an der weltweiten Stromerzeugung dürfte sich bis zum Jahr 2035 von derzeit etwa 3 Prozent auf 15 Prozent erhöhen, wobei die EU und China die Führungsrolle bei der Einführung umweltfreundlicher Technologien übernehmen werden. Der Beitrag aus der Windenergie wird 2035 mehr als acht Mal so

### **Erdgas als Favorit.**

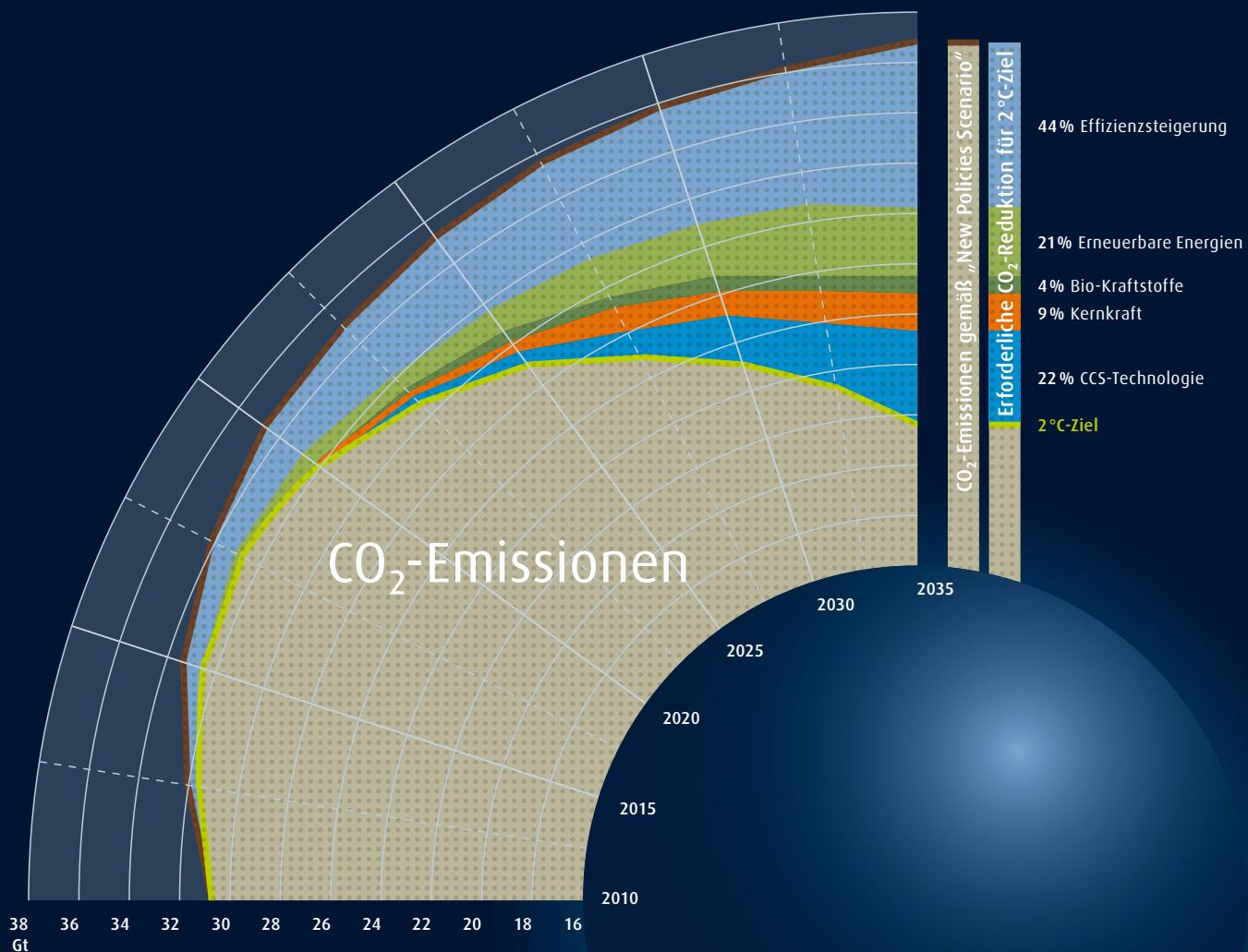
Erdgas ist insbesondere für Länder, die einen dynamisch steigenden Energiebedarf in schnell wachsenden Städten decken müssen, ein attraktiver Energieträger. Dabei dürfte die Nutzung unkonventioneller Erdgasvorkommen immer wichtiger werden. Hier sind die Ressourcen breiter verteilt als bei herkömmlichem Erdgas.



### **Die Zukunft der Kohle.**

Bei der Nutzung von Kohle wird es vor allem darauf ankommen, die Klimafolgen zu begrenzen. Hierfür sollten effizientere Kraftwerke und Technologien zur Abscheidung und Speicherung von CO<sub>2</sub> zum Einsatz kommen.

# Zusätzliche CO<sub>2</sub>-Einsparungen erforderlich, um die Erderwärmung auf 2 °C zu begrenzen.



## New Policies Scenario

Das „New Policies Scenario“ berücksichtigt die politischen Zusagen und angekündigten Pläne aller Staaten in Bezug auf die Sicherung der Energieversorgung, den Klimawandel und die Bekämpfung von Umweltverschmutzungen. Das Szenario beinhaltet auch Annahmen über weitere energiebezogene Herausforderungen, selbst wenn die damit einhergehenden Maßnahmen erst noch veröffentlicht werden.

## 450 Scenario

Das „450 Scenario“ geht von einer 50-prozentigen Wahrscheinlichkeit aus, dass die Ziele erreicht werden, die für eine Erderwärmung um lediglich 2 °C im Vergleich zur vorindustriellen Zeit notwendig sind.

Die Darstellung verdeutlicht, dass enorme CO<sub>2</sub>-Einsparungen erforderlich sein werden, um die Erderwärmung auf 2 °C zu begrenzen. Nur durch den Einsatz von innovativen Technologien wie etwa CCS<sup>1</sup>, der Abtrennung und Speicherung von Kohlendioxid, ist dieses Ziel zu erreichen. Der Vergleich mit der derzeit vorherrschenden politischen Agenda zeigt, dass wir davon noch weit entfernt sind.

Quelle: World Energy Outlook 2011.

Gt = Gigatonne

<sup>1</sup> Carbon Capture and Storage.

hoch sein wie 2010. Mit sinkenden Produktionskosten werden bei den erneuerbaren Energien auch die Subventionskosten pro Einheit zurückgehen. Teilweise werden Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energien auch ohne zusätzliche Förderung im Wettbewerb bestehen können. Bei Onshore-Wind-Anlagen beispielsweise ist damit zu rechnen, dass dies um das Jahr 2020 im EU-Raum und etwa zehn Jahre später in China der Fall sein wird. In den meisten Fällen müssen die erneuerbaren Energien jedoch weiterhin subventioniert werden. Schätzungen zufolge werden mit wachsender Nutzung erneuerbarer Energiequellen die weltweiten Subventionskosten von 66 Mrd. USD im Jahr 2010 auf 250 Mrd. USD im Jahr 2035 ansteigen. Hieraus ergeben sich jedoch dauerhafte Vorteile, wie etwa ein breiterer Energiemix bei der Stromerzeugung und eine Senkung der Treibhausgasemissionen.

Die Forscher gehen davon aus, dass der Anteil der Wasserkraft an der weltweiten Stromerzeugung auch im Jahr 2035 bei rund 15 Prozent liegen wird. Dabei dürften China, Indien und Brasilien beinahe die Hälfte der zusätzlichen Kapazität beisteuern.

Bei der Betrachtung der künftigen Energieversorgung sollte man eines nicht vergessen: Für viele Menschen ist die Energie der Zukunft vor allem eine Zukunft ohne Energie. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt haben immer noch 1,3 Milliarden Menschen keinen Zugang zu Elektrizität, und 2,7 Milliarden sind zum Kochen weiterhin auf das Verbrennen von Biomasse angewiesen. Die Bereitstellung moderner Energiedienstleistungen würde hier einen großen Beitrag zur Entwicklung und zum Wohlstand der Menschheit leisten – zu vertretbaren Kosten. Ohne eine dafür erforderliche deutliche Steigerung der Investitionen wird sich die weltweite Situation jedoch nur geringfügig verbessern, in der Region Subsahara-Afrika sogar eher noch verschlechtern. Neben nationalen Regierungen und internationalen Organisationen ist deshalb hier auch der private Sektor zum Handeln aufgerufen.

Es bleibt also noch viel zu tun, um weltweit den Weg zu einer verlässlichen und nachhaltigen Energieversorgung zu bereiten. Derzeit lässt noch wenig darauf schließen, dass die notwendigen Kurskorrekturen bei den globalen Energietrends tatsächlich eingeleitet werden. Die Weltgemeinschaft läuft große Gefahr, ihr selbst gestecktes Ziel zur Begrenzung des langfristigen Anstiegs der mittleren globalen Temperatur auf 2°C zu verfehlten. Werden bis 2017 keine zusätzlichen

Maßnahmen ergriffen, wird bereits das bestehende Inventar an Kraftwerken, Gebäuden, Fabriken etc. bis 2035 die Menge an CO<sub>2</sub>-Emissionen verursachen, die im 2°C-Szenario berücksichtigt ist. Für den Bau weiterer Kraftwerke, Fabriken und anderer Infrastrukturreinrichtungen bestünde dann kein Spielraum mehr – es sei denn, diese neuen Anlagen wären CO<sub>2</sub>-neutral, was mit extrem hohen Kosten verbunden wäre.

Den größten Beitrag zur Erreichung der weltweiten Klimaschutzziele leistet zweifelsohne die Energie, die wir gar nicht erst verbrauchen. Das Thema Energieeffizienz muss daher stärker in den Mittelpunkt rücken: Wir benötigen einen grundlegenden Wandel in der Art und Weise, wie wir Energie erzeugen und nutzen. Ebenfalls von großer Bedeutung sind umweltfreundliche Technologien, die Kernenergie sowie Verfahren wie die CO<sub>2</sub>-Abscheidung und

#### **Innovative Energie für Mobilität.**

Wasserstoff – in Verbindung mit einer Brennstoffzelle – sowie Batterien, Erdgas und Bio-Kraftstoffe sind mittel- bis langfristig vielversprechende Energieträger für den wachsenden Mobilitätsbedarf in der Welt.

*Wir benötigen einen grundlegenden Wandel in der Art und Weise, wie wir Energie erzeugen und nutzen.*

-Speicherung (CCS). Kommt es weltweit vermehrt zur Abkehr von der Kernenergie<sup>1</sup> oder wird die CCS-Technologie nicht bereits in den 2020er Jahren in größtem Umfang eingesetzt, würde dies den Kampf gegen den Klimawandel deutlich erschweren und verteuren. Um die dadurch entstehende Lücke schließen zu können, müsste der Ausbau der anderen CO<sub>2</sub>-armen Technologien enorm verstärkt werden.

Keine Frage, das gemeinsame Energieproblem lässt sich nur lösen, wenn die Verantwortlichen aus Politik und Industrie ihre Anstrengungen nochmals verdoppeln. Im Mittelpunkt der politischen Arbeit steht dabei die schwierige Aufgabe, so gegensätzliche Ziele wie Energiesicherheit, Klimaschutz, Zugang zu Energie und Wirtschaftlichkeit miteinander in Einklang zu bringen. Gleichzeitig muss die Politik verlässliche und stabile Rahmenbedingungen für die Energiebranche schaffen, damit die hohen Investitionen getätigter werden können, die für die Energiewende erforderlich sind.

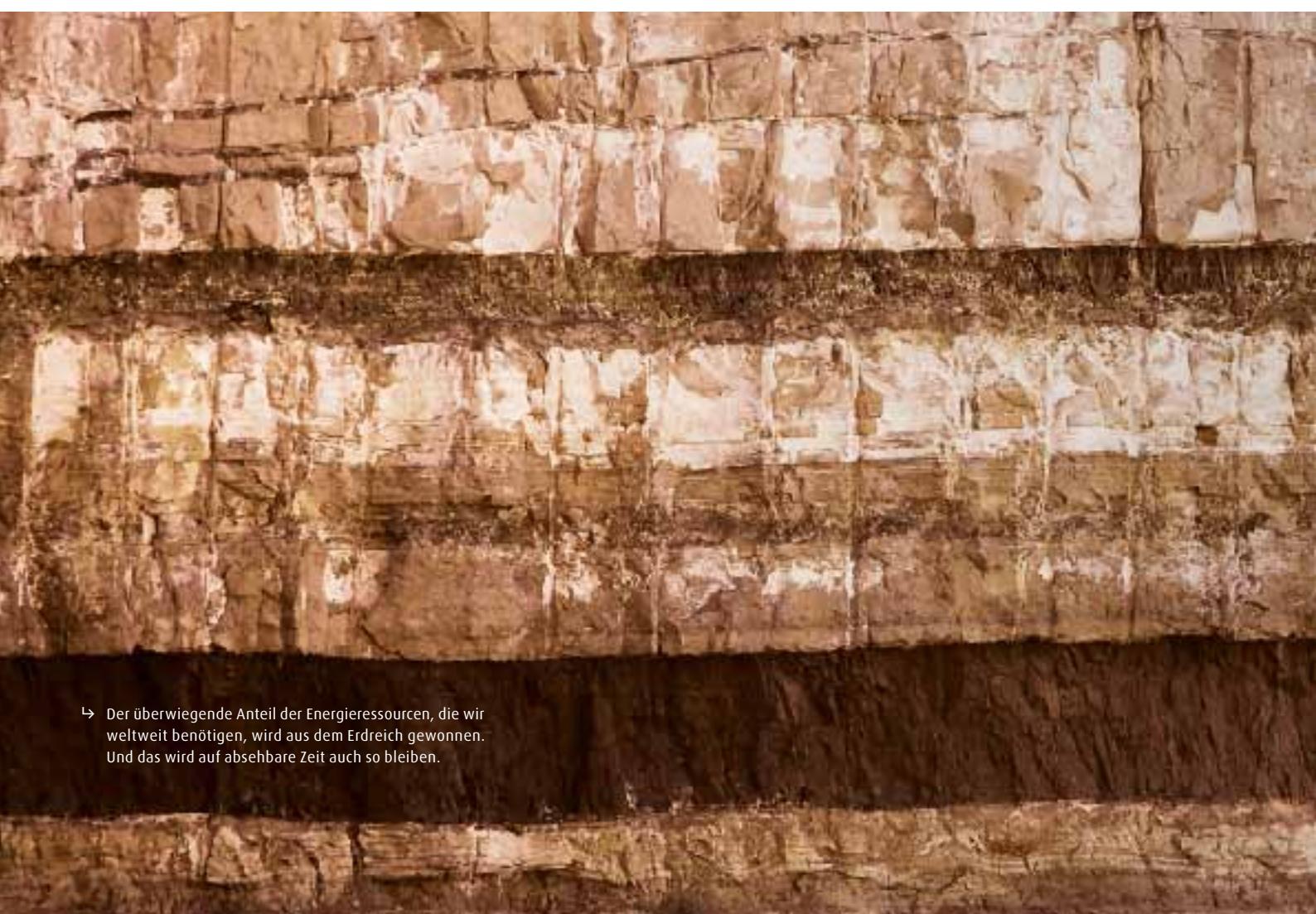
#### **Zuwachs bei erneuerbaren Energien.**

Der Anteil der erneuerbaren Energien an der gesamten Energieerzeugung wird sich Prognosen zufolge bis zum Jahr 2035 von 3 Prozent auf rund 15 Prozent erhöhen. Nach Meinung der IEA ist der globale Trend zu den erneuerbaren Energien trotz notwendiger Subventionen insgesamt positiv zu bewerten – durch den ökologisch günstigeren Strommix und die Vermeidung von Treibhausgasemissionen.

<sup>1</sup> Der aktuelle *World Energy Outlook* behandelt auch einen „Low Nuclear Case“; hier wird für die Kapazitätserweiterungen im Kernenergiebereich die Hälfte des Wertes aus dem Hauptszenario angesetzt. Dadurch ergeben sich Chancen für erneuerbare Energiequellen, gleichzeitig steigt aber auch der Bedarf an fossilen Energieträgern in erheblichem Umfang, was zusätzliche Fragen zur Versorgungssicherheit aufwirft und zu erhöhten CO<sub>2</sub>-Emissionen führt.



2



↳ Der überwiegende Anteil der Energieressourcen, die wir weltweit benötigen, wird aus dem Erdreich gewonnen. Und das wird auf absehbare Zeit auch so bleiben.



→ Kapitel 2

# Förderung fossiler Rohstoffe.

Effizient und umweltschonend.

# Luft zerlegen, Erdgas gewinnen.

670.000 Kubikmeter Stickstoff pro Stunde erzeugen die beiden großen Luftzerlegungs-Anlagen des Linde-ADNOC-Gemeinschaftsunternehmens Elixier. Von Mirfa (Abu Dhabi, Vereinigte Arabische Emirate) aus wird der Stickstoff über eine 50 Kilometer lange Pipeline ins Landesinnere transportiert. Das Ziel ist Habshan, eines der größten Erdgasfelder in der Region. Die Erdgasgewinnung wird dank des eingeleiteten Stickstoffs deutlich effizienter. Das Projekt ist auch strategisch bedeutsam, denn ADNOC hat Zugang zu rund 90 Prozent der Erdöl- und Gasvorkommen Abu Dhabis – die viertgrößten Reserven weltweit.

2







2



# Wachsende Weltbevölkerung, wachsender Rohstoffbedarf.

Die Weltbevölkerung wächst unaufhaltsam weiter; mittlerweile leben mehr als sieben Milliarden Menschen auf der Erde. Im Zuge dieser Entwicklung steigt auch der Energiebedarf, insbesondere in den aufstrebenden Volkswirtschaften. Hauptquelle für die Energieerzeugung werden fossile Brennstoffe bleiben.



# Innovative Technologien für fossile Rohstoffe.

Kohle, Öl und Erdgas bleiben auf absehbare Zeit für die weltweite Energieversorgung unverzichtbar. Um diese fossilen Energieträger effizient zu erschließen und möglichst umweltverträglich zu nutzen, sind innovative Technologien gefragt. Linde verfügt in diesem dynamisch wachsenden Milliardenmarkt über die entsprechenden Kompetenzen und Angebote.

**D**ie öffentliche Diskussion über die künftige Energieversorgung dreht sich vorwiegend um die Nutzung erneuerbarer Energiequellen. Dabei wird häufig übersehen, dass auch mittelfristig der weltweit steigende Energiebedarf nicht annähernd durch regenerative Quellen wie Wasser, Wind und Sonne gedeckt werden kann. Die traditionellen Industrieländer und stärker noch die boomenden Schwellenländer werden auf Jahrzehnte hinaus auf die fossilen Energieträger Kohle, Erdgas und Erdöl angewiesen sein. Um dennoch den steigenden Anforderungen an Umwelt- und Klimaschutz gerecht werden sowie künftigen Generationen die Lebensgrundlagen erhalten zu können, gilt es, diese Vorkommen effizient und schonend zu fördern.

Als verlässlicher Partner der großen Energiekonzerne stellt Linde dafür hoch entwickelte Technologien und Verfahren zur Verfügung.



## +60 %

**Erdöl durch den Einsatz von Stickstoff.**

Durch den Einsatz von Stickstoff aus den Linde Luftzerlegungs-Anlagen im mexikanischen Cantarell konnte die Fördermenge im dortigen Ölfeld bereits im ersten Jahr um 60 Prozent gestiegen werden.

### Effiziente Erdöl- und Erdgasserschließung

Industriegase wie etwa Stickstoff spielen eine zentrale Rolle bei der effizienten Erschließung von Erdöl und Erdgas (Enhanced Oil and Gas Recovery = EOR

bzw. EGR). Dabei wird der Stickstoff in den Untergrund gepresst, um die fossilen Bodenschätze leichter fördern zu können.

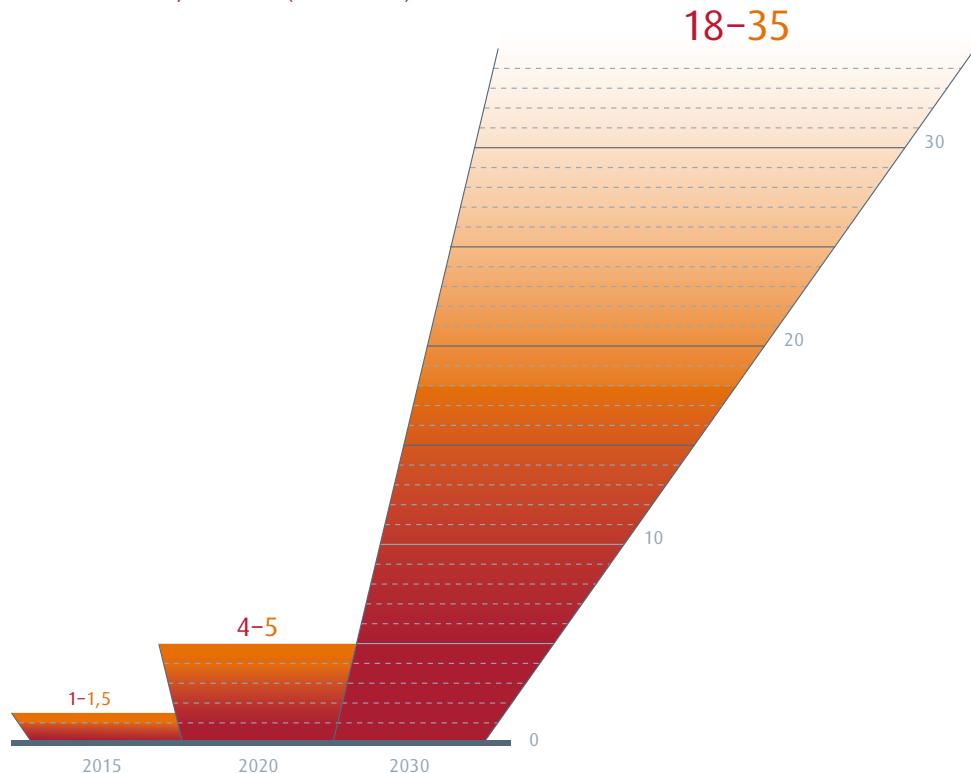
Zur Erzeugung der großen Mengen an Stickstoff, die für diese Art der Erdöl- und Erdgasförderung benötigt werden, hat Linde in den vergangenen Jahren einige der bedeutendsten Luftzerlegungs-Anlagen der Welt konstruiert und gebaut.

So sind im Sommer 2011 zwei große Anlagen am Küstenort Mirfa (Abu Dhabi, Vereinigte Arabische Emirate) in Betrieb gegangen. Linde hat diese Luftzerleger im Auftrag des Joint Ventures Elixier errichtet, an dem die Abu Dhabi National Oil Corporation (ADNOC) zu 51 Prozent und Linde zu 49 Prozent beteiligt ist. Das gesamte Investitionsvolumen für dieses Großprojekt betrug rund 800 Mio. USD.

