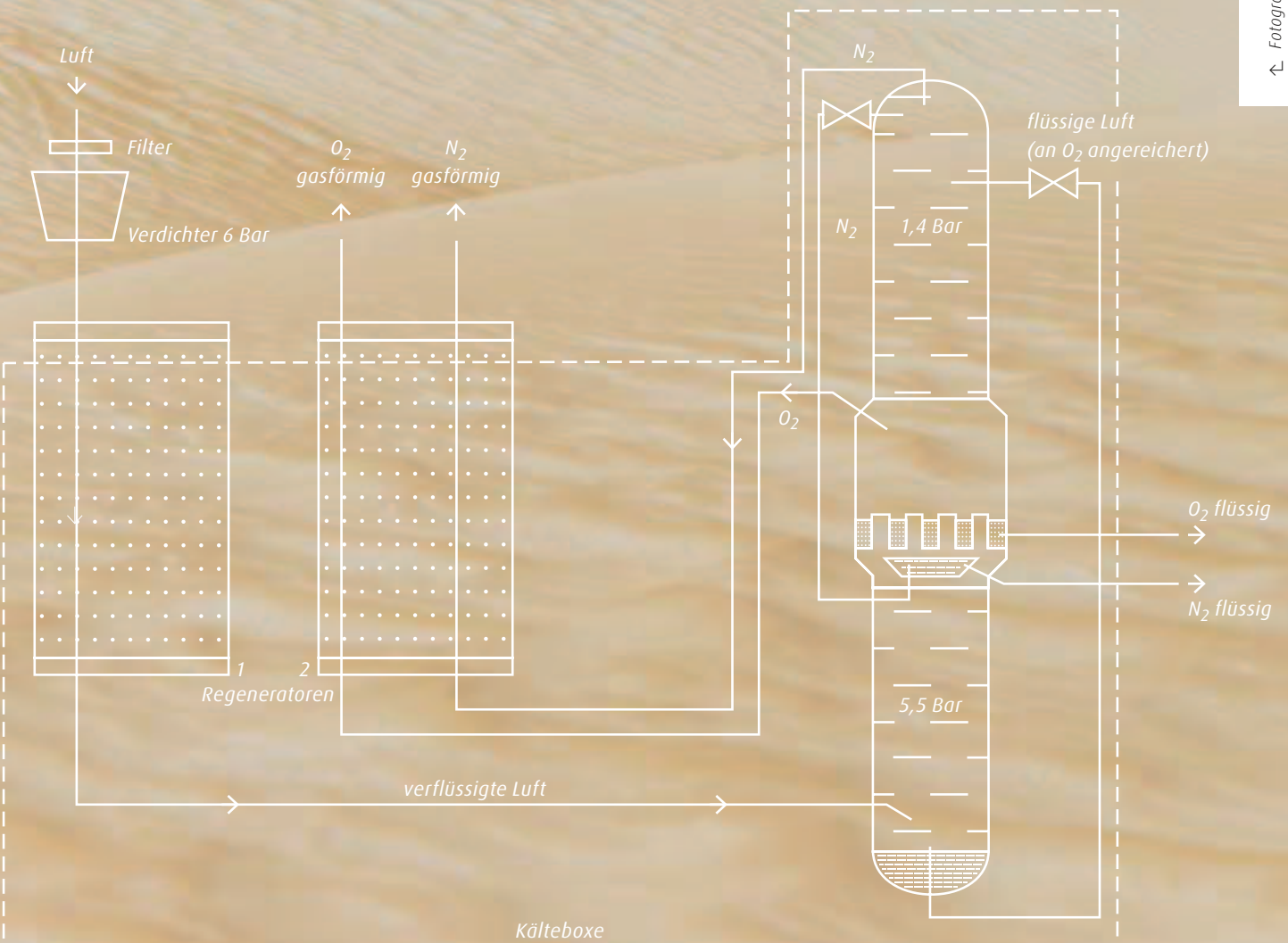


Luftzerleger: Im Wüstensand von Katar soll schon bald die größte Luftzerlegungsanlage der Welt entstehen. Nicht nur als technischer Entwurf – wie dieses Schema des Linde-Verfahrens –, sondern als reale Bauteile existieren zahlreiche Komponenten der Anlage bereits. In vielen Bereichen gleichen diese dem Luftzerleger, den Linde in Leuna betreibt (siehe Seite 40).