→ Elixier II in Betrieb: Die Luftzerlegungs-Anlagen am Standort Mirfa (Abu Dhabi) wurden von Lindes Engineering Division geplant und gebaut.

## Dynamisches Wachstum.

Entwicklung des Marktumfangs für Enhanced Oil and Gas Recovery weltweit (in Mrd. EUR).



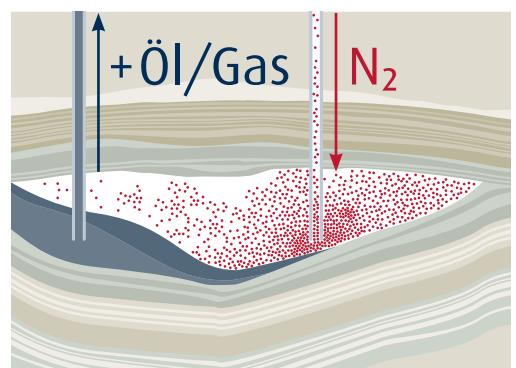
Quelle: Linde Schätzungen.

Die beiden Anlagen erzeugen aus der Umgebungsluft pro Stunde rund 670.000 Normkubikmeter Stickstoff. Das Gas wird über eine 50 Kilometer lange Pipeline ins Landesinnere nach Habshan transportiert und dort im Gasfeld verpresst, um die Förderung – vor allem von Kondensaten – zu verstetigen und die Ausbeute zu erhöhen. Bisher wurde zur Kondensatförderung in Habshan Erdgas in das Gasfeld gepresst, um den Druck konstant zu halten. Dieser wertvolle Rohstoff kann nun für die Energieerzeugung in der dynamisch wachsenden Region genutzt werden.

Das Projekt in Mirfa hat für den gesamten internationalen Energiemarkt eine strategische Bedeutung. Denn ADNOC hat Zugang zu rund 90 Prozent der Erdöl- und Erdgasvorkommen in Abu Dhabi. Diese Reserven gelten als die viertgrößten weltweit.

Die neuen Luftzerlegungs-Anlagen in Mirfa nutzen ein bewährtes Konstruktionskonzept: Sie sind in etwa baugleich mit den fünf großen Anlagen, die Linde zur Stickstoffherstellung seit dem Jahr 2000 im mexikanischen Cantarell gebaut hat. Durch die Nutzung von Stickstoff stieg die Erdölfördermenge im Jahr der Inbetriebnahme der Anlagen im Feld Cantarell im Golf von Mexiko um etwa 60 Prozent.

Experten erwarten, dass der weltweite Markt für EOR und EGR überproportional wachsen wird: von 1 bis 1,5 Mrd. EUR im Jahr 2015 auf bis zu 35 Mrd. EUR im Jahr 2030.



### Enhanced Oil and Gas Recovery.

Bei der sogenannten Enhanced Oil and Gas Recovery werden Gase wie z.B. Stickstoff unter hohem Druck in das Bohrloch injiziert, um den Förderdruck in der Öl- bzw. Gaslagerstätte wieder zu erhöhen. Durch dieses Verfahren kann die Fördermenge deutlich gesteigert werden.

- ↳ Gasspeichertanks auf dem Gelände von Europas größter Erdgasverflüssigungs-Anlage auf der Insel Melkøya vor Hammerfest (Norwegen).



#### So funktioniert die Erdgasverflüssigung.

**2** In der Anlage durchläuft das Rohgas zunächst eine Röhrenkonstruktion (Slug-Catcher), die das Gas von Kondensaten, Wasser und Glykol trennt. Anschließend werden Kohlendioxid, restliches Wasser und Quecksilber aus dem Gasstrom herausgefiltert, bevor der eigentliche Verflüssigungsprozess beginnt. Dabei handelt es sich um eine mehrstufige Kühlung, die genau auf die örtlichen Bedingungen abgestimmt wurde. Für die Anlage auf Melkøya hat Linde eigens das energieeffiziente Verflüssigungsverfahren Mixed Fluid Cascade (MFC®; siehe Glossar) entwickelt.

#### Wachstumsmarkt Erdgasverflüssigung

Unter den fossilen Energieträgern nimmt die Bedeutung von Erdgas stetig zu. Die weltweiten Erdgasvorkommen reichen sehr viel länger als die abnehmenden Ölreserven; zudem ist die Nutzung deutlich klimafreundlicher.

Vor diesem Hintergrund weitet sich die Erschließung von Gasfeldern auch auf bisher gar nicht oder nur schwer zugängliche Regionen und Lagerstätten aus. Ein Beispiel hierfür ist das Snøhvit-Erdgasfeld in der Barentssee südlich des Polarmeers. Das dort von dem norwegischen Energiekonzern Statoil geförderte Gas wird per 140 Kilometer langer Pipeline auf die Insel Melkøya vor Hammerfest an Land gebracht. Hier erfolgt in einer besonderen Anlage die Verflüssigung, bevor das Gas per Spezialtankschiff zu Kunden in Amerika und Südeuropa transportiert werden kann.

Linde verantwortete als Generalunternehmer im Auftrag von Statoil das Engineering, die Beschaffung und die Montageüberwachung der Erdgasverflüssigungs-Anlage. Mit einer Produktionskapazität von vier Millionen Jahrestonnen LNG (Liquefied Natural Gas; siehe Glossar) ist sie die größte Europas. Der Gesamtauftragswert für Linde belief sich auf mehr als 900 Mio. EUR.

Auch der Markt für verflüssigtes Erdgas ist ein Wachstumsmarkt. Nach aktuellen Prognosen soll das weltweite Potenzial für die entsprechenden Anlagen von 3 bis 4 Mrd. EUR im Jahr 2015 auf bis zu 23 Mrd. EUR im Jahr 2030 steigen. Darin berücksichtigt sind auch schwimmende Erdgasverflüssigungs-Anlagen (siehe rechte Seite).

#### CO<sub>2</sub>-Lagerung in der Barentssee

Neben der Konstruktion der Anlage für den Reinigungs- und Verflüssigungsprozess hatten die Linde-Ingenieure beim Snøhvit-Projekt außerdem den Auftrag, das aus dem Erdgas abgetrennte CO<sub>2</sub> weitgehend

**-700.000 t**  
CO<sub>2</sub> durch neue Linde-Technologie zur Erdgasverflüssigung.

*„Carbon Dioxide Capture and Storage Facility“ heißt das umweltschonende Verfahren, durch dessen Einsatz in der Erdgasverflüssigungs-Anlage auf Melkøya jährlich 700.000 Tonnen CO<sub>2</sub> aufgefangen und zurück zum Gasfeld geführt werden können. Auf diese Weise gelangt das Klimagas nicht in die Erdatmosphäre.*

aufzufangen und zu komprimieren. So kann das CO<sub>2</sub> per Pipeline wieder zurück zum Gasfeld geführt werden, statt es einfach in die Atmosphäre entweichen zu lassen. Rund die Hälfte des anfallenden CO<sub>2</sub> – jährlich etwa 700.000 Tonnen – wird nun in einer Tiefe von 2,6 Kilometer unter dem Meeresboden sicher gelagert. Dieses vorbildliche Verfahren (Fachbegriff: Carbon Dioxide Capture and Storage Facility) dient für künftige Erdgasverflüssigungs-Anlagen als Referenz. Nicht von ungefähr gilt die Anlage auf Melkøya als die weltweit energieeffizienteste ihrer Art.

**Erschließung unkonventioneller Lagerstätten**  
Innovative Bohr-Technologien und neue Transport- und Lagermöglichkeiten ermöglichen heute auch die Erschließung von bisher schwer zugänglichen Erdgaslagerstätten in Schiefergestein. Diese sogenannten unkonventionellen Vorkommen enthalten weltweit Gasreserven, die mehr als 200 Jahre lang genutzt werden könnten.

In den USA hat das Schiefergas (Shale Gas) bereits einen wahren Boom in der Energiewirtschaft ausgelöst. Durch die neuen Lagerstätten haben sich die Ver-



#### **Technologie am Limit.**

**Die Errichtung von Europas größter Erdgasverflüssigungs-Anlage in der eisigen Kälte von Nordnorwegen stellte besondere Herausforderungen an alle Beteiligte – und an die Technologie. Die Anlage ist mittlerweile ein Referenzprojekt für künftige Anlagen im weltweit expandierenden LNG-Markt.**

einigen Staaten zum größten Erdgaslieferanten der Welt vor Russland entwickelt.

Dieser Energieträger deckt inzwischen rund 14 Prozent des US-amerikanischen Erdgasmarktes; nach Prognosen der Internationalen Energiebehörde (IEA) sollen es bis 2035 sogar 45 Prozent werden. Weltweit schätzen die IEA-Experten die Erdgasvorkommen in unkonventionellen Lagerstätten auf rund 920 Billionen Kubikmeter.

Auch in Europas Untergrund verbirgt sich unkonventionelles Erdgas und damit ein großer Markt. Dabei handelt es sich um Vorkommen in Schiefer, in schwer durchlässigen Gesteinen und in Kohleflözen. Nennenswerte Vorkommen liegen in Polen, Frankreich, Norwegen und der Ukraine, aber auch in Großbritannien, den Niederlanden und Deutschland.

Mit seiner Expertise in der Förderung, Verflüssigung und Lagerung von Erdgas hat Linde gute Voraussetzungen, von diesem weltweiten Wachstumsmarkt zu profitieren.

#### **Stickstoffabtrennung aus Erdgas**

Zusätzliches Potenzial für die Nutzung bislang wirtschaftlich weniger interessanter Lagerstätten bietet ein von Linde entwickeltes Modul für Erdgasverflüssigungs-Anlagen – die sogenannte Nitrogen Rejection Unit, kurz NRU. In diesem Anlagenelement wird der im Erdgas enthaltene Stickstoff nahezu vollständig abgetrennt und damit die erforderliche Erdgasqualität (Stickstoffgehalt: unter 1 Prozent) mit einem hohen Brennwert erreicht.

Für den Kunden Woodside, Australiens größtes Erdöl- und Erdgasunternehmen, hat Linde Ende 2011 eine Erdgasverflüssigungs-Anlage mit NRU erfolgreich in Betrieb genommen. In der Anlage wird Erdgas aus den Feldern Pluto und Xena vor der Küste Westaustraliens verarbeitet. Dieses Erdgas hat einen natürlichen Stickstoffgehalt von mehr als 6 Prozent. Sogenannte Rektifikationskolonnen (siehe Glossar) trennen in der NRU das Erdgas und den Stickstoff und reduzieren damit den Stickstoffanteil auf unter 1 Prozent.

Mit der neuen Anlage ist Linde für künftige Aufträge in diesem zukunftsträchtigen Markt gut positioniert. Wegen des weltweit steigenden Erdgasbedarfs ist davon auszugehen, dass in den kommenden Jahren immer mehr Erdgasquellen mit hohem Stickstoffgehalt erschlossen werden.

#### **Die Zukunft: schwimmende Erdgasverflüssigungs-Anlagen**

Die Erdgasförderung erfolgt nicht nur in extremen Klimazonen wie der Barentssee, sondern wird sich auch auf küstenferne Gebiete im offenen Meer ausdehnen. Da aber viele Fundstellen für das aufwändige Verlegen von Pipelines zu weit vom Festland entfernt liegen oder ihre Größe für eine wirtschaftliche Erschließung bisher als zu gering betrachtet wurde, schlagen Linde und sein Projektpartner SBM Offshore (Niederlande) neue Wege ein: Sie entwickeln schwimmende Erdgasverflüssigungs-Anlagen (Floating-LNG-Anlagen). Solche mobilen Einheiten können dazu beitragen, Erdgas auch aus kleineren und geografisch exponierten Lagerstätten wirtschaftlich zu fördern.



→ (oben) Die Linde Anlage zur Verflüssigung von Erdgas liegt vor der Küste von Hammerfest in Norwegen auf der Insel Melkøy.

→ (unten) Bei voller Leistungsfähigkeit werden hier jährlich rund 6 Milliarden Kubikmeter verflüssigtes Erdgas verschifft.

Im Juni 2011 haben Linde und SBM einen Kooperationsvertrag mit dem thailändischen Mineralölkonzern PTT (Petroleum Authority of Thailand) zur Entwicklung einer Floating-LNG-Anlage in der Timorsee vor der Nordküste Australiens geschlossen. Im Rahmen des Projekts soll Erdgas aus drei Gasfeldern zu LNG verarbeitet werden. Sofern die Vorkommen den Erwartungen entsprechen, wird das Projekt in die konkrete Planungsphase münden. Ende 2012 soll dann die abschließende Investitionsentscheidung fallen. Mit der kommerziellen Förderung und Verflüssigung des Erdgases könnte dann 2016 begonnen werden.

Schwimmende Erdgasverflüssigungs-Anlagen bilden einen weiteren Baustein für die intelligente Nutzung des Energieträgers Erdgas als Brücken-Technologie auf dem Weg zu einer nachhaltigen und umweltverträglichen Energieversorgung.

→ Kapitel 3

# Intelligente Nutzung von Erdgas.

Kostengünstig und klimafreundlich.

3



# Weltweit größter Auftrag für Luftzerlegungs-Anlagen.

Die weltweit größte Gas-to-Liquids-Anlage wurde 2011 in Katar in Betrieb genommen. Die Anlage wandelt täglich 140.000 Barrel Erdgas in flüssige Kohlenwasserstoffe um. Linde sichert den dafür erforderlichen Sauerstoffbedarf von rund 860.000 Kubikmetern pro Stunde mit acht großen Luftzerlegungs-Anlagen.



## Verflüssigtes Erdgas – per Tanker in die ganze Welt.

Mit der Eröffnung des ersten LNG-Terminals des Unternehmens hat Linde sein Portfolio im Bereich LNG-Anlagen komplettiert. Seit Mai 2011 beliefert Linde vom südschwedischen Nynäshamn aus den kompletten Ostseeraum – mit Flüssigerdgas, das zunächst in der Linde-LNG-Anlage in Stavanger verflüssigt und dann in Speicher-tanks zum Terminal verschifft wird. Nach der Anlandung lagert das LNG hier bis zum Weitertransport in einem Tank mit 20.000 Kubik-metern Fassungsvermögen. Diese Menge entspricht zwölf Millionen Kubikmetern Erdgas.

3





# LNG global

Per Tankschiff um die Welt.  
(Quelle: Linde Technology, 01.2011)



## Unabhängig von Pipelines.

Die Verflüssigung von Erdgas zu Liquefied Natural Gas (LNG) und die damit verbundene Reduktion seines Volumens auf ein Sechshundertstel macht Erdgas zu einer zunehmend interessanten Handelsware. Im Gegensatz zum Transport des Gases über Pipelines, der nur bis zu etwa 3.000 Kilometern wirtschaftlich ist, kann flüssiges Erdgas bei einer Temperatur von  $-162^{\circ}\text{C}$  per Schiff in alle Winkel der Welt transportiert werden. Zurzeit sind nach einer Aufstellung der California Energy Commission in 15 Ländern Anlagen für die Erdgasverschiffung mit entsprechenden Terminals in Betrieb; umgekehrt arbeiten in 18 Ländern 60 Import-Anlagen. Zusätzlich zu den bestehenden Terminals sind weltweit etwa 65 Verflüssigungs-Anlagen für den Schiffstransport und rund 180 Rückvergasungs-Anlagen in Bau oder in der Vorplanung.

# LNG regional

Referenz-Anlagen: ausgewählte Linde LNG-Projekte weltweit.

- [Norwegen]
- [Schweden]
- [China]
- [Australia]



## Vorteile von kleinen und mittleren LNG-Anlagen.

Linde bietet auf dem Gebiet kleiner und mittlerer LNG-Anlagen alle Leistungen an. Und der Bedarf für diese Anlagen wächst, verfügen sie doch über viele Vorteile: Sie lassen sich schnell planen und bauen, ermöglichen die wirtschaftliche Erschließung von kleinen, isolierten Lagerstätten, sind aufgrund ihrer Größe prädestiniert für Standorte in der Nähe von Industrieparks und Städten und verkürzen so den Weg zum Kunden. Ganz unabhängig von ihrer Größe sind sie aufgrund ihrer CO<sub>2</sub>-Bilanz auch ein echter Gewinn für die Umwelt.

# Eine Brücke in die Energieversorgung von morgen.

Erdgas gewinnt als Energieträger und industrieller Rohstoff global an Bedeutung. Dank ausgereifter Verflüssigungs-, Lagerungs- und Transport-Technologien kann Erdgas auch ohne Pipeline-Infrastruktur weltweit verfügbar gemacht werden. Linde beherrscht die gesamte Wertschöpfungskette der Erdgasbehandlung. Das Unternehmen verfügt über eigene Technologien zur Verflüssigung und zum Transport des Erdgases bis hin zur sicheren Lieferung an den Endverbraucher.

3

# D

ie Nachfrage nach Erdgas steigt weltweit stetig an. Hauptursache für diese Entwicklung: Die Nutzung von Erdgas ist deutlich umweltfreundlicher als die Verwendung von Erdöl oder Kohle; bei der Verbrennung von Erdgas wird rund 30 Prozent weniger Kohlendioxid freigesetzt.

Vor diesem Hintergrund wächst auch der Markt für die Erdgasverflüssigung – und damit für die entsprechenden Anlagen.

**- 30 %**

**CO<sub>2</sub>-Emissionen bei der Verbrennung von Erdgas im Vergleich zu anderen fossilen Energieträgern.**

Erdgas ist die umweltfreundliche Alternative zu anderen fossilen Brennstoffen wie Diesel, Benzin oder Öl. Erdgas setzt bei der Verbrennung nicht nur deutlich weniger Kohlendioxid frei – es verbrennt auch völlig ruß- und partikellos.

durch die Nutzung des LNG aus dem neuen Terminal seine Klimabilanz: Das Unternehmen erwartet, durch den Einsatz von Erdgas den jährlichen CO<sub>2</sub>-Ausstoß um rund 50.000 Tonnen senken zu können.

## Verflüssigungs-Anlage in Stavanger: Erweiterung geplant

Das Erdgas für das Terminal in Schweden entstammt der Erdgasverflüssigungs-Anlage im norwegischen Stavanger, die Linde für das Unternehmen Skangass AS gebaut hat und die seit Ende 2010 in Betrieb ist. Die Anlage produziert jährlich 300.000 Tonnen LNG, von denen rund ein Sechstel per Tankschiff nach Nynäshamn transportiert und von Linde im Ostseeraum vermarktet wird.

### Stattliche Größe.

Mit 20.000 Kubikmetern Fassungsvermögen ist das Terminal auf Nynäshamn das größte seiner Art in Europa.



### Nynäshamn: Schwedens erstes LNG-Terminal

Als führendes Gase- und Anlagenbauunternehmen ist Linde für diese Entwicklung bestens gerüstet. Mit eigenen energiesparenden Technologien für den Verflüssigungsprozess und globalen Vermarktungsstrukturen ist Linde an allen Prozessschritten der Erdgasbearbeitung beteiligt.

So hat das Unternehmen im Mai 2011 Schwedens erstes Terminal für verflüssigtes Erdgas (LNG = Liquefied Natural Gas) in Betrieb genommen und damit das letzte Glied der Wertschöpfungskette für LNG geschlossen. Von Nynäshamn (südlich von Stockholm) aus beliefert Linde unter anderem die benachbarte Erdölraffinerie Nynas. Für die Erdölverarbeitung benötigt die Raffinerie Wasserstoff, der bisher aus Rohbenzin erzeugt wurde. Durch den Umstieg auf Erdgas als Rohstoff kann Nynas die Kohlendioxidemissionen um bis zu 58.000 Tonnen im Jahr reduzieren. Auch der Energieversorger Stockholm Gas verbessert



#### Kein Verdampfen mehr.

Immer häufiger sind LNG-Tanker mit sogenannten Rückverflüssigungs-Anlagen ausgerüstet. Dadurch kann auf der Fahrt verdampftes Gas erneut verflüssigt werden. In Tankern ohne derartige Anlagen verdampfen auf einer zwanzigjährigen Reise immerhin bis zu 3 Prozent des LNG.

Herzstück des Terminals in Nynäshamn ist ein runder, doppelwandiger Betontank mit einem Durchmesser von fast 35 Metern und gleicher Höhe, der bis zu 20.000 Kubikmeter LNG fasst. Das entspricht rund zwölf Millionen Kubikmetern Gas, weil sich LNG bei der Verdampfung auf das 600-fache Volumen ausdehnt.

Da in Schweden für den Weitertransport des Gases kein Leitungsnetz zur Verfügung steht, wird das Flüssiggas bei einer Temperatur von  $-162^{\circ}\text{C}$  in die Speichertanks von Sattelschleppern gefüllt und direkt zu den Kunden oder bis zu einem Anschlusspunkt des Gasnetzes transportiert. Dort wird es in sogenannten Rückvergasungs-Anlagen von Linde behutsam erwärmt und als Erdgas an die Endverbraucher weiterverteilt.

Vor dem Hintergrund der stetig steigenden LNG-Nachfrage planen Skangass AS und Linde, die Produktionskapazitäten der Verflüssigungs-Anlage in Stavanger wie auch des Terminals in Nynäshamn zu verdoppeln.

#### Trend zu mittelgroßen Anlagen

Auch nach dieser voraussichtlichen Kapazitätserweiterung wird es sich bei beiden Einrichtungen weiterhin um mittelgroße Anlagen handeln. Der Bedarf für diese Anlagen wächst, weil sie im Vergleich zu großen sogenannten World-Scale-Projekten viele Vorteile bieten: Mittelgroße Anlagen können in der Nähe von Gewerbegebieten und Städten errichtet werden und verkürzen so den Weg zum Kunden. Zudem lassen sie sich schneller planen und bauen und ermöglichen damit auch eine wirtschaftliche Erschließung von kleinen, isolierten Lagerstätten, deren Nutzung bisher zu aufwändig gewesen wäre.

Linde ist in diesem Markt gut positioniert, weil das Unternehmen über sämtliche technologische Kompetenzen für den Bau und die Ausrüstung von mittelgroßen LNG-Anlagen verfügt. Ein Beispiel hierfür ist Lindes patentierter Kühlprozess, der deutlich weniger Energie verbraucht als herkömmliche Verfahren.

# +10 %

## Nachfrage nach verflüssigtem Erdgas pro Jahr.

Der wachsende Verbrauch von verflüssigtem Erdgas resultiert aus der im Vergleich zu herkömmlichem Erdgas besseren Transportfähigkeit.

#### LNG als Treibstoff für Schiffe

Im Zuge der in Skandinavien geltenden strengen Umweltauflagen findet das Flüssigerdgas, das im Terminal Nynäshamn produziert wird, auch als klimaschonender Treibstoff zunehmend Verwendung. So



#### Zu Wasser und zu Lande.

Als besonders zukunftsträchtig gilt der Einsatz von verflüssigtem Erdgas in der Schifffahrt. Aufgrund strenger werdender Umweltauflagen erwägen immer mehr große Reedereien eine Umstellung auf den umweltfreundlicheren LNG-Antrieb.

müssen beispielsweise die Taxis am Flughafen Stockholm von Gas-, Hybrid- oder Elektromotoren angetrieben werden. In Norwegen wiederum ist es Vorschrift, Autofähren mit Erdgas zu betreiben. Bis 2013 sollen dort 40 Schiffe mit Flüssigerdgas fahren, die meisten davon werden mit Linde-Technologie ausgerüstet.

Insgesamt vollzieht sich in der internationalen Schifffahrt derzeit ein Wandel vom umweltschädlichen Schweröl hin zu Erdgas, um so den Ausstoß von CO<sub>2</sub>, Schwefel und Stickoxiden deutlich zu reduzieren. Für die Schifffahrt in der Nord- und Ostsee etwa werden die Grenzwerte für Schwefel von aktuell 1,5 Prozent auf 0,1 Prozent im Jahr 2015 gesenkt. Beim Aufenthalt in europäischen Häfen gilt schon heute der Grenzwert von 0,1 Prozent Schwefel.

Auch große Reedereien von Kreuzfahrtschiffen und namhafte Werften wie die Meyer Werft (Deutschland) prüfen inzwischen den umweltverträglichen LNG-Antrieb für ihre neuen Schiffe.

Eine wichtige Voraussetzung für einen breiten Durchbruch des Erdgasantriebs in der Schifffahrt ist der Aufbau eines weltweiten Netzes von entsprechenden Terminals in den Häfen. Die Linde-Anlage in Nynäshamn ist dafür ein wichtiges Referenz-Projekt.

einem vergleichsweise umweltfreundlichen und preisstabilen Kraftstoff versorgen soll.

Dafür hat Linde drei kleinere Flüssigergas-Anlagen, sogenannte Micro-LNG-Plants, errichtet. Zudem modernisiert das Unternehmen seine seit 30 Jahren arbeitende Anlage am Standort Dandenong bei Melbourne. Im Rahmen dieser Maßnahme wird die Produktionskapazität auf 100 Tonnen LNG pro Tag erweitert.

Die Micro-LNG-Anlage, die Linde in Chinchilla (Queensland) gebaut hat, verwendet Kohlefloßgas als Ausgangsstoff. Diesem Gas müssen in einem ersten Schritt CO<sub>2</sub>, Schwefel und Feuchtigkeit entzogen werden, bevor es mit speziellen Wärmetauschern gekühlt und verflüssigt werden kann.

Die Anlage, die Linde im Januar 2011 in Westbury (Tasmanien) in Betrieb genommen hat, ist Teil eines Versorgungssystems für regionale Fuhrunternehmen aus der Holzindustrie. Die Investitionen, die für die Umrüstung der Transportfahrzeuge von Diesel auf Erdgas erforderlich waren, werden sich wegen der niedrigeren Erdgaspreise und der längeren Lebensdauer der Motoren für die Spediteure schon binnen drei Jahren amortisieren.

#### Sauerstoff für die GTL-Produktion

Mit dem Einsatz von Flüssigerdgas im Straßenverkehr beschäftigt sich Linde in Australien. Entlang der Ostküste und auf der Insel Tasmanien entsteht ein Tankstellennetz für LNG, das den Schwerlastverkehr mit

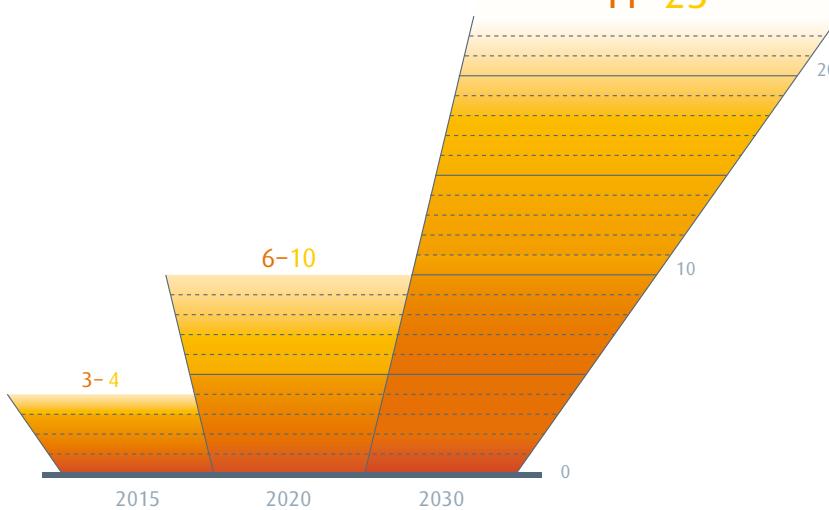
#### Australien: LNG im Schwerlastverkehr

Mit dem Einsatz von Flüssigerdgas im Straßenverkehr beschäftigt sich Linde in Australien. Entlang der Ostküste und auf der Insel Tasmanien entsteht ein Tankstellennetz für LNG, das den Schwerlastverkehr mit

## Markt mit Zukunft.

Entwicklung des Marktvolumens für LNG-Anlagen weltweit (in Mrd. EUR).

11–23



Quelle: Linde Schätzungen.

Das Ethan wird zu Ethylen weiterverarbeitet und für die Kunststoffherstellung vor Ort eingesetzt.

Im Auftrag von Qatar-Shell GTL hat Linde für diesen Komplex in den vergangenen Jahren acht große Luftzerlegungs-Anlagen gebaut. Sie werden von Mitte 2012 an unter Vollast stündlich rund 860.000 Kubikmeter Sauerstoff erzeugen – diese Mengen werden für die verschiedensten Produktionsprozesse vor Ort benötigt. Der Auftrag, den Linde im Jahr 2006 erhalten hatte, ist der größte, der je für Luftzerlegungs-Anlagen ausgeschrieben wurde.

Der Grundstein für diesen außergewöhnlichen Erdgas- und Chemiekomplex wurde im Februar 2007 gelegt. Auf dem Höhepunkt der Arbeiten an Pearl GTL waren auf der Baustelle bis zu 52.000 Menschen aus rund 50 Ländern beschäftigt. Bereits Ende 2010 konnten die wesentlichen Arbeiten abgeschlossen werden, und am 23. März 2011 strömte das erste Erdgas aus dem Offshore-Feld in die Anlage. Im Mai 2011 gingen die ersten vier gewaltigen Luftzerlegungs-Anlagen in Betrieb.

Das Erdgas wird von zwei Bohrplattformen aus dem North Field 60 Kilometer vor der Küste Katars gefördert. Dabei handelt es sich um eines der größten Gasvorkommen weltweit: Rund 15 Prozent der heute bekannten Reserven lagern dort.



#### Hoher Output.

Rund 140.000 Barrel flüssiger Kohlenwasserstoff einschließlich Naphtha, GTL-Kraftstoffen, Paraffin, Kerosin und Schmierölen werden jeden Tag in der GTL-Anlage in Katar produziert.

#### Neue Energie für Südostasien

Insbesondere in der dynamisch wachsenden Region Südostasien steigt die Bedeutung von LNG für die Energieversorgung. Die zügig fortschreitende Industrialisierung, die Förderung von Bodenschätzen in weit abgelegenen Regionen und auf Inseln sowie der steigende Ölpreis beschleunigen den Einsatz der Energiequelle Erdgas vor allem für die Stromerzeugung. Darüber hinaus gilt auch für diese Region, dass sich durch die hoch entwickelten Förder-Technologien samt Verflüssigung und Transport per Schiff die Erschließung von bisher wirtschaftlich weniger interessanten Lagerstätten jetzt lohnt. Zusätzlich unterstützt wird dieser Prozess durch steuerliche Anreize von Regierungen, die zunehmend auf heimische Energiequellen setzen, um die Abhängigkeit von Importen zu verringern.

Einen stark steigenden Energiebedarf hat beispielsweise die Bergbauindustrie im östlichen Indonesien – schließlich müssen die geförderten Rohprodukte künftig im Land behandelt werden, bevor sie exportiert werden dürfen. Um die dafür erforderliche Energie bereitzustellen, sind die Erschließung lokaler, isolierter Erdgasfelder (Stranded Gas; siehe Glossar) und die Verarbeitung zu LNG eine Option.

Derzeit prüfen Linde und Pertagas (PT Pertamina Gas) die Wirtschaftlichkeit einer entsprechenden mittelgroßen LNG-Anlage auf der Insel Pulau Dua zur Nutzung des Gasfelds Salawati. Die Einheit soll 300 Tonnen LNG pro Tag produzieren und mit einem Lagertank für 7.500 Kubikmeter und einer Anlege-

# 860.000 m<sup>3</sup>

Sauerstoff erzeugen die acht Luftzerlegungs-Anlagen in Katar pro Stunde.

Linde deckt damit den Sauerstoffbedarf für den Betrieb der weltweit größten Gas-to-Liquids-Anlage in Katar.

stelle kombiniert werden. Als Zielort für das LNG ist die Insel Halmahera vorgesehen, wo aus dem Gas Strom für die Verarbeitung von Nickel erzeugt werden soll.

Neben Indonesien planen auch Malaysia, Vietnam und Singapur ihre eigenen – bisher schwer zugänglichen – Erdgaslagerstätten mit Hilfe von kleinen und mittelgroßen LNG-Anlagen zu erschließen.

Als Produzent und Lieferant von LNG ist Linde an der Marktentwicklung in Südostasien aktiv beteiligt. Das Unternehmen leistet mit seinen energieeffizienten Technologien einen wichtigen Beitrag, damit diese Länder ihren natürlichen Reichtum heben können, ohne die Umwelt zu schädigen.



#### Aus aller Welt.

Auf dem Höhepunkt der Arbeiten an der Groß-Anlage in Katar waren auf der Baustelle 52.000 Menschen aus 50 Ländern beschäftigt.



↳ CO<sub>2</sub> beschleunigt das Wachstum der Pflanzen  
in niederländischen Gewächshäusern.

→ Kapitel 4

# Innovatives CO<sub>2</sub>-Management.

Nachhaltig und ertragreich.





↳ Tomaten – hier im Querschnitt – brauchen eine optimale Kohlendioxidversorgung.

### Emissionen nutzen, Pflanzenwachstum fördern

350.000 Tonnen Kohlendioxid strömen im Sommer in den Niederlanden von der Shell-Ölraffinerie bei Rotterdam in hunderte Treibhäuser. Durch diese intelligente Weiterverwendung des Treibhausgases werden jährlich die CO<sub>2</sub>-Emissionen einer westeuropäischen Großstadt vermieden. Ein kleinerer Teil des CO<sub>2</sub> wird an die Lebensmittelindustrie geliefert, die es zur Frischhaltung

von Produkten nutzt. Linde arbeitet derzeit im Rahmen des Joint Ventures OCAP daran, das in den Wintern bislang noch ungenutzt verströmende Kohlendioxid in leere Erdgasfelder südöstlich von Rotterdam einzubringen. Die Kapazitäten vor Ort reichen aus, die Emissionen der nächsten 30 Jahre aufzunehmen.



↳ Stärker, größer, grüner: Tomaten, Gurken und Salat entwickeln sich schneller, liefern höhere Erträge und sind widerstandsfähiger dank CO<sub>2</sub>.



→ Im Laboratorium schwimmen die Algen in offenen Becken. Dort werden sie mit Licht bestrahlt und mit CO<sub>2</sub> gefüttert.

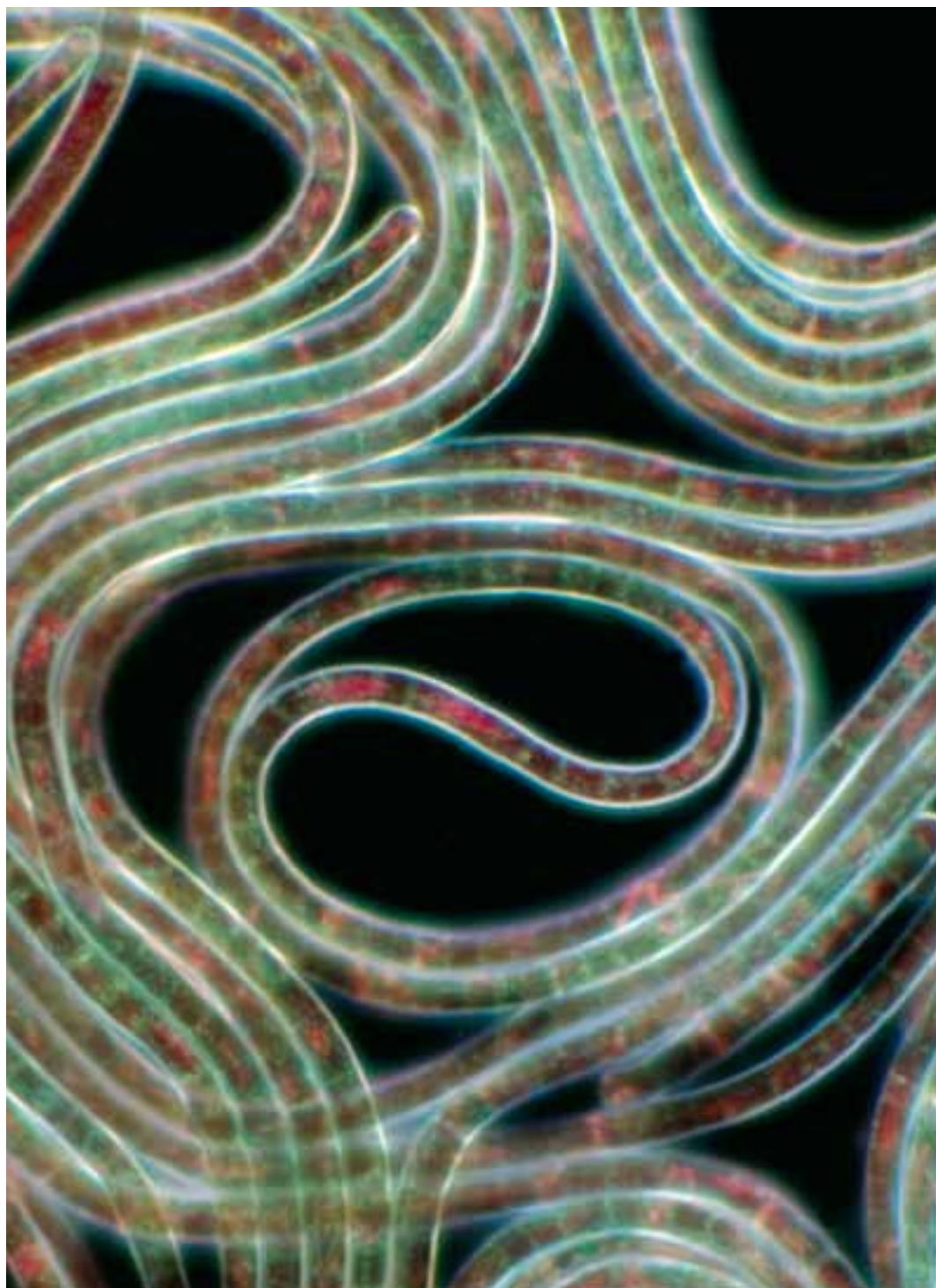


## Algen mit CO<sub>2</sub> füttern, Treibstoff gewinnen.

Algen produzieren unter Einwirkung von Sonnenlicht und CO<sub>2</sub> nicht nur Sauerstoff, sondern auch den Rohstoff Bioöl. Dafür benötigen Algenfarmen große Mengen an Kohlendioxid.



↳ Partner von Linde: Algenfarm des US-Unternehmens Sapphire in San Diego (Kalifornien).

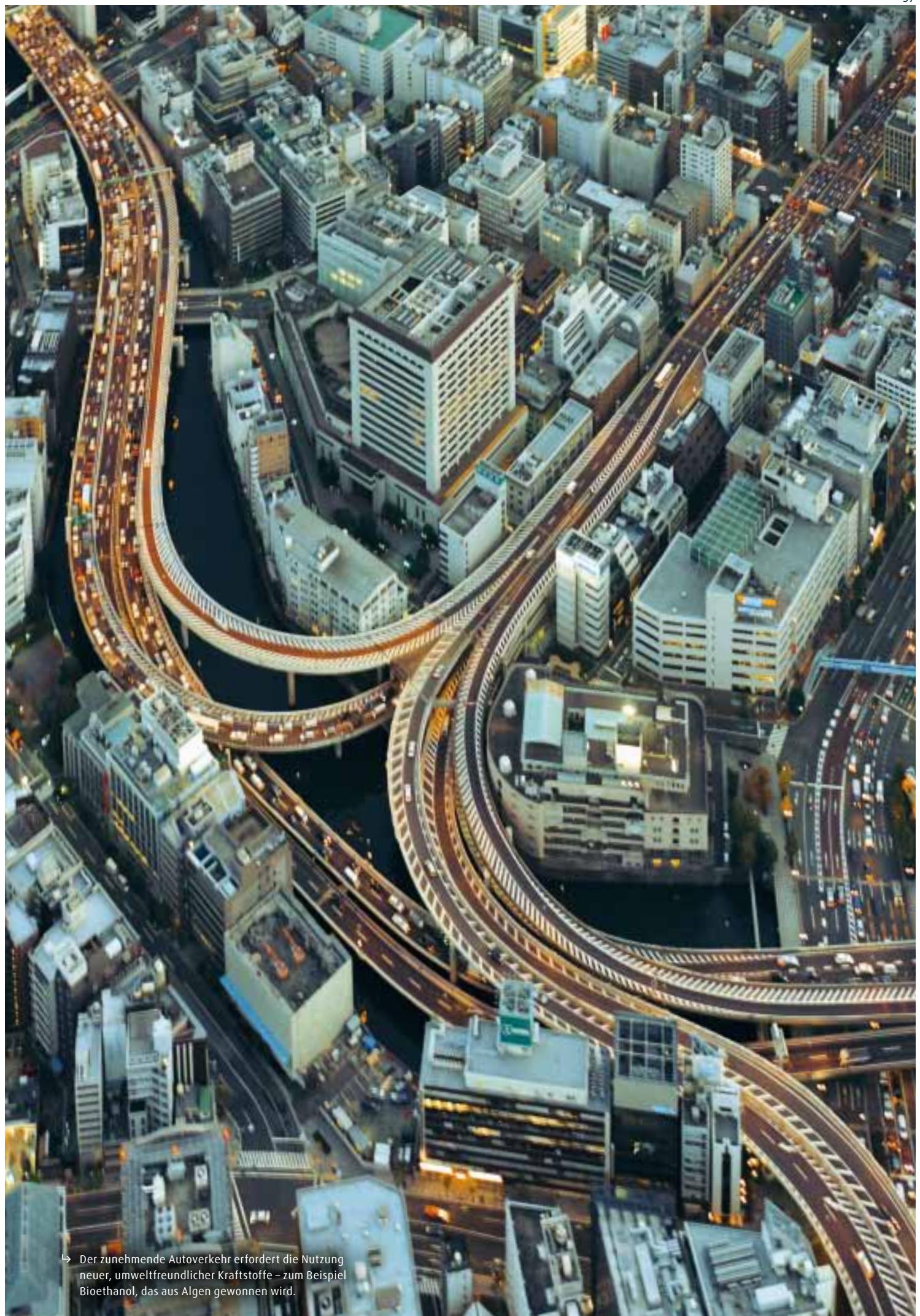


↳ Mikroskopaufnahme einer Blaualge (Cyanobakterium).

### Ungeahnte Fähigkeiten, große Möglichkeiten

Etwa 350 Liter Ethanol produzieren Blaualgen aus einer Tonne CO<sub>2</sub> – und damit klimaneutralen Treibstoff für den Straßenverkehr der Zukunft. In den Minifabriken aus dem Meer schlummert ein Potenzial, das in der Forschungskooperation von Linde mit dem amerikanischen Algenexperten Algenol weiter erschlossen wird. Die Gase-Spezialisten von Linde kümmern sich um das

Abtrennen, Reinigen und Transportieren des CO<sub>2</sub>. Die Experten von Algenol verbessern die Leistungsfähigkeit der Cyanobakterien. Die neuen Hybridalgen recyceln nicht nur Kohlendioxid und wandeln es in Energie um. Sie ersetzen gleichzeitig eine Menge fossiler Brennstoffe und erzielen damit eine negative CO<sub>2</sub>-Bilanz.



↳ Der zunehmende Autoverkehr erfordert die Nutzung neuer, umweltfreundlicher Kraftstoffe – zum Beispiel Bioethanol, das aus Algen gewonnen wird.

# Reduzieren, speichern, wiederverwerten.

Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) ist ein natürlicher Bestandteil unserer Atmosphäre. Für die Nahrungsmittelproduktion ist es genauso unverzichtbar wie für viele industrielle Prozesse. Gleichzeitig befördert CO<sub>2</sub> den Klimawandel. Deshalb müssen die Emissionen weltweit reduziert und das Treibhausgas sinnvoll wiederverwertet werden. Linde stellt für die gesamte CO<sub>2</sub>-Wertschöpfungskette die erforderlichen Technologien bereit.



↳ Kohlekraft mit reduziertem CO<sub>2</sub>-Ausstoß: Oxyfuel-Pilotprojekt in Schwarze Pumpe, Deutschland.

**N**ach Schätzungen der Internationalen Energieagentur (IEA) wird sich die globale Energienachfrage im Zuge der dynamischen Industrialisierung in aufstrebenden Volkswirtschaften wie China, Indien oder Brasilien bis zum Jahr 2050 verdoppeln. Um diesen Bedarf decken zu können, wird die Nutzung fossiler Energiequellen noch auf Jahrzehnte hinaus unverzichtbar bleiben. Damit dies so klimafreundlich wie möglich erfolgen kann, sind innovative Technologien gefragt.

Linde-Ingenieure und -Techniker leisten mit den von ihnen entwickelten Verfahren für das CO<sub>2</sub>-Management bereits heute einen wichtigen Beitrag zu einer effizienten Energieerzeugung und -nutzung.

#### Verfahren zur CO<sub>2</sub>-Abtrennung in Kraftwerken

Das Pre-Combustion-Verfahren ermöglicht es, das CO<sub>2</sub> bereits vor der Verbrennung von Brennstoffen im Kraftwerk abzutrennen. Dabei wird in einem Kohle-Kombikraftwerk, auch Gas- und Dampf-Kraftwerk (GuD) genannt, die pulverisierte Kohle mit reinem Sauerstoff im sogenannten Integrated Gasification Combined Cycle (IGCC; siehe Glossar) zu einem Synthesegas umgesetzt, das hauptsächlich aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff besteht. In einem zweiten Schritt wird der Großteil des Kohlenmonoxids mit Wasserdampf zu Kohlendioxid und weiterem Wasserstoff umgesetzt. Das Kohlendioxid lässt sich dann mittels einer physikalischen Wäsche leicht abtrennen und wird anschließend entschwefelt, verdichtet oder verflüssigt. In komprimierter oder flüssiger Form ist das CO<sub>2</sub> zur Wiederverwertung oder Lagerung geeignet.