ZERLEGTE WÜSTENLUFT

Glänzende Zukunft für traditionsreiche Linde-Technologie

In Katar errichtet The Linde Group derzeit die weltweit größte Luftzerlegungsanlage. Sauerstoff- und stickstoffproduzierende Anlagen von den Erfindern des Luftzerlegungsprozesses sind aber nicht nur am Persischen Golf, sondern auch global immer gefragter. Angefacht wird der Boom durch steigende Energiepreise und strengere Klimaschutzauflagen.

Luftzerlegung hört sich eigentlich ganz unspektakulär an, nach einem simplen Versuchsaufbau im Chemiesaal einer Gymnasialklasse. Doch das, was The Linde Group derzeit im Emirat Katar im Nordosten der Arabischen Halbinsel im Auftrag der Qatar Shell GTL Ltd. baut, bedeutet Weltrekord. Dort sollen im Jahr 2010 insgesamt acht große Luftzerleger pro Stunde 860.000 Kubikmeter Sauerstoff ausspucken – ein Volumen, das etwa dem anderthalbfachen Rauminhalt eines Supertankers entspricht. Oder anders ausgedrückt: Die Anlage produziert in nur 15 Minuten eine Menge, mit der man den legendären Zeppelin „Hindenburg“ – das größte jemals gebaute Luftschiff – komplett füllen könnte. Zum Vergleich: Die erste Anlage zur Zerlegung von Luft – entwickelt und konstruiert von Carl von Linde und seinen Mitarbeitern – lieferte 1902 gerade einmal drei Kubikmeter Sauerstoff pro Stunde. Doch die Anlage in Ras Laffan Industrial City am Persischen Golf dient auch einem völlig anderen Zweck als jene, die der Linde-Gründer vor mehr als 100 Jahren entwarf: Der in der Weltrekordanlage produzierte Sauerstoff wird im Shell-Werk Pearl helfen, Erdgas mittels Gas-to-Liquid-Technologie (GTL) in hochreine Dieselmotorkraftstoffe umzuwandeln.

51.000 Tonnen Stahl werden benötigt

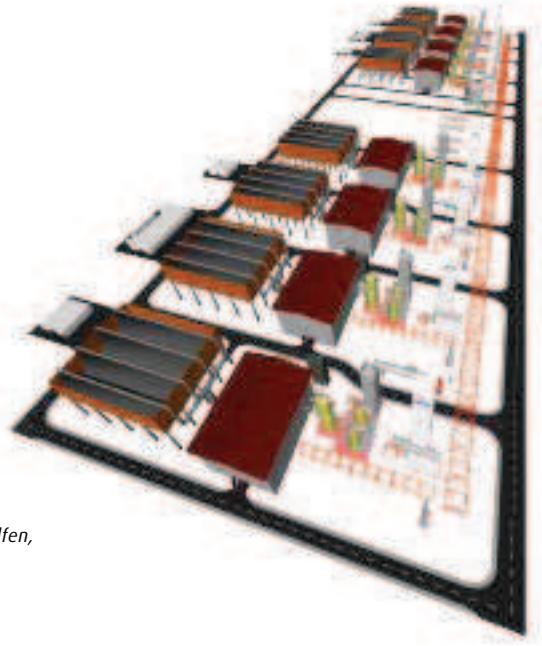
Aber nicht erst der Betrieb, auch schon die Errichtung der Pearl-Luftzerleger ist ein Projekt der Superlative: Obwohl Linde wesentliche Elemente der Anlagen fertig anliefert, werden auf dem Gelände in Ras Laffan bis zu 2.700 Menschen tätig sein und 59.000 Kubikmeter Beton, 51.000 Tonnen Stahl und 2.950 Tonnen Aluminium verbauen. Dabei setzen sie Kräne ein, von denen der größte 80 Meter hoch ist und 800 Tonnen tragen kann. „Ein solches Großprojekt alleinverantwortlich von der Planung bis zur schlüsselfertigen Anlagenübergabe

durchzuführen, ist eine echte Herausforderung“, sagt Dr. Gerhard Beysel, bei der Linde-Division Engineering zuständig für die Entwicklung und Vermarktung von Luftzerlegungsanlagen. „Um zu belegen, dass wir das Projekt stemmen können, mussten wir gegenüber dem Kunden viele Daten offenlegen: beispielsweise die Kapazität unserer Fertigungsstätten und die bereits bestehenden Verpflichtungen durch andere Aufträge“, so der Linde-Manager. Was die Shell-Verantwortlichen erfuhren, war offensichtlich überzeugend – wie auch der Hinweis auf die lange Erfahrung der Linde Group bei der Errichtung großer Luftzerlegungsanlagen.

Viele parallel laufende Großbaustellen binden im boomenden Katar qualifizierte Arbeitskräfte und schaffen Engpässe bei Maschinen und Materialien. Auch deshalb gehörte es bereits in der Angebotsphase zum Konzept der Linde-Experten, den Montageaufwand vor Ort möglichst gering zu halten. So fertigt Linde ein wichtiges Modul jeder Luftzerlegungsanlage, die Rektifikations-Coldbox, in seinem Werk in Dalian, China. Jedes dieser Anlegenteile ist rund 58 Meter hoch und 450.000 Kilogramm schwer. Für das Pearl-Projekt werden acht davon benötigt. Ab April 2008 treten sie ihre Reise auf Schwerlastschiffen nach Ras Laffan an. Linde wendet damit also prinzipiell das gleiche innovative Montagekonzept an, das sich bereits beim Bau der Erdgasverflüssigungs-(LNG)-Anlage im norwegischen Hammerfest glänzend bewährt hat (siehe „Linde Technology“ vom Januar 2006).

Ein anderes wesentliches Element von Luftzerlegungsanlagen sind Aluminium-Plattenwärmetauscher. Hergestellt werden sie in den Linde-Werken in Pullach und Schalchen bei München. Die ersten Exemplare für das Pearl-Projekt verließen Schalchen bereits im November 2007. Auf einer temporären Baustelle in Bremen bauen Facharbeiter sie samt zugehöriger Ventile, Rohre und Instrumente in

WELTREKORD IN KATAR



- **Kunde:** Qatar Shell GTL Ltd.
- **Standort:** Ras Laffan, Emirat Katar
- **Region:** Nordosten der Arabischen Halbinsel
- **Inbetriebnahme:** 2010
- **Arbeitsweise:** 8 Luftzerleger werden pro Stunde 860.000 Kubikmeter Sauerstoff produzieren
- **Anwendung:** Der in der Weltrekordanlage produzierte Sauerstoff wird im Shell-Werk „Pearl“ helfen, Erdgas mittels Gas-to-Liquid-Technologie (GTL) in hochreine Dieselmotorkraftstoffe umzuwandeln.
- **Materialverbrauch:** 59.000 Kubikmeter Beton / 51.000 Tonnen Stahl / 2.950 Tonnen Aluminium

selbsttragende Stahlgehäuse ein. Die so entstandenen Wärmetauscher-Coldboxen – jede mit einem Volumen von fast 1.700 Kubikmetern – werden dann zeitlich parallel zum Transport der Rektifikationsboxen nach Katar verschifft. Andere wesentliche Module und Container mit Bauteilen gelangen von Häfen in Belgien, Italien, China und der Türkei an den Persischen Golf. „Logistische Optimierung ist wichtig, um die Kosten möglichst niedrig halten zu können“, erläutert Beysel. Günstig auf die Kosten wirkt sich außerdem aus, dass die Linde-Ingenieure das Aufstellungskonzept der Anlagen innerhalb des Pearl-Geländes gegenüber dem ursprünglichen Entwurf des Kunden verbesserten.

Linde-Technologie mit Tradition

Im Prinzip beruhen die Anlagen zur Zerlegung von Luft in deren Hauptbestandteile bis heute auf den Verfahren, die Carl von Linde zwischen 1895 und 1910 entwickelte. Am Anfang stand ein Experiment, das darauf abzielte, Luft bei Temperaturen von rund minus 190 Grad Celsius zu verflüssigen. Von Linde wollte dabei den bereits bekannten Effekt nutzen, dass sich Luft erwärmt, wenn sie verdichtet wird und abkühlt, wenn sie sich entspannt. Seine Idee: Die Kälte, die beim Ausströmen der Luft von einem höheren zu einem niedrigeren Druck entsteht, sollte zur weiteren Kühlung eingesetzt werden. Daher konstruierte er einen Apparat, in dem die Entspannungskälte im Gegenstrom kontinuierlich auf die komprimierte, vorgekühlte Luft übertragen wurde. „Wie vorausgerechnet, nahm die Abkühlung des schweren Apparates so lange Zeit in Anspruch, dass ein Tag hierzu nicht ausreichte und dass während der Nacht je ein Teil der erzielten Temperatursenkung wieder verloren ging“, erinnerte sich Carl von Linde später. Doch am dritten Tag des Experimentes, dem 29. Mai 1895, war es dann so weit: „Zwischen aufsteigenden Wolken ließen wir die schöne bläuliche Flüssigkeit in einen großen Bleicheimer sich ergießen“, so von Linde.