## +20 bis 40

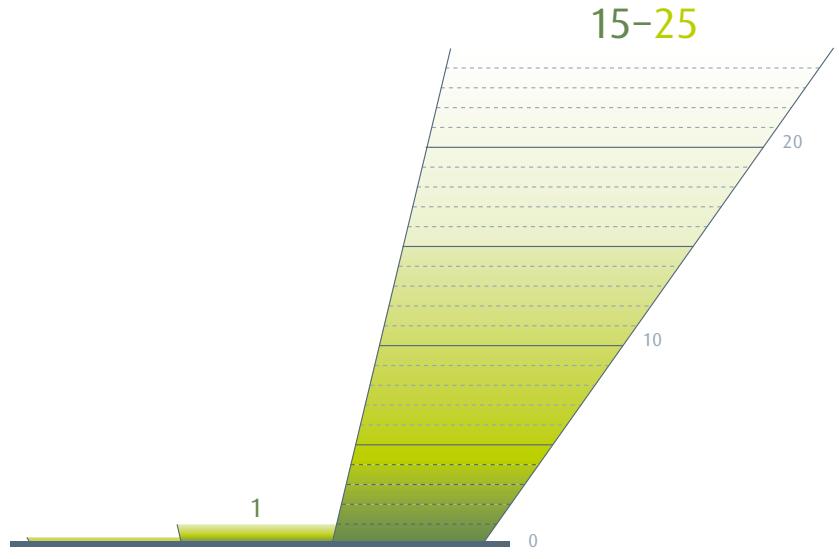
Mrd. EUR Marktvolumen für Carbon Capture and Clean Coal bis zum Jahr 2030.

Der Markt für CO<sub>2</sub>-Abtrennung und -speicherung und die umweltfreundliche Nutzung von Kohle haben großes Potenzial: Experten erwarten, dass bis zum Jahr 2030 in diesem Bereich ein weltweites Marktvolumen von 20 bis 40 Mrd. EUR entstehen wird.

Beim sogenannten Oxyfuel-Verfahren wird das bei der Verbrennung von Kohle entstehende CO<sub>2</sub> aus den Rauchgasen abgetrennt. Das Abgas besteht vor allem aus Kohlendioxid und Wasserdampf. Dieses relativ reine CO<sub>2</sub> lässt sich durch einfaches Abkühlen problemlos vom Wasserdampf trennen, auffangen, verdichten und zu einem Speicher transportieren. Der zur Verbrennung eingesetzte Sauerstoff wird in einer Luftzerlegungs-Anlage gewonnen, die dem Verbren-

## Markt mit Potenzial.

Entwicklung des weltweiten Marktvolumens für die Installation von CO<sub>2</sub>-Netzwerken (in Mrd. EUR).



Quelle: Linde Schätzungen.

nungsprozess vorgeschaltet ist. Um die Temperatur der Flamme zu regulieren, wird der größte Teil des stickstofffreien Rauchgases wieder in den Kessel zurückgeführt. Ein weiterer Vorteil des Oxyfuel-Verfahrens: Die hohe Temperatur erhöht den Wirkungsgrad des Kraftwerks.

Zur Weiterentwicklung des Oxyfuel-Verfahrens hat Linde mit der Vattenfall Europe Technology Research GmbH eine umfassende Technologie-Partnerschaft geschlossen. Die Kooperation zielt darauf, das Verbrennungsverfahren für Braunkohle und Steinkohle zu erproben und die Technik zur Anwendung in Großkraftwerken zu entwickeln. Seit September 2008 betreibt Vattenfall auf dem Gelände des Braunkohlekraftwerks Schwarze Pumpe in Brandenburg (Deutschland) eine Pilotanlage mit 30 Megawatt (MW) thermischer Leistung, für die Linde zahlreiche Komponenten liefert und die prozesstechnische Gesamtkonzeption erstellt hat. Ein Teil des in Schwarze Pumpe anfallenden Kohlendioxids wurde bereits erfolgreich im Rahmen des Forschungsprojekts CO<sub>2</sub>MAN in Ketzin (Brandenburg) verpresst.

In Italien konnte Linde 2011 einen weiteren CCS-Auftrag (CCS = Carbon Capture and Storage; siehe Glossar) gewinnen. Für den Energiekonzern ENEL SpA liefert Linde künftig die Technologie für das Reinigen, die Verflüssigung und die Lagerung von CO<sub>2</sub>, die im Kohlekraftwerk Federico II in der Nähe von Brindisi installiert wird. Dieses CCS-Projekt wird durch die Europäische Union gefördert; es dient als Pilotanlage für die Errichtung einer größeren Anlage im Kohlekraftwerk Porto Tolle.

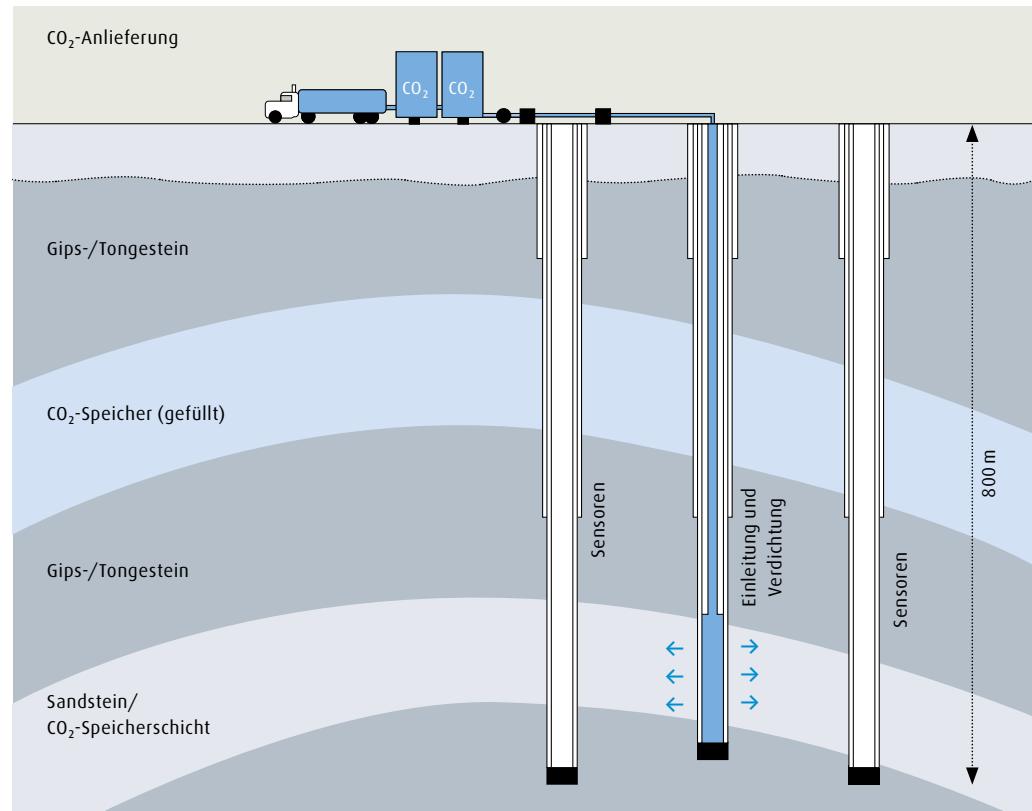
#### Vattenfall testet Oxyfuel-Verfahren mit Unterstützung von Linde.

Beispielhaft für ein neuartiges Verfahren zur CO<sub>2</sub>-Abtrennung bei der Energieerzeugung ist die Oxyfuel-Technologie. Dabei wird Kohle unter Zugabe von reinem Sauerstoff – anstelle von Luft – verbrannt. Das so entstehende CO<sub>2</sub> kann anschließend abgetrennt und sequestriert werden.

### Das Forschungsprojekt CO<sub>2</sub>MAN

Seit Juni 2008 werden im Rahmen des Projekts CO<sub>2</sub>MAN am „Pilotstandort CO<sub>2</sub>-Speicherung Ketzin“ pro Stunde 1,5 Tonnen CO<sub>2</sub> durch armdicke Rohre in das Tiefengestein befördert. Genauer gesagt: in einen salinen Aquifer, einen Grundwasserspeicher aus porösem Sandstein, der hochkonzentriertes Salzwasser enthält. Bläst man das Gas mit einem ausreichend hohen Druck hinein, löst sich ein Teil davon im Wasser. Das restliche CO<sub>2</sub> verdrängt das Wasser aus den Poren des löchrigen Gesteins. Messungen sollen erstmals im Detail zeigen, wie sich das CO<sub>2</sub> im Untergrund ausbreitet. Die wichtigste Frage dabei lautet: Ist dieses Endlager dicht? Geologen gehen bislang davon aus, dass die Schicht aus Gips und Ton, die wie eine Käseglocke über der mehrere Quadratkilometer großen Sandsteinwölbung liegt, absolut undurchlässig bleibt, selbst wenn das Lager die zehnfache Menge der geplanten 60.000 Tonnen CO<sub>2</sub> aufnehmen würde.

Das CO<sub>2</sub> für Ketzin stammt zum größten Teil aus dem 175 Kilometer entfernten Chemiepark Leuna, wo es als Nebenprodukt der Ammoniaksynthese anfällt und von Linde in einem mehrstufigen Aufbereitungsprozess gereinigt und bei -35 bis -25 °C verflüssigt wird. Linde transportiert das flüssige CO<sub>2</sub> per Lkw nach Ketzin, wo es in flüssigem Zustand in Tanks zwischengelagert wird. Vor dem Verpressen in den Untergrund wird das CO<sub>2</sub> in den gasförmigen Zustand überführt und dann unter einem Druck von 70 bis 100 bar in eine Tiefe von 700 Metern geleitet.



### Europas größte Offshore-CO<sub>2</sub>-Injektion

Bei einem weiteren Linde Großprojekt wird das abgetrennte CO<sub>2</sub> aus dem in der Barentssee geförderten und vor Hammerfest (Norwegen) verflüssigten Erdgas per Pipeline wieder zurück zu seinem Ursprung, dem Snøhvit-Erdgasfeld, geführt (siehe Seite 18). Auf diese Weise lässt sich rund die Hälfte des hier anfallenden CO<sub>2</sub> – jährlich rund 700.000 Tonnen – sicher in einer Tiefe von 2,6 Kilometern unter dem Meeresboden lagern. Das CO<sub>2</sub> geht unterirdisch sogar eine Verbindung mit dem Gestein ein und bleibt damit fest eingeschlossen, mehr als 100 Kilometer vom nächsten bewohnten Gebiet entfernt.

### CO<sub>2</sub>-Abtrennung nach der Verbrennung

Bei der CO<sub>2</sub>-Wäsche, dem sogenannten Post-Combustion-Verfahren, wird Kohlendioxid in konvention-

nellen Kohlekraftwerken nach der Entschwefelung des Rauchgases mit einer Waschlösung abgetrennt. Dieses Verfahren eignet sich als bisher einziges zur Nachrüstung von bestehenden Kraftwerken. Es ist deshalb von besonderer Bedeutung für eine klimaschonende Energieversorgung in der nahen Zukunft.

Das Kernstück einer Anlage zur CO<sub>2</sub>-Wäsche ist ein Absorber. Darin wird das zuvor entschwefelte heiße Rauchgas im Gegenstromverfahren an einer Waschlösung vorbeigeführt. Diese wässrige Lösung von Aminen, einer Gruppe von organischen Substanzen, nimmt das CO<sub>2</sub> aus dem Abgas auf. Das CO<sub>2</sub>-arme Rauchgas wird vor Verlassen des Absorbers mit Wasser berengt, um eventuelle Reste des Waschlösungsmittels zu entfernen, bevor das gereinigte Rauchgas über Kamme oder einen Kühlturn in die Atmosphäre gelangt. Das herausgewaschene CO<sub>2</sub> wird nach der Wäsche in einem Desorber erhitzt und aus der



**-90 %**

**CO<sub>2</sub> bei Verbrennungsabgasen  
in Kraftwerken.**

Beim sogenannten Post-Combustion-Verfahren wird das Kohlendioxid nach der Entschwefelung abgetrennt. Danach kann der größte Anteil der Verbrennungsabgase unterirdisch gespeichert werden. Post Combustion ist aktuell das einzige Verfahren der CO<sub>2</sub>-Wäsche, mit dem bestehende Kraftwerke nachgerüstet werden können.

↳ Pilot-Waschanlage für CO<sub>2</sub> von RWE, BASF und Linde in Niederaußem, Deutschland. Ab 2020 soll das Verfahren kommerziell in deutschen Braunkohlekraftwerken eingesetzt werden.



↳ (links) Gewächshäuser benötigen viel CO<sub>2</sub>. Linde gewährleistet eine konstante Versorgung.

↳ (rechts) Vorbildliche CO<sub>2</sub>-Infrastruktur: Über ein dichtes Rohrnetzwerk wird das Kohlendioxid aus einer Raffinerie bei Rotterdam in niederländische Treibhäuser geleitet, um dort die Erträge zu steigern.

Flüssigkeit gelöst. Das Waschmittel wird nach der Kühlung für einen neuen Waschkreislauf zum Absorber zurück gepumpt.

Der Energieversorger RWE Power erprobt diese Technik seit Sommer 2009 in einer Pilotanlage im Braunkohlenkraftwerk Niederaußem, Nordrhein-Westfalen (Deutschland). Mit diesem Verfahren können mehr als 90 Prozent des CO<sub>2</sub> aus den Verbrennungsabgasen eines Kraftwerks entfernt und anschließend unterirdisch gespeichert werden.

Linde hat auf dem Gebiet der CO<sub>2</sub>-Wäsche gemeinsam mit der chemischen Industrie Jahrzehntelang Erfahrungen gesammelt. Beim Betrieb der Pilotanlage zur CO<sub>2</sub>-Wäsche in Niederaußem arbeiten RWE, der Chemiekonzern BASF und Linde seit 2007 in einer engen Partnerschaft zusammen. Linde baute die Wasch-Anlage für das RWE-Kraftwerk, und BASF lieferte neue Lösemittel zur Erprobung einer möglichst effizienten Abtrennung von Kohlendioxid im Langzeittest. Das Ziel der Industriepartner ist es, die CO<sub>2</sub>-Abtrennung in den für Deutschland so bedeutenden Braunkohlekraftwerken von 2020 an kommerziell einsetzen zu können.

Der Markt für CO<sub>2</sub>-Abtrennung und -Speicherung und die umweltfreundliche Nutzung von Kohle (Carbon Capture and Clean Coal) haben großes Potenzial: Experten erwarten, dass sich bis zum Jahr 2030 in diesem Bereich ein weltweites Marktvolumen von 20 bis 40 Mrd. EUR entwickeln wird.

Ein Teil davon dürfte in Nordamerika entstehen; hier wächst die Nachfrage nach umweltverträglichen Lösungen für die kohlebasierte Stromerzeugung stetig. Mit der Unterstützung des U.S. Department of Energy (DoE) entwickelt Linde auch in den USA die Technologie zur Abscheidung von CO<sub>2</sub> in Kohlekraftwerken weiter. Mit 15 Mio. USD fördert das DoE den Bau einer Pilotanlage in Wilsonville (Alabama), in der von 2014 an innovative Verfahren der CO<sub>2</sub>-Wäsche getestet werden sollen. Diese Verfahren zielen auf eine möglichst energieeffiziente und kostengünstige Abscheidung des anfallenden CO<sub>2</sub>. In der Anlage will Linde mindestens 90 Prozent des Kohlendioxids aus Kraftwerksrauchgasen entfernen. Die Energiekosten

sollen dabei gleichzeitig um lediglich 30 Prozent steigen.

### CO<sub>2</sub> als Wachstumsbeschleuniger für Pflanzen

Wie sinnvoll die Wiederverwertung von CO<sub>2</sub> sein kann, zeigt ein Projekt in den Niederlanden: Gemeinsam mit dem Bauunternehmen VolkerWessels versorgt Linde im Rahmen des Joint Ventures OCAP (Organisches CO<sub>2</sub> für die Assimilation in Pflanzen) mehr als 550 Gewächshäuser mit CO<sub>2</sub>. Das CO<sub>2</sub>, das in einer Shell-Raffinerie bei Rotterdam anfällt, wird über eine 85 Kilometer lange Pipeline und ein rund 300 Kilometer langes Verteilungsnetzwerk zu den Betrieben geleitet. Jedes Jahr werden so mehr als 350.000 Tonnen CO<sub>2</sub> wiederverwertet.

---

# -190.000 t

### CO<sub>2</sub> pro Jahr dank des Linde Joint Ventures OCAP in Holland.

Die Weiterverwertung von emittiertem Kohlendioxid aus einer Shell-Ölraffinerie bei Rotterdam für die Gemüse- und Pflanzenzucht in niederländischen Treibhäusern gleicht in etwa den Kohlendioxidausstoß aus, der jährlich in einer europäischen Stadt mit 150.000 Einwohnern anfällt.

---

Mit dem CO<sub>2</sub>, das für die Photosynthese benötigt wird, beschleunigen die Landwirte das Wachstum ihrer Tomaten, Gurken, Salate und anderen Gemüsesorten. Bisher führten sie ihren Pflanzen zusätzliches CO<sub>2</sub> durch die Verbrennung von Erdgas aus eigenen Öfen zu.

Insgesamt erspart die Nutzung des CO<sub>2</sub> aus der Raffinerie die Verbrennung von rund 105 Millionen Kubikmetern Erdgas und vermeidet Emissionen von 190.000 Jahrestonnen CO<sub>2</sub> – ein Volumen, das etwa den jährlichen Emissionen einer europäischen Stadt mit 150.000 Einwohnern entspricht.

- ↳ Ausgefeilter Entwicklungsprozess: Über viele Testreihen hinweg haben Wissenschaftler Hybridalgen mit einem maßgeschneiderten Stoffwechsel gezüchtet, um die Bioöl-Produktion zu erhöhen.

4



#### **Das Algenol-Verfahren.**

Algenol kultiviert die Algen in speziellen Photobioreaktoren, die das Sonnenlicht als Energiequelle für die Bakterien durchscheinen lassen. Die großen schlauchförmigen Beutel sind zu etwa einem Viertel mit einer Algen-Salzwasser-Mischung gefüllt. Im Gasraum darüber sammelt sich das unter der Sonnenhitze verdampfte Ethanol-Wasser-Gemisch. Wenn das Gas bei Abkühlung in der Nacht kondensiert, kann die Flüssigkeit über spezielle Rillen an der Kunststoffhaut aufgefangen werden. Sie enthält etwa 1 Prozent Alkohol. Ziel der Algenexperten ist es, jährlich bis zu neun Liter Ethanol pro Quadratmeter zu produzieren. Die Algenzucht beansprucht keine für die Nahrungsmittelproduktion benötigten Anbauflächen, da die Anlagen auch in Wüsten betrieben werden können.

Da allerdings das CO<sub>2</sub> aus der Raffinerie von den Gewächshausbetreibern nur im Sommer abgerufen wird, weil sie im Winter ohnehin heizen müssen und damit eigenes Kohlendioxid erzeugen, planen die OCAP-Partner, den CO<sub>2</sub>-Überschuss in bereits ausgeschöpften Erdgasfeldern zu entsorgen. Diese Speicher könnten jedes Jahr rund 280.000 Tonnen aufnehmen – und das fast 30 Jahre lang. Die Aufnahmekapazität wird voraussichtlich sogar auf 400.000 Tonnen steigen, wenn in wenigen Jahren – wie vorgesehen – eine weitere Lagerstätte hinzukommt. OCAP beabsichtigt, das CO<sub>2</sub> durch neue Pipelines zu den leeren Erdgasfeldern zu leiten und es für die Lagerung mit Kompressoren zu verdichten. Schon im Jahr 2013 soll CO<sub>2</sub> in die leeren Speicher strömen. Langfristig könnte das Pipeline-Netz auch für die Offshore-Lagerung von CO<sub>2</sub> erweitert werden.

#### **CO<sub>2</sub>-Management für die Algenkultivierung**

In den USA ist Linde an einer weiteren, besonders zukunftsträchtigen Wiederverwertung von CO<sub>2</sub> beteiligt: In verschiedenen Pilotprojekten wird hier das Gas für den Stoffwechsel von Algen genutzt, um damit eine umweltfreundliche Erzeugung von Treibstoffen und Basisprodukten für die chemische Industrie

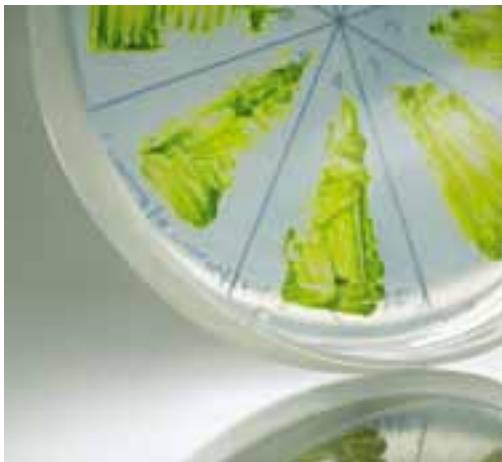
---

# 9 Liter

**Ethanol pro Quadratmeter  
Algen – ein gemeinsames Ziel  
von Algenol und Linde.**

Genetisch veränderte Blaualgen erzeugen durch die Zuführung von CO<sub>2</sub> aus Abgasen Treibstoff. Auf einem Quadratmeter Fläche entstehen auf diese Weise heute schon 5,6 Liter Bioethanol. Ziel des Forschungsprojektes von Linde und Algenol ist es, 9 Liter pro Quadratmeter zu erreichen.

zu ermöglichen. Dafür benötigen die in Salzwasser lebenden, mikroskopisch kleinen Cyanobakterien – auch Blaualgen genannt – nur Sonnenlicht und Kohlendioxid. Sie atmen also CO<sub>2</sub> und trinken Salzwasser, wenn die Sonnenenergie die Photosynthese stimuliert. Bei diesem Prozess setzen sie Sauerstoff frei und produzieren unter bestimmten Bedingungen Bioethanol.



# -70 %

## CO<sub>2</sub>-Emissionen durch erneuerbares Rohöl auf Algenbasis.

Durch die Erzeugung von Bio-Kraftstoff aus Algen werden die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Vergleich zu Erdölbasierten Kraftstoffen um 70 Prozent reduziert.



↳ Sapphire Energy: Das in den Versuchslabors gewonnene Bioöl ermöglicht die Herstellung von Kraftstoffen wie Kerosin, Diesel und Benzin.

Blaulalgen sind für die Treibstoffproduktion besonders interessant, da sie viel mehr CO<sub>2</sub> verarbeiten können als andere Pflanzen. Zum Vergleich: Während aus Maispflanzen zum Beispiel 0,37 Liter Ethanol pro Quadratmeter gewonnen werden kann, erzeugen Blaulalgen auf der gleichen Fläche derzeit 5,6 Liter; künftig sollen es sogar 9 Liter pro Quadratmeter werden.

Um künftige Algenfarmen möglichst kostengünstig und energieeffizient mit CO<sub>2</sub> zu versorgen, hat Linde mit dem US-Unternehmen Algenol Biofuels eine Kooperation vereinbart. Ziel der Zusammenarbeit ist es, die Abgase aus Kohlekraftwerken und Raffinerien gerade so weit aufzureinigen, dass die Mikroorganismen nicht eingehen. Denn jeder zusätzliche Schritt – ob Reinigung, Komprimieren oder Verflüssigen der Gase – verbraucht Energie und belastet die CO<sub>2</sub>-Bilanz des gesamten Prozesses. Am Schluss soll eine negative CO<sub>2</sub>-Bilanz stehen, damit das Verfahren ökologisch und ökonomisch rentabel bleibt.

Die Wissenschaftler von Algenol Biofuels haben eine besonders leistungsfähige Alge gezüchtet, die im Unterschied zu herkömmlichen Arten auch bei viel Sonnenlicht Ethanol produziert und an das Meerwasser abgibt. Der Vorteil dieses sogenannten direkten Verfahrens: Das Ethanol kann unmittelbar aus der grünen Lösung gewonnen werden, ohne die Algen abermals zu müssen. So erzeugt diese Algenart aus einer Tonne CO<sub>2</sub> rund 350 Liter Ethanol.

Entscheidend für den kommerziellen Durchbruch des klimafreundlichen, regenerativen Energieträgers Alge ist dessen wirtschaftliche Nutzbarkeit. Um dies im großtechnischen Maßstab zu erproben, hat Linde mit dem US-Unternehmen Sapphire Energy – einem der weltweit führenden Hersteller von erneuerbarem Rohöl auf Algenbasis – eine Kooperation gegründet. Im Mai 2011 vereinbarten die beiden Partner, gemeinsam ein Kohlendioxid-Versorgungssystem für großkommerzielle Algenkultivierungs-Anlagen zur Gewinnung von Bio-Kraftstoff zu erarbeiten. Zusätzlich wird Linde die gesamte CO<sub>2</sub>-Versorgung für Sapphires kommerzielle Demonstrationsanlage in Columbus (New Mexico) übernehmen.

Sapphire Energy hat eigene Technologien für die gesamte Wertschöpfungskette zur Gewinnung von Bio-Kraftstoff aus Algen entwickelt – angefangen beim biologischen Verfahren über die Kultivierung, die Ernte und die Extraktion bis hin zur Raffination. Das so gewonnene Rohöl ermöglicht die Produktion von Kraftstoffen wie Kerosin, Diesel und Benzin, die ohne Einschränkungen für bestehende Infrastrukturen und Motoren geeignet sind. Bezogen auf den Gesamtprozess lassen sich mit der Erzeugung von Rohöl aus Algen die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Vergleich zu Erdölbasierten Kraftstoffen um 70 Prozent reduzieren.

Für die Installation von Netzwerken für das CO<sub>2</sub>-Management wird bis zum Jahr 2030 ein weltweites Marktvolumen von 15 bis 25 Mrd. EUR erwartet.

### Aufbruch in eine grüne Zukunft

Die Nutzung des CO<sub>2</sub> zur Erzeugung von regenerativen Treibstoffen kann zu einer deutlichen Reduzierung von Treibhausgasen führen. Eine einzige kommerzielle Algenkraftstoff-Produktions-Anlage nach dem Modell von Sapphire benötigt täglich schätzungsweise 10.000 Tonnen CO<sub>2</sub>. Dies entspricht rund 30 Prozent des aktuellen Handelsvolumens für CO<sub>2</sub> in den USA.



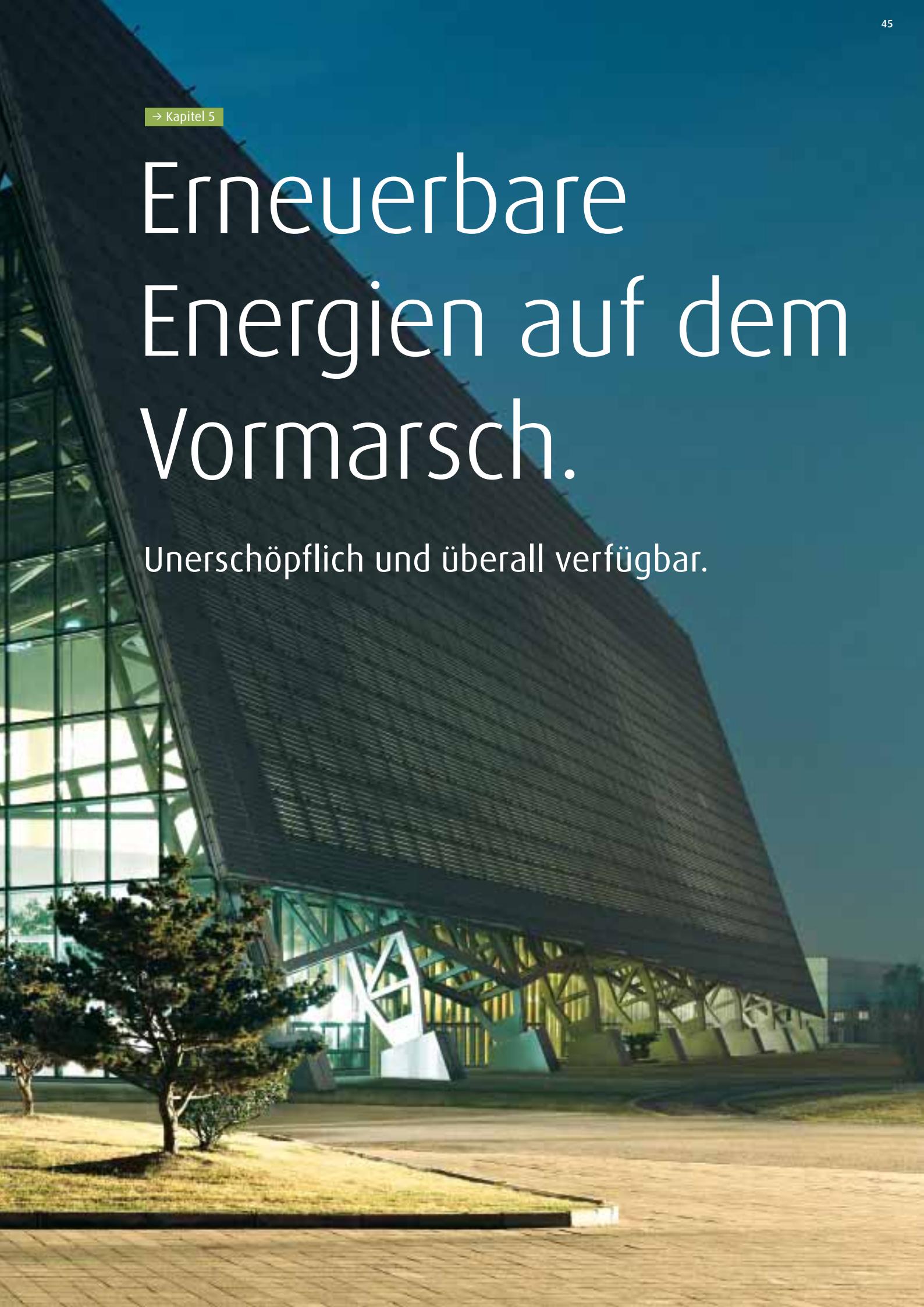
5

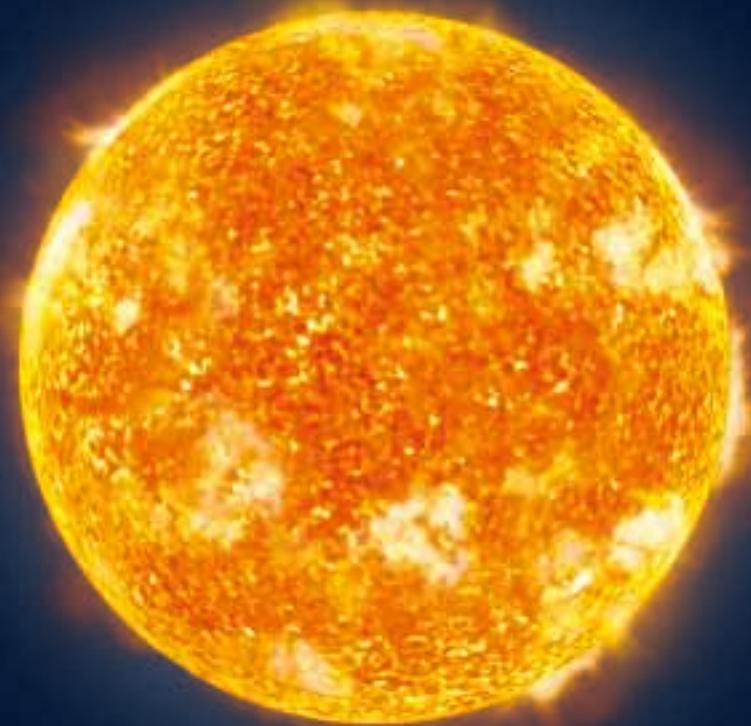
→ Voller Energie: Solarmodule an der Fassade des Haupt-  
sitzes von Suntech in Wuxi. Linde beliefert den chine-  
sischen Solarzellenhersteller mit Spezialgasen.

→ Kapitel 5

# Erneuerbare Energien auf dem Vormarsch.

Unerschöpflich und überall verfügbar.





## Solar

### Konstante Kraft aus dem All.

Im Gegensatz zu fossilen Energieträgern ist Solar-energie unbegrenzt verfügbar. Durch die Nutzung von Sonnenenergie werden keine Treibhausgase und keine klimaschädlichen Rußpartikel freigesetzt. In Zusammenarbeit mit einem Netzwerk von Solarzellenherstellern hat Linde ein Verfahren entwickelt,

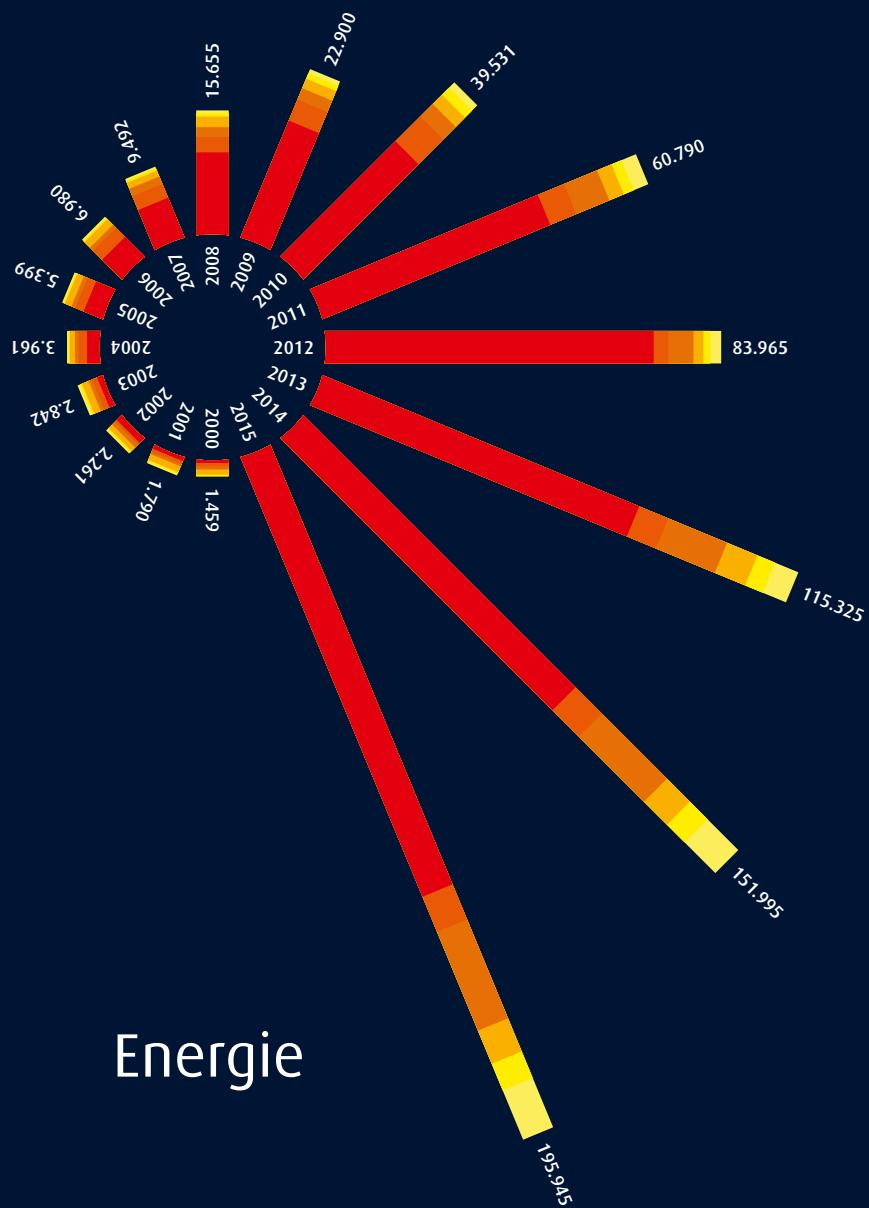
das die Solar-Technologie in Zukunft noch effizienter und wirtschaftlicher macht. Durch den Einsatz des umweltneutralen Gases Fluor werden die Emissionen, die bisher bei der energieintensiven Produktion von Solarzellen entstanden sind, deutlich verringert.

Erwartete Marktentwicklung  
für Solarenergie bis 2015 in  
Gigawatt.

- █ EU
- █ Japan
- █ Nordamerika
- █ Übrige Staaten
- █ APEC-Staaten
- █ China

APEC-Staaten = Asiatisch-pazifische  
Wirtschaftsgemeinschaft

Quelle: EPIA, Globaler Marktausblick  
für Photovoltaik bis 2015.



## Energie

### Der globale Solarmarkt auf Wachstumskurs.

Photovoltaik wird in der Europäischen Union immer mehr zu einer wettbewerbsfähigen und unverzichtbaren Technologie in der Energieversorgung. Aber auch weltweit gewinnt die Solarenergie an Bedeutung als ein fester Bestandteil im Energiemix. Inno-

vative und effiziente Produktionsprozesse beschleunigen die Entwicklung des Industriezweigs, denn sinkende Fertigungskosten machen diese natürliche Energiequelle für immer mehr Investoren und Länder attraktiv.



## Waste

### Im Müll steckt eine Menge Gutes.

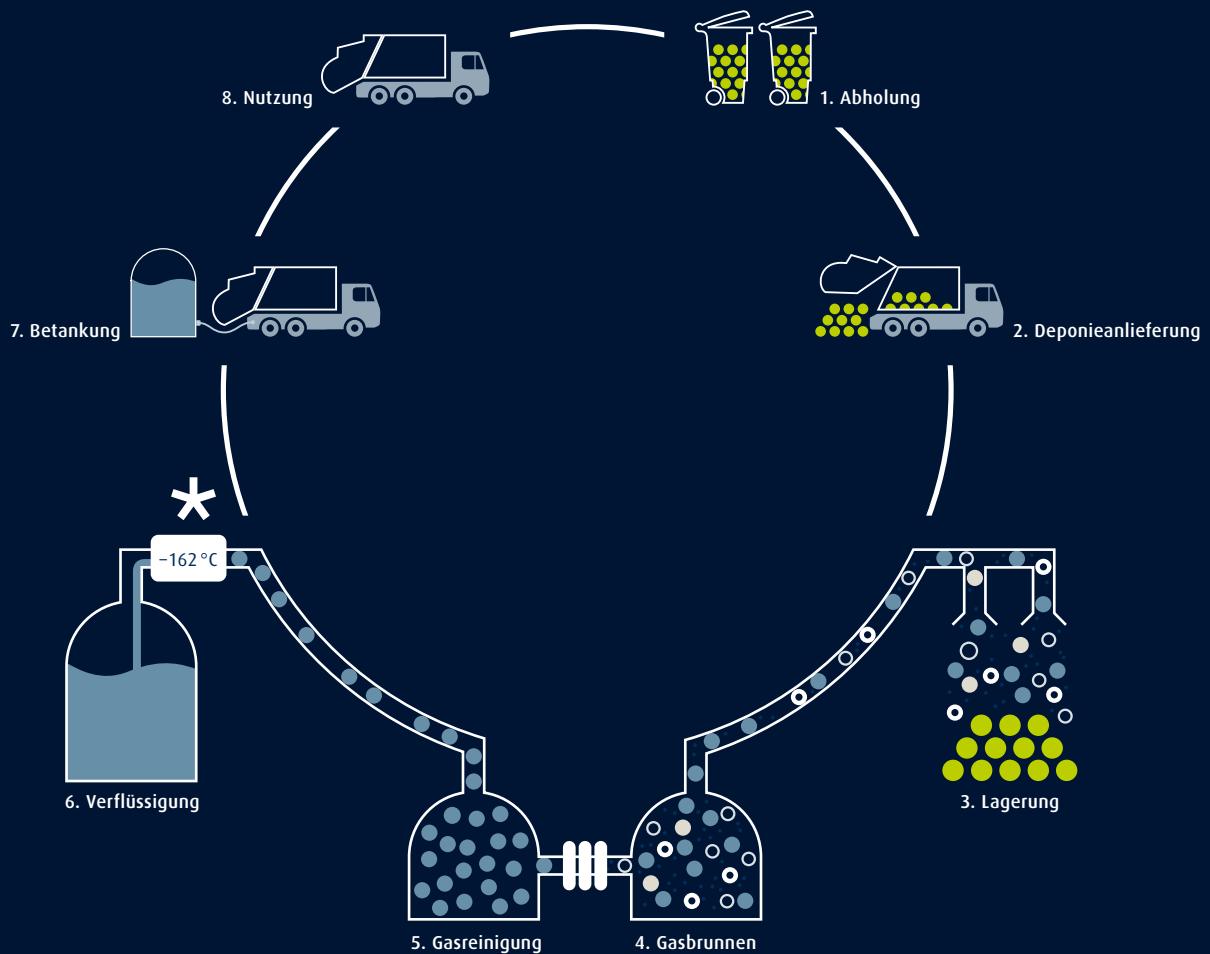
Abfall ist nicht gleich Abfall. Gerade organischer Müll kann für die Gesellschaft nutzbar gemacht werden. Denn sobald innerhalb von Kompostsammlern Sauerstoffabschluss und feuchte Wärme herrschen, entwickeln sich Deponiegase. Bakterien verwandeln Abfälle in Methan, CO<sub>2</sub> und andere Stoffe. Energie-

tisches Potenzial hat vor allem Methan: Ein Kubikmeter verfügt über einen Energiegehalt von knapp zehn Kilowattstunden. Mit neuartiger Linde-Technologie wird Methan zum umweltfreundlichen Bio-Kraftstoff aufbereitet.

## Der Waste Management-Kreislauf.

Gas  
Abfall

Quelle: Waste Management und Linde.

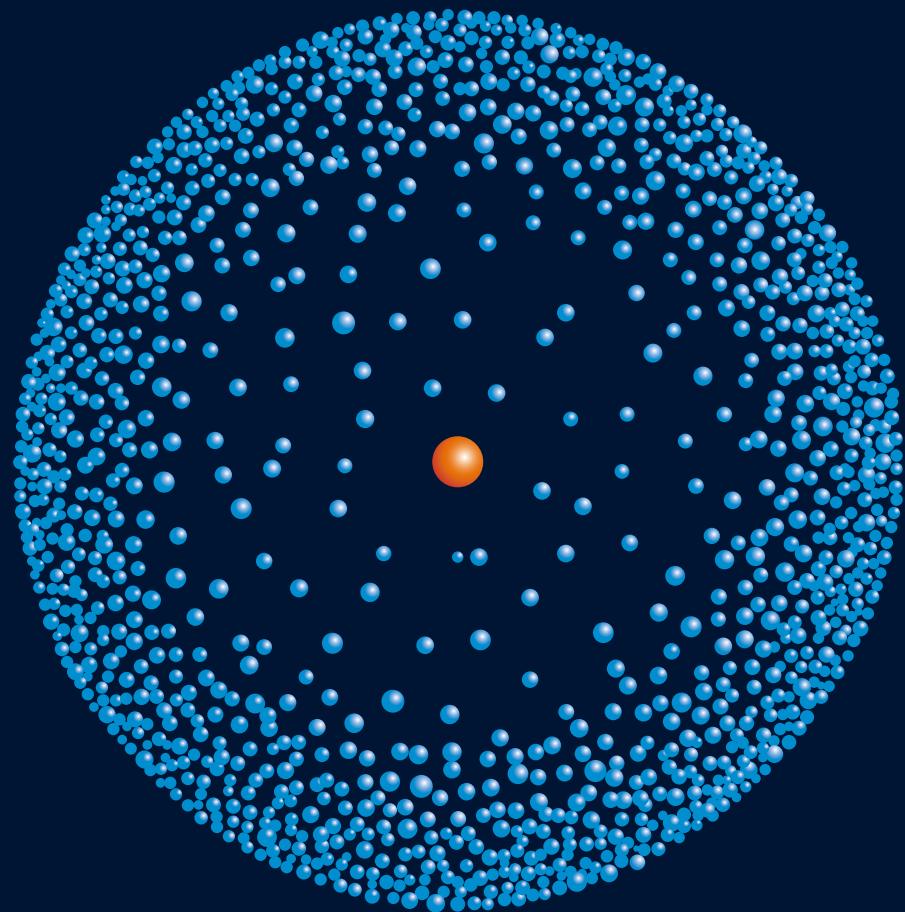


## Management

### Ein Kreislauf für die Umwelt.

Das im Abfall entstandene Methan wird in der Linde-Anlage bei San Francisco komprimiert, gereinigt und gekühlt. In einem letzten Schritt wird es bei  $-162^{\circ}\text{C}$  verflüssigt und an die Gastankstellen vor Ort geliefert. Der so entstandene Biogas-Kraftstoff ist deutlich sauberer und verbrennt sogar leiser als Diesel.

Insgesamt geraten 90 Prozent weniger Feinstaub und wesentlich weniger Stickstoffoxide und Schwefeldioxid in die Atmosphäre. Weiterer Vorteil: Weil der Treibstoff in der Nähe erzeugt und verarbeitet wird, entfallen lange Transportwege.