Da Stickstoff beim Erwärmen von flüssiger Luft früher verdampft als Sauerstoff, liegt der Gedanke nahe, die beiden Gase auf diese Weise voneinander zu trennen. Doch die Siedepunkte von Stickstoff und Sauerstoff liegen nur 13 Grad Celsius auseinander. Daher versuchten von Linde und seine Mitarbeiter die Abtren-

nung mit einem Verfahren, das bereits erfolgreich eingesetzt wurde, um Alkohol von Wasser abzuscheiden: die Rektifikation. In einem mit Glasperlen gefüllten Stahlrohr ließ das Linde-Team flüssige Luft im Gegenstrom zum aufsteigenden Sauerstoffdampf herunterrieseln. Dabei nahm die Luft Sauerstoff auf und gab Stickstoff ab. Im fortlaufenden Prozess von Verflüssigung und Verdampfung entstand so nahezu reiner Sauerstoff.

„Mit der technologischen Weiterentwicklung von Luftzerlegungsanlagen ist es ähnlich wie bei Autos: Diese hatten Anfang des 20. Jahrhunderts genau wie heute Reifen, ein Lenkrad und einen Motor – und doch gibt es riesige Unterschiede zwischen den einstigen und modernen Modellen“, erklärt Witold Balczarczyk von der Linde Gas Produktionsgesellschaft in Leuna. Seit von Lindes Pionierleistungen produzieren Luftzerlegungsanlagen nicht nur immer mehr Gas, sondern sind auch sehr viel zuverlässiger, effizienter und bedienerfreundlicher geworden. Gleichzeitig benötigen sie immer weniger Energie.

Luftzerleger im Verbund

In Leuna hatte Linde bereits 1916 einen Luftzerleger errichtet. Heute befindet sich an dieser Stätte das weltgrößte Gase-Produktionszentrum von Linde. Es beliefert Unternehmen im mitteldeutschen Chemiedreieck unter anderem mit Sauerstoff, Stickstoff und Wasserstoff. Als Antwort auf den steigenden Bedarf dieser Kunden hat dort im September gemeinsam mit einer neuen Wasserstoff-Verflüssigungsanlage der insgesamt achte Luftzerleger den Betrieb aufgenommen – in Ergänzung zu den drei noch produzierenden Luftzerlegern vor Ort. Größter Sauerstoff-Abnehmer ist die TOTAL Raffinerie in unmittelbarer Nachbarschaft, die damit schwere Bestandteile des Erdöls unter anderem in Methanol umwandelt – ein wichtiger Ausgangsstoff etwa für Isoliermaterialien, Farben und Lacke. Andere Unternehmen benötigen den Sauerstoff, um Vorstufen von Polyamid-Kunstfasern oder von transparenten Kunststoffen wie Plexiglas herzustellen. Luftzerleger Nummer 8 stellt sicher, dass diesen Kunden jederzeit ausreichende Mengen Sauerstoff geliefert werden können. Mit dem anderen Hauptbestandteil der Luft, dem Stickstoff, versorgt Linde neben Leuna über Rohrleitungen auch die Chemiestandorte Bitterfeld, Piesteritz und

ERFAHRENE LUFTZERLEGER ↓

The Linde Group besitzt eine langjährige Erfahrung in Sachen Luftzerlegung: In den letzten 20 Jahren hat Linde rund 100 maßgeschneiderte Luftzerlegungsanlagen mit einer Produktionskapazität von jeweils mehr als 450 Tonnen Sauerstoff pro Tag gebaut, darunter die in der Tabelle aufgeführten. Dazu kommen über 500 kleinere, modular konstruierte Anlagen.

KUNDE/FABRIK	LAND	IN BETRIEB SEIT	TAGESPRODUKTION (in t)	WEITERE PRODUKTE
Saudi Basic Industrial Corporation (SABIC) Al Jubail 3	Saudi-Arabien	1993	1.200 (O ₂)/900 (N ₂)	Argon
SABIC, Yanbu	Saudi-Arabien	1999	1.200 (O ₂)/1.500 (N ₂)	Argon
SABIC, Al Jubail 5	Saudi-Arabien	2004	3.200 (O ₂)/1.740 (N ₂)	Argon, Krypton, Xenon
Pemex, Cantarell	Mexiko	2001	63.000 (N ₂)	
Wuhan Iron and Steel Company, Fabrik E/F	China	1992	2.100 (O ₂)/1.810 (N ₂)	Argon, Krypton, Xenon
Wuhan Iron and Steel Company, Fabrik G/H	China	2004	4.190 (O ₂)/1.860 (N ₂)	Argon, Krypton, Xenon, Helium, Neon

Schkopau: Dort wird das reaktionsträge Gas beispielsweise eingesetzt, um Apparate sicher von brennbaren Rückständen zu befreien oder um für verschiedene chemische Prozesse eine Schutzatmosphäre zu schaffen.