## Wasserstoff

### Der Energieträger der Zukunft.

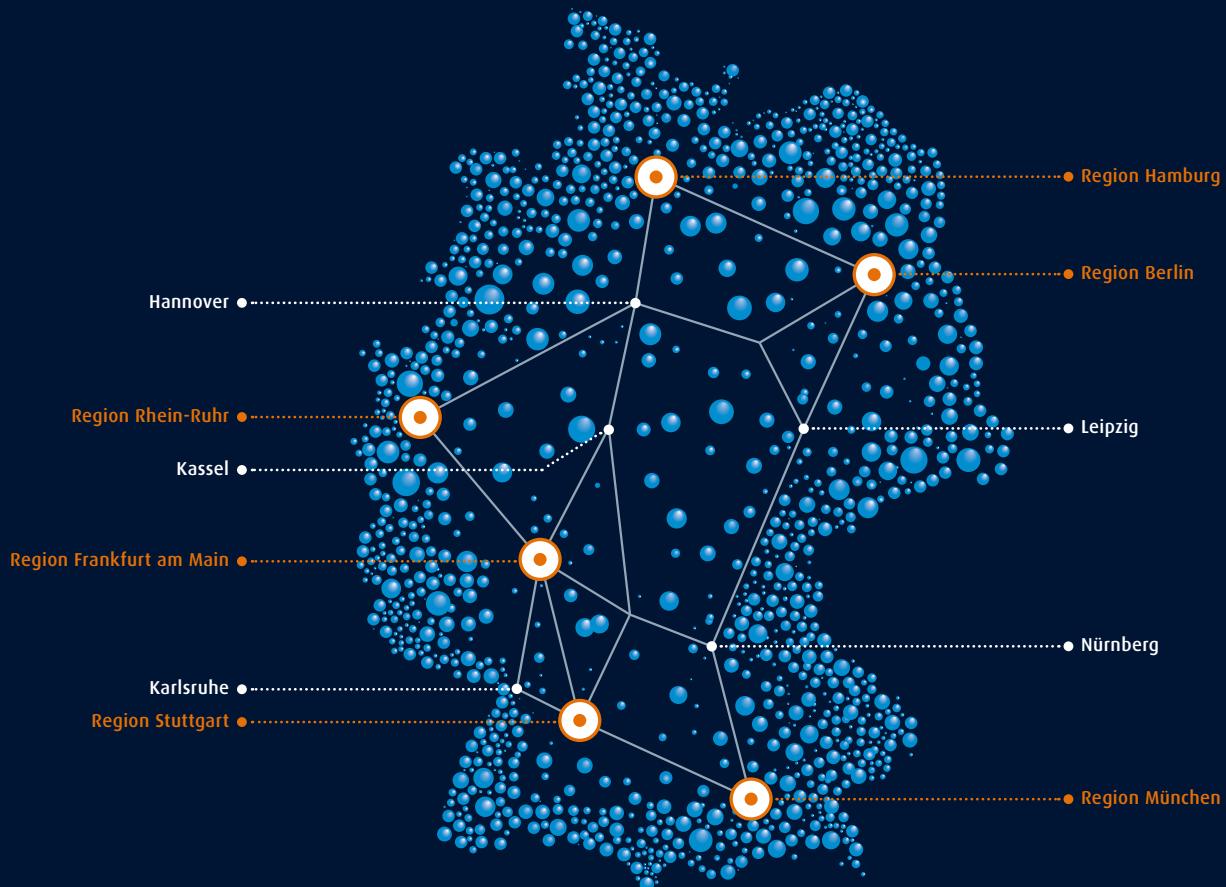
Wasserstoff ist das häufigste chemische Element des Universums. Es ist Bestandteil des Wassers und der meisten organischen Verbindungen. Wasserstoff ist praktisch unbegrenzt verfügbar. H<sub>2</sub> – so die chemische Bezeichnung – liefert in Relation zu seinem

Gewicht mehr Energie als jeder andere Brennstoff. Wasserstoff schont die Umwelt, insbesondere dann, wenn er aus regenerativen Energien wie Wind oder Biomasse gewonnen wird. Großes Potenzial für den Einsatz von Wasserstoff liegt im Bereich Mobilität.

Wachsende H<sub>2</sub>-Infrastruktur.

● Wasserstoff-Cluster mit Tankstellen  
— Mögliche Verbindungs Routen

Quelle: Linde.



## Mobilität

### H<sub>2</sub>-Infrastruktur.

Gemeinsam mit Daimler will Linde in den nächsten drei Jahren 20 zusätzliche Wasserstoff-Tankstellen in Deutschland errichten und damit die Versorgung der stetig wachsenden Anzahl von Brennstoffzellen-Fahrzeugen mit ausschließlich regenerativ erzeugtem Wasserstoff sicherstellen. Durch diese Initiative wird sich die Zahl der öffentlichen Wasserstoff-Tank-

stellen 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. Damit werden erstmals alle Orte in Deutschland mit einem Brennstoffzellen-Fahrzeug erreichbar sein.

# Die grüne Zukunft hat begonnen.

Der weltweite Energiebedarf nimmt zu; gleichzeitig schreitet der Klimawandel voran. Vor diesem Szenario zeichnet sich ein beschleunigter Ausbau regenerativer Energiequellen ab. Technologien von Linde decken alle wesentlichen Bereiche der nachhaltigen Strom- und Treibstoffherzeugung ab: von der Solarenergie über die Biogas- und Biodieselgewinnung bis zur umweltfreundlichen Wasserstoff-Produktion.



Erneuerbare Energieträger wie Wind, Sonne, Biogas (siehe Glossar), Wasserkraft und Erdwärme werden für die weltweite Energieversorgung zunehmend wichtiger. Welchen Anteil die einzelnen Quellen am gesamten Energiemix haben werden, hängt von den jeweiligen regionalen Bedingungen ab. Die klimatischen Verhältnisse – wie die Intensität der Sonneneinstrahlung oder die Windverfügbarkeit – sind dafür ebenso entscheidend wie etwa ausreichende Anbauflächen für Energiepflanzen oder der Umstand, dass die geografischen Voraussetzungen für den Bau von Wasserkraftwerken gegeben sind.

### Technologie-Sprünge bei der Solarenergieerzeugung

Der Ausbau der Solarenergie wird nicht zuletzt von den enormen Fortschritten in der Technologie und bei der Effizienz der Produktionsprozesse beschleunigt: Kostete im Jahr 1974 die Produktion von Solarzellen pro Watt Leistung mehr als 100 USD, werden es nach Expertenschätzungen im Jahr 2012 nur noch 50 Cent sein.

Die Dünnschicht-Technologie (siehe Glossar) hat maßgeblich zu dieser Entwicklung beigetragen. Sie ermöglicht die Massenproduktion großflächiger Solarmodule und benötigt nur 1 Prozent der Menge an Silizium (siehe Glossar), die für die Herstellung herkömmlicher polykristalliner Solarzellen benötigt wird. Manche Produzenten gehen davon aus, dass die Fertigungskosten in den kommenden Jahren durch verbesserte Technologien um weitere 50 Prozent gesenkt werden können.



↳ Gase für China: In Suzhou betreibt Linde eine Anlage zur Herstellung von Elektronik-Spezialgasen, die Kunden zur Produktion von Solarmodulen benötigen.

## >100 USD

Einsparungen dank eines effektiveren Produktionsverfahrens für Solarzellen.

Nach Expertenschätzungen wird die Produktion von Solarzellen pro Watt Leistung im Jahr 2012 nur noch 50 Cent kosten. Im Jahr 1974 kostete die Herstellung noch mehr als 100 USD. Fortschritte in der Technologie und Effizienzsteigerungen machen dies möglich.

Linde arbeitet in einem Netzwerk mit führenden Herstellern von Solarzellen und Produktions-Anlagen sowie mit renommierten Forschungseinrichtungen daran, die Leistung der Module und den Anlagen-durchsatz weiter zu steigern. Gemeinsames Ziel der Partner ist es, Solarstrom noch kostengünstiger zur Verfügung zu stellen und die Solarzellenproduktion noch umweltverträglicher zu gestalten.

Der weltweite Markt für Gase, die zur Produktion von Solarzellen benötigt werden, dürfte in den kommenden Jahren weiter wachsen. Experten gehen davon aus, dass das Marktvolumen im Jahr 2015 etwa bei 1 Mrd. EUR liegen wird; für 2030 liegen die Prognosen bereits bei 3 Mrd. EUR.

### Wasserstoff für GCL-Poly Energy in China

In China hat Linde Mitte 2011 zwei neue Produktions-Anlagen für hochreinen Wasserstoff zur Versorgung von GCL-Poly Energy in Betrieb genommen.



↳ (links oben) Linde hat seine Zusammenarbeit mit Suntech, Chinas größtem Polysilizium-Hersteller, weiter ausgebaut.

↳ (links unten) Kostbares Gut: Gasezyliner bei Suntech.

### Forschungsprojekt PEPPER.

Gemeinsam mit führenden Unternehmen und Forschungseinrichtungen aus der Solarindustrie ist Linde seit September 2010 an dem internationalen Forschungsprojekt PEPPER beteiligt. Ziel dieses Projekts ist es, innerhalb von drei Jahren eine Leistungssteigerung von Dünnschicht-Siliziummodulen bei gleichzeitiger Kostensenkung zu erreichen. Darüber hinaus sollen die Umweltauswirkungen des gesamten Herstellungsverfahrens von Solarmodulen bewertet und reduziert werden. PEPPER ist mit einem Budget von 16,7 Mio. EUR ausgestattet; mehr als die Hälfte der Gelder stellt die Europäische Kommission.

GCL-Poly Energy, Chinas größter und weltweit einer der führenden Hersteller von Polysilizium, benötigt den Wasserstoff für seine Produktionsprozesse. GCL Solar, eine Tochtergesellschaft des Konzerns, erzeugt seit Ende 2010 etwa 21.000 Tonnen Polysilizium pro Jahr. GCL Solar hat darüber hinaus mit dem Aufbau von Solarzellen-Produktionsstätten begonnen, die inzwischen eine Kapazität von einem Gigawatt erreichen.

Mit den neuen Wasserstoff-Anlagen im Xuzhou Industrial Park hat Linde die erfolgreiche Zusammenarbeit mit GCL-Poly Energy nahtlos fortgesetzt. Zuletzt hatte Linde GCL bereits per Rohrleitung mit Wasserstoff versorgt. Mit dem neuen Projekt belaufen sich Lindes Gesamtinvestitionen in die Gaseversorgung von GCL am Standort Suzhou auf rund 30 Mio. EUR.

### Umweltneutrale Gase für die Produktion von Solarmodulen

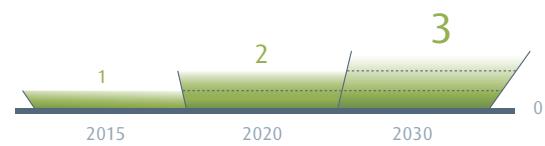
Auch in Deutschland konnte Linde im vergangenen Jahr seine Geschäftsbeziehungen in der Solarindustrie weiter ausbauen: Mit Schüco TF, Deutschlands größtem Hersteller von Solarmodulen, hat Linde im September 2011 einen langfristigen Vertrag für die Versorgung des neuen Schüco-Werks mit Fluor ( $F_2$ ) geschlossen. Schüco verwendet das Fluor für die Massenproduktion von Dünnschichtmodulen am Standort

**-100.000 t  
 $CO_2$  durch den Einsatz von Fluor.**

Durch eine neue Anlage und die Verwendung des umweltneutralen Gases Fluor in der Produktion kann der Linde Kunde Schüco, Deutschlands größter Hersteller von Solarmodulen, seine jährlichen Emissionen um mehr als 100.000 Tonnen  $CO_2$ -Äquivalent vermindern.

### Stetiges Wachstum.

Entwicklung des weltweiten Marktvolumens für Gase, die zur Solarproduktion benötigt werden (in Mrd. EUR).



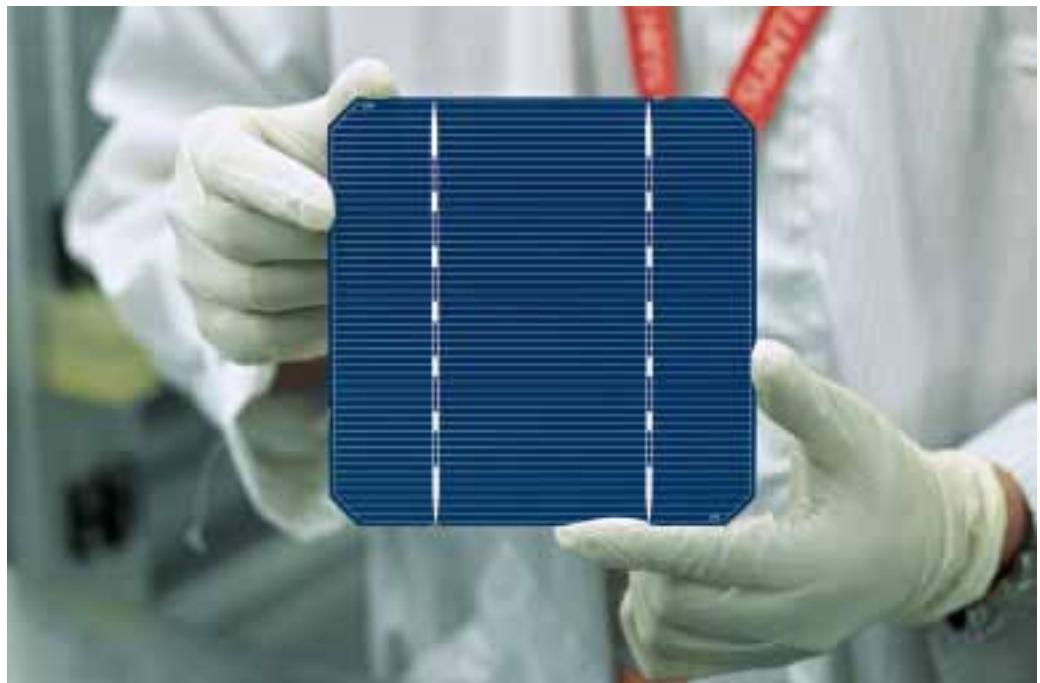
Quelle: Linde Schätzungen.

Großröhrsdorf. Im Rahmen der Vereinbarung wird Linde die bisher größte Elektronikgase-Anlage zur Vor-Ort-Erzeugung mit Fluor in Europa bauen.

Das umweltneutrale Gas Fluor wird für die Reinigung der Prozesskammern verwendet. Es ersetzt das bisher dafür genutzte, klimaschädliche Stickstofftrifluorid, das als Treibhausgas mehr als 17.000 Mal stärker zur Erderwärmung beiträgt als Kohlendioxid ( $CO_2$ ). Durch die neue Anlage und den Einsatz von Fluor kann Schüco seine Emissionen um mehr als 100.000 Tonnen  $CO_2$ -Äquivalent pro Jahr reduzieren.

Die Zusammenarbeit von Schüco und Linde bei der Weiterentwicklung der Gase-Technologie für die Solarindustrie besteht seit 2008. Seit März 2009 versorgt Linde das Schüco-Werk in Osterweddingen (Deutschland) mit Fluor, das in einem On-site-Generator vor Ort produziert wird.

Insgesamt hat Linde weltweit mehr als 30 On-site-Fluorgeneratoren an Kundenstandorten installiert.



↳ Solarzelle aus kristallinem Silizium.



↳ Runde Sache: In der Altamont-Deponie bei Livermore, östlich von San Francisco, verarbeitet Linde für die US-Firma Waste Management Deponiegas zu flüssigem Biogas.

#### Vom Abfall zum Bio-Treibstoff

In Kalifornien, dem US-Bundesstaat mit den strengsten Umweltgesetzen, haben das führende Reststoff- und Abfalldienstleistungsunternehmen Waste Management und Linde in einem Joint Venture ein System entwickelt, aus Deponiegas wertvollen Kraftstoff für die Müllentsorgungsfahrzeuge zu gewinnen. Das Gas stammt aus kompostierenden Abfällen in der Altamont-Deponie bei Livermore und wird in der weltweit größten Anlage ihrer Art zu flüssigem Biogas verarbeitet. Im November 2009 nahm die Anlage die Produktion auf und liefert seitdem täglich 50.000 Liter verflüssigtes Biogas für die Betankung der Müllfahrzeuge. Im Rahmen der Kooperation mit Waste Management hat Linde die Gasverflüssigungs-Anlage gebaut und die Lagertanks sowie die Betankungstechnik geliefert. Das Gemeinschaftsprojekt hat sich erfolgreich entwickelt: Im Juli 2011 konnte Waste Management bereits den 1000. Lastwagen mit Biogasantrieb in Betrieb nehmen. Die Umrüstung der Fahrzeugflotte auf den klimafreundlichen Kraftstoff

erspart die Verbrennung von rund 31 Millionen Litern Benzin oder Diesel jährlich und verhindert damit den Ausstoß von rund 45.000 Tonnen CO<sub>2</sub>. Waste Management will die Produktion von Biogas aus Deponiegas weiter ausbauen und plant, eine zweite Verflüssigungs-Anlage in Kalifornien zu errichten.

---

**-45.000 t**  
CO<sub>2</sub> dank der Verwendung  
von Biogas.

Durch die Umrüstung der Fahrzeuge von Waste Management auf den klimafreundlichen Treibstoff werden jährlich 31 Millionen Liter Benzin oder Diesel eingespart. Das entspricht einem Ausstoß von rund 45.000 Tonnen Kohlendioxid.



### Energie von der Deponie.

Deponiegase wie Methan und Kohlendioxid entstehen in Kompostsammlern, wenn Bakterien unter Sauerstoffabschluss bei feuchter Wärme die organischen Abfälle zersetzen. Die bei diesem Fäulnisprozess freigesetzte Energie steckt vor allem im brennbaren Methan. Ein Kubikmeter reines Methan hat einen Energiegehalt von knapp zehn Kilowattstunden. Um diese Energie nutzen zu können, wird das Deponiegas zunächst in sogenannten Gasbrunnen gesammelt. Dazu bestückt man die komplette Deponie mit senkrechten Filterrohren, in denen Gebläse einen leichten Unterdruck erzeugen und so das Gas ansaugen. In der Anlage in Livermore (Kalifornien) werden so etwa 200 Kubikmeter Deponiegas pro Tonne Müll gewonnen. Im nächsten Schritt wird das Gas in der Verflüssigungs-Anlage komprimiert und von Schwefel, Kohlendioxid, Stickstoff, Alkoholen und anderen Verunreinigungen befreit. Abschließend wird das gereinigte Methan in einem Wärmetauscher auf  $-162^{\circ}\text{C}$  gekühlt und somit verflüssigt. Der für diesen Prozess benötigte Strom stammt ebenfalls aus Deponiegas.

Im Gegensatz zu fossilem Erdgas ist das Gas aus der Müllhalde bei der Verbrennung in Motoren klimaneutral, denn dabei wird nur so viel Kohlendioxid freigesetzt, wie das organische Material vorher aufgenommen hat. Zudem emittieren die mit Biogas betriebenen Motoren 90 Prozent weniger Feinstaub, Stickoxide und Schwefeldioxid als herkömmliche Antriebe.



→ Nach der Abholung wird der Müll kompostiert und von Linde in Biogas umgewandelt. Waste Management nutzt den umweltfreundlichen Treibstoff für seine Mülltransporter.

### Grüner Wasserstoff aus Glycerin

Wenn es um zukunftsträchtige klimaverträgliche Treibstoffe und Antriebs-Technologien geht, stehen Wasserstoff und Brennstoffzelle (siehe Glossar) mittelfristig ganz oben auf der Agenda. Führende Autohersteller haben für die Jahre 2014/15 die Serienproduktion von wasserstoffbetriebenen Brennstoffzellen-Fahrzeugen angekündigt. Gleichzeitig entsteht die entsprechende Infrastruktur: Schrittweise werden Wasserstoff-Tankstellen mit ausgereifter Betankungstechnik an den wichtigsten Verkehrsachsen (siehe Seite 51) eingerichtet.

Noch muss der überwiegende Teil des heute für die Mobilität eingesetzten Wasserstoffs aus fossilen Quellen wie Erdgas hergestellt werden. Doch die Zukunft hat bereits begonnen. Am Industriestandort Leuna (Deutschland) nahm Linde im Herbst 2011 eine Pilotanlage in Betrieb, in der Rohglycerin in Wasserstoff umgewandelt wird. Im regulären Betrieb liefert die Anlage stündlich 50 Normkubikmeter nachhaltig erzeugten Wasserstoff.

Rohglycerin fällt beispielsweise als Nebenprodukt bei der Biodieselerzeugung aus Pflanzenölen wie Raps an. Es verfügt über einen hohen Anteil an Wasserstoff und konkurriert nicht mit der Produktion von Lebensmitteln. Es ist leicht zu transportieren, ungiftig und ganzjährig verfügbar.

Mit der Anlage in Leuna konnte Linde jetzt erstmals einen wirtschaftlichen und energieeffizienten Prozess zur Umwandlung von Glycerin in Wasserstoff

vorstellen. Die Anlage arbeitet nach dem von Linde entwickelten Verfahren der Pyroreformierung. Der Produktionsprozess beginnt in einem ersten Destillationsschritt mit der Reinigung des Rohglycerins, das etwa 17 Prozent Wasser und Salze enthält. Anschließend folgt die eigentliche Pyroreformierung des ent-salzten Glycerins. Dabei spalten sich die Glycerinmoleküle bei Temperaturen von mehreren hundert Grad und unter hohem Druck auf. Es entsteht das sogenannte Pyrolysegas, das – wie auch Erdgas – vor allem Methan enthält. Nach der Pyrolyse (siehe Glossar) wird das erzeugte Gas in einen Dampfreformer geleitet, wobei unter weiterer Wärmezufuhr ein wasserstoffreiches Synthesegas entsteht. Dieses Synthesegas, das noch größere Mengen Kohlenmonoxid enthält, wird in die Rohgasschiene von Lindes bestehenden Wasserstoff-Anlagen am Standort Leuna eingespeist und bis zur erforderlichen Produktreinheit konzentriert. Optional kann Linde den aus Glycerin gewonnenen Wasserstoff auch direkt verflüssigen.

Linde hat die CO<sub>2</sub>-Bilanz für den gesamten Produktionsprozess – von der Anlieferung des Glycerins nach Leuna bis zum Stromverbrauch für die Beleuchtung der Pilotanlage – durch den TÜV SÜD analysieren lassen. Das Ergebnis: Im Vergleich zur herkömmlichen Erzeugung per Dampfreformierung (siehe Glossar) aus Erdgas hat diese Form der H<sub>2</sub>-Herstellung im großindustriellen Maßstab das Potenzial, die CO<sub>2</sub>-Emissionen bei der Produktion um bis zu 80 Prozent zu reduzieren.

## Auf dem Weg zur Wasserstoff-Gesellschaft

Der klimafreundlich produzierte Wasserstoff aus Leuna wird bereits heute im Rahmen der Clean Energy Partnership (CEP; siehe Glossar) als Treibstoff für Brennstoffzellen-Fahrzeuge eingesetzt – etwa in Berlin. Dort hat Shell im Sommer 2011 seine erste Wasserstoff-Tankstelle eröffnet. In der Anlage, die von Linde errichtet wurde, können pro Tag rund 250 Fahrzeuge betanken werden.

Wasserstoff hat nicht nur das Potenzial, unsere Mobilität umweltschonend weiterzuentwickeln. Auch Großkunden wie Erdölraffinerien und die chemische Industrie, die für ihre Produktionsprozesse große Mengen Wasserstoff benötigen, könnten zukünftig verstärkt nachhaltig erzeugten Wasserstoff einsetzen und damit ihren Beitrag für eine saubere Umwelt leisten. Für eine Gesellschaft, die mehr und mehr erneuerbare Energien nutzen will, wird auch die Bedeutung von Wasserstoff als Energiespeicher steigen. Denn Was-

**-80 %**

**CO<sub>2</sub>-Emissionen durch nachhaltig erzeugten Wasserstoff.**

Seit dem Herbst 2011 arbeitet die Demonstrationsanlage zur Produktion von Wasserstoff aus Glycerin am Chemiestandort Leuna. Die Nutzung biogener Rohstoffe bietet viel versprechende Möglichkeiten für eine nachhaltige und zugleich wirtschaftliche Wasserstoff-Produktion.

serstoff ermöglicht beispielsweise die Speicherung von überschüssigem Strom aus Windkraft-Anlagen (siehe Seite 67).



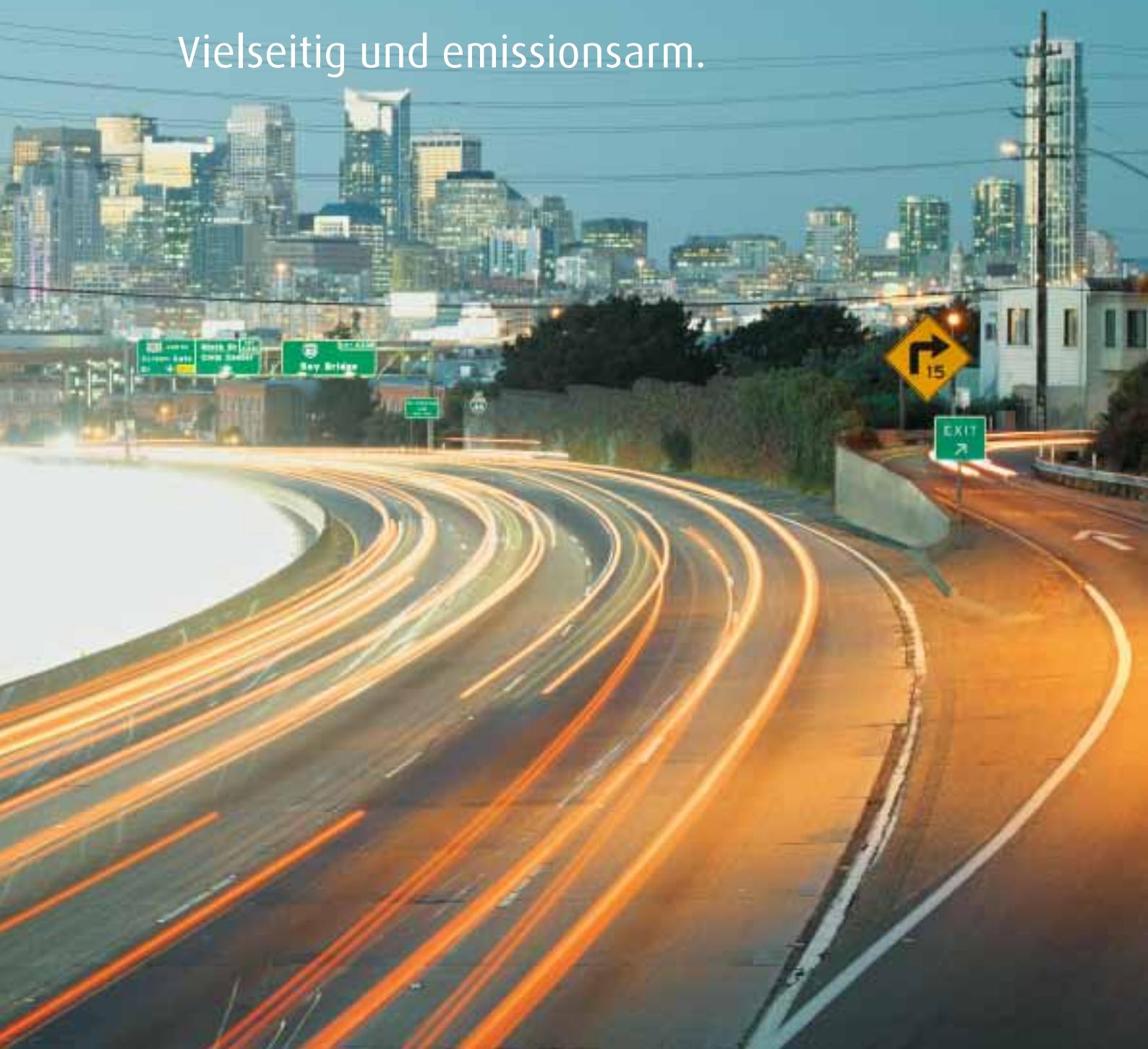
↳ Pilotanlage in Leuna: Hier wandelt Linde in einem innovativen Verfahren Rohglycerin in Wasserstoff um.



→ Kapitel 6

# Auf dem Weg zur Wasserstoff- Gesellschaft.

Vielseitig und emissionsarm.





↳ Auch in Kalifornien kommen im öffentlichen Personennahverkehr bereits Fahrzeuge mit Brennstoffzellen-Antrieb zum Einsatz. In Oakland und Emeryville hat Linde für das Verkehrsunternehmen AC Transit zwei H<sub>2</sub>-Tankstellen für Busse errichtet.

# Immer mobil, zunehmend umweltfreundlich.

Die Mobilität der Zukunft ist grün – auch dank Wasserstoff. Ob im öffentlichen Nahverkehr oder im privaten Pkw: In Verbindung mit der Brennstoffzelle sorgt Wasserstoff für eine umweltfreundliche Fortbewegung.





→ Wasserstoff-Station in Berlin. Auch in München, Hamburg und Stuttgart kann bereits umweltfreundlich getankt werden.

## Dichteres Netz, mehr Flexibilität.

Der Aufbau einer flächendeckenden Wasserstoff-Infrastruktur schreitet weiter voran. Gemeinsam mit Daimler errichtet Linde in den kommenden Monaten 20 neue H<sub>2</sub>-Tankstellen in Deutschland. Die beiden Unternehmen setzen damit deutliche Zeichen auf dem Weg zu einer emissionsfreien Mobilität.

# Saubere Mobilität dank Wasserstoff.

Wasserstoff kann eine Schlüsselrolle bei unserer zukünftigen Energieversorgung übernehmen. Das leichteste Element des Universums ist nicht nur als Kraftstoff für eine emissionsfreie Mobilität geeignet, sondern funktioniert auch als Speicher für regenerativ erzeugten Strom. Linde beherrscht die gesamte Wertschöpfungskette der Wasserstoff-Technologie und setzt sich in den verschiedensten Bereichen für den Durchbruch dieses umweltfreundlichen Energieträgers ein.

**D**ie Weichen für die Markteinführung serienreifer Elektrofahrzeuge mit Wasserstoff-Brennstoffzellen-Antrieb sind gestellt: Zahlreiche Praxiserprobungen mit einer Vielzahl unterschiedlicher Fahrzeugtypen, mit innovativer Betankungs-Technologie und verschiedenen Wasserstoff(H<sub>2</sub>)-Herstellungsverfahren haben die Alltagstauglichkeit des umweltfreundlichen Energieträgers für die emissionsfreie Mobilität bewiesen. Zudem treibt die Industrie den Ausbau der Infrastruktur für eine flächendeckende H<sub>2</sub>-Versorgung kontinuierlich voran.

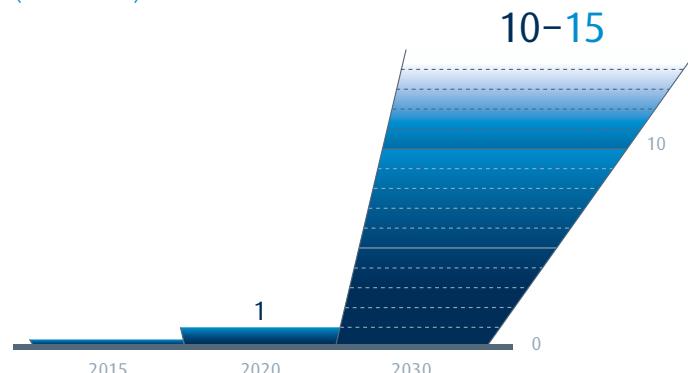
## Initiativen für mehr Wasserstoff-Mobilität

Um der Wasserstoff-Technologie breitflächig zum Durchbruch zu verhelfen, beteiligt sich Linde weltweit an einer Reihe von Initiativen. Dabei übernimmt Deutschland eine Vorreiterrolle. So ist Linde Gründungsmitglied der Clean Energy Partnership (CEP) und von H<sub>2</sub>-Mobility. Beide Industriepartnerschaften, die über das Nationale Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Technologie (NIP) gefördert werden, setzen sich für die Kommerzialisierung von Wasserstoff als Kraftstoff und für den Aufbau einer ersten flächendeckenden Wasserstoff-Infrastruktur in Deutschland ein. Gemeinsames Ziel der beteiligten Unternehmen aus dem Energie- und Verkehrssektor wie der Automobilindustrie ist es, die für die Jahre 2014/15 von den Fahrzeugherstellern angekündigte Serienfertigung von wasserstoffbetriebenen Brennstoffzellen-Autos zu begleiten. Im Rahmen der CEP-Aktivitäten haben im Berichtsjahr 2011 neue H<sub>2</sub>-Tankstellen mit Linde-Technologie in Berlin und Hamburg ihren Betrieb aufgenommen.

In Großbritannien war Linde maßgeblich an der Eröffnung der ersten öffentlichen H<sub>2</sub>-Tankstelle des

## Nachhaltiges Wachstum.

Entwicklung des weltweiten Marktvolumens für den Einsatz von Wasserstoff als Treibstoff (in Mrd. EUR).



Quelle: Linde Schätzungen.

Landes beteiligt, die im September 2011 stattfand. Linde hat die Anlage in Swindon, am Produktionsstandort des Autoherstellers Honda, errichtet und tritt zudem als Betreiber auf.

Die Vorteile der Wasserstoff-Technologie erhalten im Sinne des Klimaschutzes vor allem deshalb ein besonderes Gewicht, weil Wissenschaft und Industrie mittlerweile wegweisende Verfahren zur nachhaltigen H<sub>2</sub>-Erzeugung entwickelt haben: Ob aus Glycerin, aus Blaualgen, aus biologischen Abfallprodukten oder unter Einsatz von regenerativ erzeugtem Strom durch Elektrolyse – Linde erprobt und nutzt die unterschiedlichsten Methoden, bei der Produktion von Wasserstoff die Emissionen zu minimieren oder ganz zu vermeiden.

## Tiefkalt verflüssigter Wasserstoff aus Leuna.

Zur effizienten, platzsparenden Speicherung muss Wasserstoff komprimiert oder tiefkalt verflüssigt werden. Linde betreibt in Leuna die einzige großindustrielle Wasserstoff-Verflüssigungs-Anlage Deutschlands. Die Anlage verfügt über eine Produktionskapazität von rund 33.000 Liter tiefkalt verflüssigtem Wasserstoff (LH<sub>2</sub>) pro Stunde. Verflüssigter Wasserstoff bietet wegen seiner wesentlich höheren Speicher-dichte im Vergleich zu gasförmigem Wasserstoff deutliche Vor-teile bei Transport und Logistik.



↳ Wasserstoff-Tankstelle in Berlin am Sachsendamm: Linde beliefert die Tankstelle mit „grünem“ Wasserstoff.

## 20 neue H<sub>2</sub>-Tankstellen in Deutschland

Linde und der Automobilhersteller Daimler haben im Juni 2011 vereinbart, in den kommenden drei Jahren in Deutschland 20 weitere H<sub>2</sub>-Tankstellen zu errichten. Diese Initiative, die mit Investitionen in zweistelliger Millionen-Euro-Höhe verbunden ist, bildet den Brückenschlag zu den bestehenden Infrastrukturprojekten H<sub>2</sub>-Mobility und Clean Energy Partnership. Durch das Engagement von Linde und Daimler wird sich die Zahl der öffentlichen Wasserstoff-Tankstellen in Deutschland mehr als verdreifachen. Die neuen Tankstellen sollen in den bestehenden Wasserstoff-Regionen Stuttgart, Berlin und Hamburg sowie entlang einer neuen durchgängigen Nord-Süd- und Ost-West-Verbindung entstehen. Ziel ist es, ver-

kehrstechnisch günstig gelegene bestehende Standorte unterschiedlicher Mineralölfirmen zu nutzen. Damit werden erstmals alle Orte in Deutschland mit einem Brennstoffzellen-Fahrzeug erreichbar sein. Die 20 neuen H<sub>2</sub>-Tankstellen sollen mit nachhaltig erzeugtem Wasserstoff aus Lindes Produktionsstätte in Leuna versorgt werden.

## Mit Wasserstoff um die Welt

Dass die Wasserstoff-Technologie bereits alltagstauglich ist, haben Linde und Daimler im vergangenen Jahr bei einem außergewöhnlichen Projekt bewiesen: Im Januar 2011 starteten drei wasserstoffbetriebene Brennstoffzellen-Fahrzeuge des Typs B-Klasse F-CELL zu einer Fahrt rund um die Welt in 125 Tagen. Die Strecke führte über 30.000 Kilometer durch 14 Länder in verschiedenen Klimazonen, über Asphalt ebenso wie über unbefestigte Straßen. Mit dieser einzigartigen Weltumrundung konnte Daimler die technische Reife des Fahrzeugs erfolgreich demonstrieren.

Für die Wasserstoff-Betankung während der Tour sorgte eine neue mobile Betankungseinheit mit 700 bar Druck, die Linde und Daimler gemeinsam entwickelt haben. Diese fahrende Tankstelle mit ionischem Kompressor (siehe Glossar) umfasst die komplette Technik für die H<sub>2</sub>-Verdichtung und -Befüllung. Der ionische Verdichter von Linde verzichtet auf einen festen Kompressionskolben und arbeitet stattdessen mit einer ionischen Flüssigkeit – ein organisches Salz, das sich im Verdichtungsprozess wie ein Festkörper verhält – und ist deshalb für eine H<sub>2</sub>-Betankung besonders geeignet.

+20

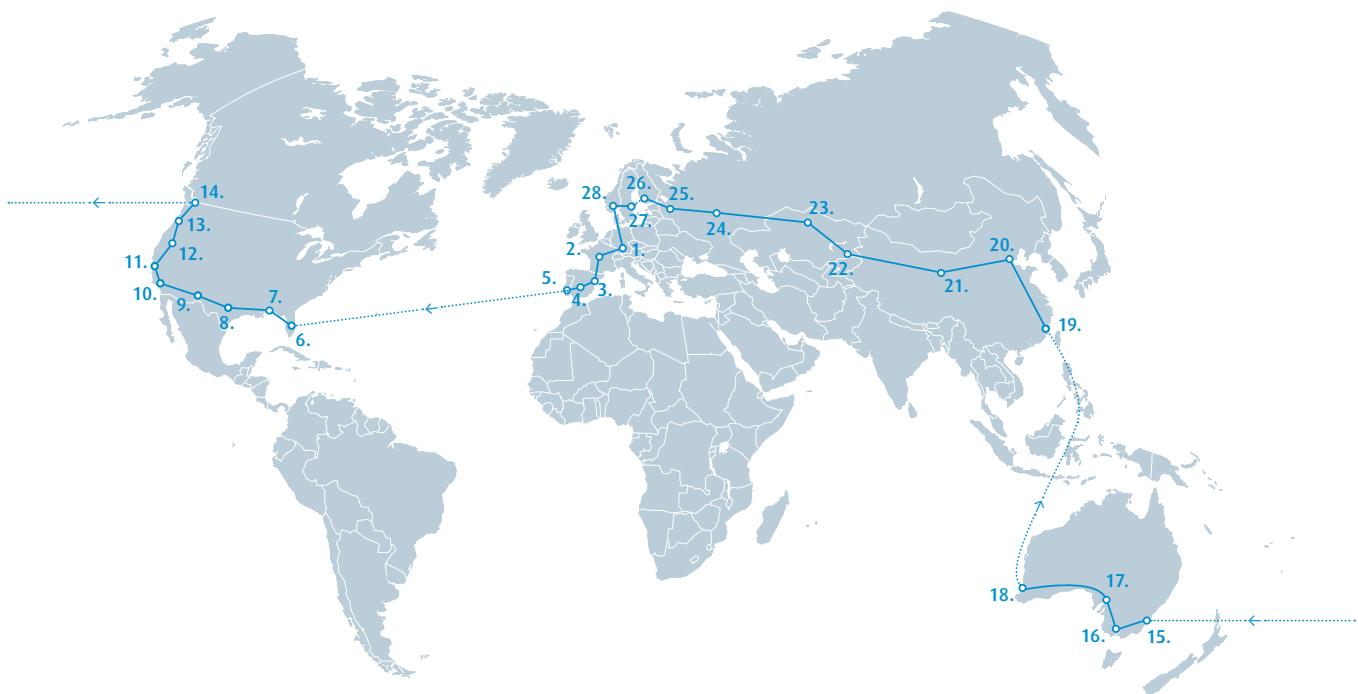
**neue H<sub>2</sub>-Tankstellen machen bald jeden Ort in Deutschland mit einem Brennstoffzellen-Fahrzeug erreichbar.**

Einen zweistelligen Millionenbetrag investieren Linde und Daimler, um 20 zusätzliche H<sub>2</sub>-Tankstellen in Deutschland zu errichten.

## Erprobte H<sub>2</sub>-Produktionsverfahren.

Die derzeit noch wirtschaftlichste Methode zur Wasserstoff-Produktion ist die Erdgas-Dampfreformierung. Bei diesem Verfahren werden Wasserdampf und Erdgas bei Temperaturen von etwa 800 °C im sogenannten Dampfreformer unter Bildung von Wasserstoff, Kohlenmonoxid und Kohlendioxid katalytisch gespalten. Das Kohlenmonoxid wird mit Wasserdampf in der nachfolgenden sogenannten CO-Shift-Reaktion in CO<sub>2</sub> umgewandelt. Dabei entsteht weiterer Wasserstoff. Mehr als 75 Prozent des direkt produzierten Wasserstoffs werden auf diese Weise erzeugt.

Es ist das erklärte Ziel von Linde, den Anteil an nachhaltig erzeugtem Wasserstoff mittels erneuerbarer Energien wie Wind, Wasser und Biomasse langfristig deutlich zu erhöhen. Die Wasserstoff-Produktion durch Elektrolyse bietet die Möglichkeit eines völlig emissionsfreien Wasserstoff-Energiekreislaufs, falls der erforderliche Strom aus regenerativen Quellen stammt. Bei der Elektrolyse spaltet sich Wasser in seine Bestandteile Sauerstoff und Wasserstoff auf. Eine Membran zwischen Anode und Kathode verhindert dabei, dass die beiden Gase miteinander wieder zu Wasser reagieren. Findet dieser Prozess zudem unter Druck statt, erleichtert dies die nachfolgende Kompression und verringert den Energieaufwand und Raumbedarf des Systems. Linde verfügt über langjährige Erfahrung mit Wasserstoff-Elektrolyseuren und über das entsprechende Know-how, diese in bestehende Wasserstoff-Technologie-Ketten einzubinden.



#### Stationen der Wasserstoff World Tour.

- 1. Stuttgart
- 2. Paris
- 3. Barcelona
- 4. Madrid
- 5. Lissabon
- 6. Miami
- 7. New Orleans
- 8. San Antonio
- 9. Phoenix
- 10. Los Angeles
- 11. Sacramento
- 12. Salem
- 13. Seattle
- 14. Vancouver
- 15. Sydney
- 16. Melbourne
- 17. Adelaide
- 18. Perth
- 19. Shanghai
- 20. Peking
- 21. Xian
- 22. Almaty
- 23. Astana
- 24. Moskau
- 25. St. Petersburg
- 26. Helsinki
- 27. Stockholm
- 28. Oslo



↳ Rund um die Welt: Im Rahmen des Mercedes-Benz F-CELL World Drive fuhren drei Brennstoffzellen-Autos jeweils rund 30.000 Kilometer und erbrachten so den Beweis für die Alltagstauglichkeit der Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Technologie.

#### Grüne Busse für Kalifornien

Neben dem Pkw erobern Brennstoffzelle und Wasserstoff Schritt für Schritt auch den öffentlichen Nahverkehr. Nicht nur in Deutschland. In Kalifornien, einem der Zentren der Wasserstoff-Mobilität, hat Linde für das Verkehrsunternehmen AC Transit zwei Wasserstoff-Tankstellen in Emeryville und Oakland errichtet, die inzwischen ein Dutzend Brennstoffzellen-Fahrzeuge mit Wasserstoff versorgen. Der Wasserstoff wird zum Teil aus regenerativen Energiequellen und damit CO<sub>2</sub>-frei hergestellt: Auf den Tankstellendächern sind Solaranlagen mit einer Leistung von mehr als 700 Kilowatt installiert, die den Strom für den Elektrolyseur zur H<sub>2</sub>-Produktion bereitstellen. Die auf diese Weise täglich erzeugten 60 Kilogramm H<sub>2</sub> reichen für den Betrieb von zwei Bussen. Die restlichen zehn Fahrzeuge werden aus einem Tank mit 34.000 Litern Flüssigwasserstoff versorgt. Dieser Wasserstoff wird aus Methan erzeugt; dadurch reduziert sich der CO<sub>2</sub>-Ausstoß der Busse im Vergleich zu einem Diesel- oder Benzinfahrzeug um 40 Prozent.

Der Markt für den Kraftstoff H<sub>2</sub> wird weiter wachsen. Marktbeobachter rechnen für das Jahr 2020 allein in Europa mit einem Bestand von einer Million Wasserstoff-Fahrzeugen. Im Jahr 2050 könnten – nach einschlägigen Studien – weltweit mehr als ein Viertel aller Pkw mit Strom aus Wasserstoff angetrieben werden. Für das Jahr 2030 prognostizieren die Branchenexperten ein weltweites Marktvolumen von 10 bis 15 Mrd. EUR.

#### H<sub>2</sub> entfernt Schwefel aus Treibstoffen

Bei der Diskussion um das Potenzial von Wasserstoff für unsere zukünftige Energieversorgung wird eines häufig vergessen: Das leichteste Element im Universum leistet bereits seit vielen Jahren in zahlreichen industriellen Prozessen einen unverzichtbaren Beitrag. Rund die Hälfte des weltweit erzeugten Wasser-

**- 40 %**

#### CO<sub>2</sub>-Ausstoß im öffentlichen Nahverkehr.

Im Vergleich zu Bussen, die mit Diesel oder Benzin betrieben werden, fallen die Kohlendioxidemissionen bei Fahrzeugen, die mit Wasserstoff auf Methan-Basis betankt werden, fast um die Hälfte geringer aus.

stoff wird in der chemischen Industrie für die Ammoniak- und Methanolsynthese verwendet, während das Gas in Erdölraffinerien zur Entschwefelung konventioneller Kraftstoffe eingesetzt wird. Weitere Großabnehmer sind die Metall- und Glasindustrie sowie die Elektronik- und Lebensmittelindustrie.