Trotz des im Laufe der Jahrzehnte erreichten technologischen Reifegrads des Luftzerlegungsprozesses ist die Leunaer Anlage Nummer 8 aber keineswegs eine „Anlage von der Stange“: Sie lässt sich auf vergleichsweise niedrige 70 Prozent der Maximalleistung herunterregeln. Somit kann ohne Energieverlust flexibel auf den stark variierenden Bedarf der Kunden reagiert werden. Andererseits ist „Nummer 8“ so geschickt in den Verbund mit den anderen Luftzerlegern am Standort und in Schkopau integriert, dass der Ausfall beispielsweise eines Luftverdichters problemlos von anderen Anlagen kompensiert werden kann. Damit ist sichergestellt, dass die Werke, die auf die Gase angewiesen sind, stets zuverlässig beliefert werden können. Auch dass die Abnehmer mehr Sauerstoff als Stickstoff benötigen, wurde bei der Konstruktion des neuen Luftzerlegers berücksichtigt: Er nutzt überschüssigen Stickstoff in einem Verdunstungskühler. Somit entfällt eine sonst notwendige Kälteanlage, die zusätzliche Energie verbrauchen und Kosten verursachen würde.

Die Welt neu zusammensetzen

„Mit Sauerstoff lassen sich viele Prozesse in der Chemie- und Stahlindustrie so optimieren, dass sie weniger Ressourcen und Energie verbrauchen. Das kommt der Umwelt zugute, denn so werden auch weniger Treibhausgase ausgestoßen“, sagt Balczarczyk. Der Experte ist von einer rosigen Zukunft für die Luftzerlegungstechnologie über-

zeugt. Schließlich wird es angesichts steigender Energiepreise und strengerer Klimaschutzauflagen zunehmend attraktiv, Verfahren, die bisher mit Hilfe normaler Umgebungsluft abliefen, auf Sauerstoff umzustellen. „Hinzu kommt: Technologien zur Gewinnung von sauberen Kraftstoffen oder von Strom aus kohlendioxidfreien Kraftwerken werden künftig immer bedeutsamer. Und diese benötigen Sauerstoff“, so Linde-Manager Beysel. Dabei überrascht es nicht,

MIT SAUERSTOFF LASSEN SICH VIELE PROZESSE IN DER CHEMIE- UND STAHLINDUSTRIE SO OPTIMIEREN, DASS SIE WENIGER RESSOURCEN UND ENERGIE VERBRAUCHEN.

dass The Linde Group als Weltmarktführer auf ihrem ureigensten Kompetenzgebiet auf eine langjährige Erfahrung zurückblicken kann: In den letzten 20 Jahren hat Linde rund 100 maßgeschneiderte Luftzerlegungsanlagen mit einer Produktionskapazität von jeweils mehr als 450 Tonnen Sauerstoff pro Tag gebaut (siehe Tabelle). Dazu kommen über 500 kleinere, modular konstruierte Anlagen. Die bisher weltweit größte einzelne Luftzerlegungsanlage steht in Cantarell am Golf von Mexiko. Hier hat 2006 Linde

Engineering die mittlerweile fünfte Einheit fertiggestellt. In diesem Fall steht nicht der Sauerstoff, sondern der Stickstoff im Mittelpunkt des Kundeninteresses: Die mexikanische PEMEX steigert mit seiner Hilfe die Ausbeute der nahe gelegenen Offshore-Förderplattformen, indem sie den natürlichen Öldruck durch gezielte unterirdische Stickstoff-Injektionen erhöht – Stichwort „Enhanced Oil Recovery“ (EOR).

Ob Stickstoff oder Sauerstoff, Mexiko oder Katar – angesichts der steigenden Nachfrage nach seinen Produkten kann es als sicher gelten, dass der klassische Luftzerleger bei der Lösung der Energieprobleme noch eine wichtige Rolle spielen wird – oder, um es im etwas euphemistischeren Stil eines Anzeigentexts auszudrücken: „Wer die Luft teilt, setzt die Welt neu zusammen.“

AUTOR:

Frank Frick ist promovierter Chemiker und arbeitet als freier Wissenschaftsjournalist in der Nähe von Bonn unter anderem für „Frankfurter Allgemeine Zeitung“, „Bild der Wissenschaft“ und „Handelsblatt“.

LINKS:

www.shell.com/home/Framework?siteId=qatar
www.infraleuna.de/cms/index.php?chemiestandort
www.linde-anlagenbau.de/anlagenbau/luftzerlegungsanlagen