↳ Die Zukunft hat begonnen: Das Verkehrsunternehmen AC Transit befördert bereits heute mit seinen umweltfreundlichen Wasserstoff-Bussen mehr als 200.000 Menschen durch die San Francisco Bay Area.

Um diesen enormen Bedarf zu decken – Schätzungen gehen von jährlich mehr als 600 Milliarden Kubikmetern aus –, werden nach wie vor rund 70 Prozent der benötigten Menge in Wasserstoff-Anlagen per Dampfreformierung aus fossilen Energieträgern wie Erdgas erzeugt. Linde hat weltweit bereits mehr als 200 Anlagen für die Wasserstoff-Erzeugung errichtet und profitiert als einer der führenden Anbieter auf diesem Gebiet von der hohen Nachfrage.

Zu den neuesten Entwicklungen des Unternehmens zählt der Anlagentyp HYDROPRIME®. Dabei handelt es sich um standardisierte Kompakt-Anlagen für Kunden, die kleine bis mittelgroße Mengen an Wasserstoff benötigen. HYDROPRIME® wird weitgehend vorgefertigt per Schwerlaster angeliefert und zeichnet sich durch höchste Zuverlässigkeit und einen kosten- und energieeffizienten Betrieb aus. Die ferngesteuerte Anlage arbeitet vollautomatisch und passt sich den individuellen Kundenanforderungen an.

### Wasserstoff als Energiespeicher

Wasserstoff ist nicht nur ein umweltfreundlicher Energieträger, sondern auch als Speichermedium geeignet – etwa für Energie, die aus regenerativen Quellen

wie Sonne oder Wind erzeugt wird. Diese unterliegen naturgemäß Schwankungen: Der Wind bläst nicht immer und schon gar nicht gleichmäßig stark, die Sonne scheint nur tagsüber und in den gemäßigten Breiten auch nur im Sommer intensiv genug.

Deshalb ist es für eine verlässliche Stromlieferung erforderlich, die aus Wind und Sonne gewonnene Energie zu speichern, um sie bei Bedarf abrufen zu können. Dabei spielt Wasserstoff eine wesentliche Rolle. Er kann durch Elektrolyse von Wasser mit dem aus Wind und Sonne erzeugten Strom produziert und komprimiert oder in flüssiger Form beliebig lange gespeichert werden. Wird die so gelagerte Energie benötigt, lässt sich der Wasserstoff zur Strom- und Wärmeerzeugung emissionsfrei verbrennen oder mit Hilfe von Brennstoffzellen direkt in Strom zurückwandeln. Hybridkraftwerke, die Windkraft und Wasserstoff für die Energieerzeugung und -speicherung nutzen, absolvieren derzeit bereits ihre ersten Probelaufe.

Das Wasserstoff-Zeitalter hat begonnen.



### Brennstoffzelle oder Batterie?

Ob Brennstoffzelle oder Batterie – bei beiden zukunftsrichtigen Antriebs-Technologien handelt es sich um Elektromobilität, und beide werden sich gut ergänzen: Wegen der vergleichsweise langen Ladezeiten und der geringen Reichweite eignen sich Fahrzeuge mit Batteriebetrieb vor allem für innerstädtische Kurzstrecken. Wasserstoffbetriebene Brennstoffzellen-Fahrzeuge können hingegen binnen drei Minuten aufgetankt werden und mit einer Tankfüllung über 500 Kilometer zurücklegen.

## Impressum

### Herausgeber

Linde AG  
Klosterhofstraße 1  
80331 München

### Gestaltung, Produktion, Satz und Lithografie

Peter Schmidt Group, Hamburg

### Texte

Linde AG

### Fotografie

Rüdiger Nehmzow, Seiten 10–21, 29–31, 33–35, 37, 41–45, 52–65 und 67  
Hugh Beauchamp, Seiten 06–07  
IEA (Internationale Energieagentur), Seite 09  
Dr. Marli Miller, Seiten 10–11  
Linde AG, Seiten 22–23, 26–28, 38, 40 und 66  
Sinclair Stammers, Seite 36  
Ian McKinnell, Seite 46  
Steve Taylor, Seite 48  
Peter Schmidt Group, Umschlag-/Schubermotive sowie Seiten 02–03, 05–07, 09, 24–25 und 48

### Druck

Mediahaus Biering GmbH, München  
Gedruckt auf Circlesilk Premium White  
(100 Prozent Recyclingpapier, ausgezeichnet mit dem EU Ecolabel, Lizenznummer FR/11/003)

## Kontakt

### Linde AG

Klosterhofstraße 1  
80331 München  
Telefon 089.35757-01  
Telefax 089.35757-1075  
[www.linde.com](http://www.linde.com)

### Kommunikation

Telefon 089.35757-1321  
Telefax 089.35757-1398  
E-Mail [media@linde.com](mailto:media@linde.com)

### Investor Relations

Telefon 089.35757-1321  
Telefax 089.35757-1398  
E-Mail [investorrelations@linde.com](mailto:investorrelations@linde.com)

Das Linde Annual und der Finanzbericht des Linde Konzerns liegen in deutscher und englischer Sprache vor und sind zudem im Internet unter [www.linde.com](http://www.linde.com) als Download bereitgestellt. Unter derselben Adresse bieten wir Ihnen darüber hinaus eine interaktive Online-Version des Geschäftsberichts, der aus dem Finanzbericht des Linde Konzerns und dem Annual besteht.

Zusätzliches Informationsmaterial über Linde schicken wir Ihnen auf Anfrage gerne kostenlos zu.



## Jahresrückblick

### JANUAR

↳ Linde wird bevorzugter Engineering-Partner des südafrikanischen Unternehmens Sasol Technology (Pty) Ltd. Die Vereinbarung gilt für die Dauer von zunächst zehn Jahren und umfasst einen wesentlichen Teil der Kohlevergasungs-Technologie von Sasol: die nachgeschalteten Komponenten, wie etwa die Rohgaskühlung, die Nebenproduktverarbeitung und die Gesamtintegration der Prozesseinheiten.

↳ Linde ist exklusiver Wasserstoff-Partner von Daimler auf dem Mercedes-Benz F-CELL World Drive. Bei dieser Langstreckentour werden drei mit Wasserstoff betriebene Brennstoffzellen-Fahrzeuge des Typs B-Klasse F-CELL die Welt umrunden. Linde stellt auf der gesamten Tour die mobile Wasserstoff-Versorgung der Null-Emissionen-Fahrzeuge sicher. Die Fahrt führt in 125 Tagen über vier Kontinente und durch 14 Länder. Jedes Fahrzeug wird dabei rund 30.000 Kilometer zurücklegen.

### FEBRUAR

↳ In Tasmanien nimmt Linde Australiens erste Micro-Erdgasverflüssigungs-Anlage offiziell in Betrieb. Das Joint-Venture-Projekt hat ein Investitionsvolumen von 150 Mio. AUD und umfasst auch die Versorgung von sechs Tankstellen für das Transportunternehmen LNG Refuellers Pty Ltd. in der Region.

↳ Linde investiert an seinem Standort in Cebu (Philippinen) 3,8 Mio. EUR in die Errichtung einer Anlage zur Herstellung von Kohlendioxid. Aus der neuen Anlage, die 24 Tonnen Kohlendioxid pro Tag produziert, wird der Schiffsbauer Tsuneishi Heavy Industries beliefert.

### MÄRZ

↳ In Pasir Gudang (Malaysia) weiht Linde eine neue Luftzerlegungs-Anlage offiziell ein. Das 47-Mio.-EUR-Projekt stellt Lindes größte Einzelinvestition in Malaysia dar und zeigt, dass das Unternehmen sein Geschäft auch dort langfristig auf Wachstum ausrichtet. Die Anlage hat bereits im zweiten Halbjahr 2010 mit der Produktion begonnen.

↳ Linde stellt die Neuordnung seiner Segmentstruktur in der Gases Division vor. Darüber hinaus legt das Unternehmen die regionalen Verantwortlichkeiten neu fest. Linde berichtet in der Gases Division nun nach den folgenden drei berichtspflichtigen Segmenten: EMEA (Europa, Mittlerer Osten und Afrika), Asien/Pazifik sowie Amerika. Linde schafft zudem ein eigenes Vorstandressort für das Segment Asien/Pazifik und wird damit den großen Potenzialen im Wachstumsmarkt Asien gerecht.

### APRIL

↳ Linde kündigt an, den Einsatz des umweltverträglichen Kraftstoffs Wasserstoff in Nordamerika weiter voranzutreiben: Am Produktionsstandort der Coca-Cola Bottling Co. Consolidated in Charlotte (North Carolina) wird Linde ein Wasserstoff-Tanksystem zur emissionsfreien Versorgung von 40 Gabelstaplern einrichten.

### MAI

↳ Linde wird im Westen Chinas, im Chemiepark Chongqing, eine große Wasserstoff- und Synthesegas-Anlage errichten und betreiben. Das Projekt setzt Linde in einem gemeinsamen Unternehmen mit der Chongqing Chemical & Pharmaceutical Holding Company (CCPHC) um. Aus der neuen On-site-Anlage werden zukünftig die dort ansässigen Produktionsstätten von BASF und CCPHC mit Kohlenmonoxid, Wasserstoff und Synthesegas versorgt. Das Investitionsvolumen beträgt rund 200 Mio. EUR. Die Inbetriebnahme der neuen Anlage, die von Lindes Engineering Division bereitgestellt wird, ist für das dritte Quartal 2014 vorgesehen. Mit diesem Projekt stärkt Linde auch im Westen des Landes seine Position als führendes Gase- und Anlagenbauunternehmen in China.

↳ In Schweden eröffnet Linde offiziell das landesweit erste Terminal für verflüssigtes Erdgas (LNG = Liquefied Natural Gas). Linde ist Eigentümer und Betreiber des Terminals und verkauft das LNG an Kunden aus den Bereichen Industrie, Transport und Schifffahrt. Damit hat Linde den Eintritt in ein wachstumsträchtiges Geschäftsfeld vollzogen.

### JUNI

↳ Linde gibt bekannt, gemeinsam mit dem Automobilhersteller Daimler den Infrastrukturaufbau für Brennstoffzellen-Fahrzeuge zu beschleunigen. Die beiden Unternehmen werden in den kommenden drei Jahren 20 zusätzliche Wasserstoff-Tankstellen in Deutschland errichten und damit die Versorgung der stetig wachsenden Anzahl von Brennstoffzellen-Fahrzeugen mit ausschließlich regenerativ erzeugtem Wasserstoff sicherstellen. Durch die Initiative von Linde und Daimler, die mit Investitionen in zweistelliger Millionen-Euro-Höhe verbunden ist, wird sich die Zahl der öffentlichen Wasserstoff-Tankstellen in Deutschland mehr als verdreifachen.



## Jahresrückblick

### JULI

↳ Linde stellt die Weichen für den Eintritt in das viel versprechende Marktsegment der Floating-LNG-Anlagen (schwimmende Erdgasverflüssigungs-Anlagen). Das Unternehmen unterzeichnet gemeinsam mit seinem Projektpartner SBM Offshore (Niederlande) einen Kooperationsvertrag mit dem thailändischen Mineralölkonzern PTT (Petroleum Authority of Thailand) zur Entwicklung einer schwimmenden Erdgasverflüssigungs-Anlage in der Timorsee vor der Nordküste Australiens. Im Rahmen des Projekts soll Erdgas aus drei Gasfeldern zu LNG verarbeitet werden. Sofern die Gasvorkommen den Erwartungen entsprechen, wird das Projekt in die Front-End-Engineering- und Planungsphase münden. Ende 2012 soll die abschließende Investitionsentscheidung fallen. Der Beginn der kommerziellen Förderung wäre dann für Ende 2016 vorgesehen.

↳ Linde schließt eine Vereinbarung zum Bau von zwei Luftzerlegungs-Anlagen für die chinesische Yantai Wanhua Group. Die Anlagen werden über eine Produktionskapazität von insgesamt 110.000 Normkubikmetern Sauerstoff und Stickstoff pro Stunde verfügen. Aus den Luftzerlegern sollen auch Drittunden versorgt werden. Der Betriebsstart ist für Anfang 2014 vorgesehen.

### AUGUST

↳ Linde ist an dem bedeutenden Pipeline-Projekt Nord Stream beteiligt, das seit Ende 2011 die Belieferung von 26 Millionen europäischen Haushalten mit Erdgas aus Russland sicherstellt: Für die Inertisierung der Pipeline – also für die Spülung der Röhren mit Stickstoff, um diese von reaktiven Gasen zu reinigen – hat Linde ohne Unterbrechung eine Woche lang 14.000 Normkubikmeter Stickstoff pro Stunde geliefert und in die Pipeline eingespeist.

↳ Linde entwickelt mit der Unterstützung des U.S. Department of Energy (DoE) in den USA die Technologie zur Abscheidung von CO<sub>2</sub> in Kohlekraftwerken (Carbon Capture and Storage – CCS) weiter. Mit 15 Mio. USD fördert das DoE den Bau einer Pilotanlage in Wilsonville (Alabama) in der von 2014 an innovative Verfahren der CO<sub>2</sub>-Wäsche getestet werden sollen. Diese Verfahren zielen auf eine möglichst energieeffiziente und kostengünstige Abscheidung des anfallenden CO<sub>2</sub>. In der Anlage will Linde mindestens 90 Prozent des Kohlendioxids aus Kraftwerksrauchgasen entfernen. Die Energiekosten sollen dabei gleichzeitig um lediglich 30 Prozent steigen.

### SEPTEMBER

↳ In England nimmt Linde gemeinsam mit Partnern die erste öffentliche Wasserstoff-Tankstelle Großbritanniens in Betrieb. An der Tankstelle in Swindon, an der Autobahn M4 zwischen London und Swansea gelegen, kann nun sowohl mit 350-Bar- als auch mit 700-Bar-Drucktechnologie Wasserstoff getankt werden.

↳ Linde unterschreibt einen Vertrag zur Errichtung von Europas größter On-site-Fluorproduktions-Anlage für Schüco TF, Deutschlands führenden Hersteller von Dünnsschicht-Silizium-Solarmodulen. Durch die Nutzung des umweltverträglichen Fluors kann Schüco die Emissionen seiner Produktionsstätten um 103.000 Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalent pro Jahr reduzieren.

### OKTOBER

↳ In Südkorea startet Linde die Produktion in der neuen Luftzerlegungs-Anlage am Standort Giheung. Die Anlage erzeugt täglich 3.000 Tonnen Stickstoff für Kunden aus der Elektronik- und Halbleiterindustrie. Mit einem Projektvolumen von 130 Mio. EUR ist diese Luftzerlegungs-Anlage Lindes bisher größte Investition in Südkorea.

↳ Linde führt für das wachsende Marktsegment von kleineren Wasserstoff-Anlagen eine neue Modellreihe ein. Mit dem Produkt HYDROPRIME® ergänzt Linde sein Portfolio um ein standardisiertes Angebot und bietet somit die gesamte Größenpalette der Wasserstoff- und Synthesegas-Anlagen auf dem Markt an.

### NOVEMBER

↳ Linde intensiviert seine Geschäftsbeziehungen mit der chinesischen Stahlindustrie und übernimmt die komplette Gaseversorgung von Hebei Puyang Iron and Steel in Wu'an (Nordchina). Im Rahmen dieses On-site-Vertrags wird Linde die sieben bestehenden Luftzerlegungs-Anlagen sowie ein vorhandenes Rohrleitungsnetz erwerben, betreiben und mit neuester Technologie ausrüsten. Zudem errichtet Lindes Engineering Division am Standort eine neue Luftzerlegungs-Anlage mit einer Produktionskapazität von 30.000 Normkubikmetern Sauerstoff pro Stunde. Das Investitionsvolumen beträgt rund 120 Mio. EUR.

### DEZEMBER

↳ Linde investiert 42 Mio. EUR im Chemiepark Jilin, im Nordosten Chinas, für die Errichtung einer neuen Wasserstoff-Anlage. Die neue Anlage wird voraussichtlich Ende 2013 in Betrieb gehen und soll dann mehrere Unternehmen an diesem integrierten Chemieverbundstandort mit hochreinem Wasserstoff versorgen. Hierzu gehören unter anderem die Produktionsstätten von Evonik Industries und Jishen, einem Joint Venture der PetroChina Jilin Beifang Chemical Group und der Jilin Shenhua Group.

## Glossar

### → Biogas

Entsteht durch den Verfaulungsprozess von Pflanzen in Biogas-Anlagen. Hauptbestandteile sind Methan und Kohlendioxid. Energetisch genutzt wird das Methan, das auch Hauptbestandteil von Erdgas ist.

### → Brennstoffzelle

Ein System, in dem Wasserstoff und Sauerstoff ohne Flamme (kalte Verbrennung) zu Wasser reagieren, wobei sich elektrische Energie mit hoher Ausbeute entnehmen lässt. Brennstoffzellen verwandeln also chemische Energie in elektrischen Strom.

### → Carbon Capture and Storage (CCS)

Dt.: CO<sub>2</sub>-Abscheidung und -Speicherung; Abscheidung von CO<sub>2</sub> aus Verbrennungsabgasen und dessen Einlagerung insbesondere in unterirdischen Speicherstätten. Durch die Einlagerung soll weniger CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre gelangen.

### → Clean Energy Partnership (CEP)

Die CEP ist das größte Demonstrationsprojekt für Wasserstoff-Mobilität in Europa und ein Leuchtturmprojekt des Nationalen Innovationsprogramms für Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Technologie (NIP) im Verkehrsbereich. Seit 2008 wird die CEP durch das Bundesverkehrsministerium gefördert. Partner der CEP sind Technologie-, Mineralöl- und Energiekonzerne sowie große Automobilhersteller und zwei führende Betriebe des öffentlichen Nahverkehrs. Linde zählt zu den Gründungsmitgliedern.

### → Dampfreformierung

Ein Verfahren zur Herstellung von Synthesegas, einer Mischung von Kohlenmonoxid und Wasserstoff, aus kohlenstoffhaltigen Energieträgern wie Erdgas, Leichtbenzin, Methanol, Biogas oder Biomasse.

### → Dünnenschicht-Technologie

Ein Verfahren zur Herstellung von Solarmodulen, bei dem extrem dünne Schichten (0,001 Millimeter) der photoaktiven Halbleiter auf ein Trägermaterial aufgebracht werden. So lässt sich teures Silizium einsparen, und die Produktionskosten können deutlich reduziert werden.

### → Fischer-Tropsch-Synthese

Verfahren zur Herstellung von synthetischen Kraftstoffen. Der Rohstoff für die Fischer-Tropsch-Synthese (FTS) ist Synthesegas, eine Mischung aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff. Das Synthesegas kann aus Kohle oder Erdgas (und auch aus Erdölfraktionen wie Schweröl) erzeugt werden und ist – gegebenenfalls nach Reinigung – völlig schwefelfrei. Damit sind auch die in der nachfolgenden FTS erzeugten Kraftstoffe frei von Verunreinigungen.

### → Gas-to-Liquids(GTL)-Anlage

Im GTL-Verfahren wird Erdgas durch Zufuhr von Sauerstoff und Wasserdampf zu Synthesegas umgesetzt, und dieses wird dann in einer → Fischer-Tropsch-Synthese in Kohlenwasserstoffe umgewandelt.

### → Integrated Gasification Combined Cycle (IGCC)

Bei IGCC handelt es sich um einen GuD(Gas und Dampf)-Prozess mit vorgeschalteter Brennstoffvergasung. Der Primärkraftstoff, z.B. Kohle oder Biomasse, wird in einem Vergaser zu energiereichem Brenngas umgewandelt. Die Wirkungsgrade erreichen hierbei 80 Prozent.

### → Ionischer Kompressor

Ionische Kompressoren markieren einen Entwicklungssprung bei der Gase Verdichtung. Statt eines festen Kompressionskolbens wird eine ionische Flüssigkeit verwendet: ein organisches Salz, das im gewünschten Temperaturbereich flüssig ist und sich wie ein Festkörper verhält. Das neuartige Bauprinzip ermöglicht eine nahezu isotherme Verdichtung. Dies führt zu deutlich kürzeren Betankungszeiten. So dauert die H<sub>2</sub>-Betankung eines Busses mit dem von Linde entwickelten ionischen Tanksystem MF-50 nur sechs Minuten. Das MF-90-Pkw-Tanksystem füllt den Tank eines Fahrzeugs binnen drei Minuten mit H<sub>2</sub> für eine Reichweite von 400 bis 600 Kilometern.

### → LNG

Liquefied Natural Gas. Verflüssigtes Erdgas, das aufgrund der großen Energiedichte, des konstanten Brennwerts und der hohen Reinheit als zukunftsträchtiger Kraftstoff gilt.

### → Mixed-Fluid-Cascade(MFC®)-Verflüssigungsverfahren

Ein dreistufiger Kältekreislauf mit jeweils genau angepassten Kältemittelgemischen, um eine möglichst hohe Energieeffizienz zu erreichen. Der MFC®-Prozess wurde speziell für große Erdgas-Anlagen entwickelt.

### → Pyrolyse

Die Bezeichnung für die thermische Spaltung organischer Verbindungen, wobei durch hohe Temperaturen (500 °C bis 900 °C) ein Bindungsbruch innerhalb großer Moleküle erzwungen wird.

### → Rektifikationskolonne

Teil einer Anlage, in dem die Rektifikation, auch Gegenstromdestillation genannt, stattfindet, ein Verfahren zum Auftrennen eines Vielstoffgemisches durch mehrstufige Destillation.

### → Silizium

Ein hartes, sprödes, dunkelgrau-glänzendes Nichtmetall mit diamantähnlicher Gitterstruktur. Kristallines und amorphes Silizium unterscheiden sich in der Kristallgröße. Silizium ist ein typisches Halbleiterelement, dessen Leitfähigkeit für elektrischen Strom mit zunehmender Temperatur größer wird. Durch die Verunreinigung mit Metallatomen lässt sich seine Leitfähigkeit steigern.

### → Stranded Gas

Erdgasvorkommen, die zwar bekannt sind, aber aus physikalischen oder wirtschaftlichen Gründen nicht genutzt werden. Meist handelt es sich dabei um kleinere Reserven oder geografisch sehr isolierte Lagerstätten. Diese rechtfertigen häufig nicht die hohen Kosten zum Aufbau einer Pipeline-Infrastruktur.

### → Synthesegas

Eine Mischung aus Kohlenmonoxid (CO) und Wasserstoff (H<sub>2</sub>). Synthesegas dient der Erzeugung synthetischer Kraftstoffe und anderer Produkte wie z.B. Wasserstoff, Ammoniak und Methanol. Die Herstellung kann prinzipiell aus festen, flüssigen oder gasförmigen Ausgangsstoffen erfolgen.

Herausgeber

Linde AG  
Klosterhofstraße 1  
80331 München  
Telefon 089.35757-01  
Telefax 089.35757-1075  
[www.linde.com](http://www.linde.com)